

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
Кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы

Ю. П. ПЕРЕВЕДЕНЦЕВ, К. М. ШАНТАЛИНСКИЙ

**ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ВИДОВ
АЭРОСИНОПТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА**

**Методические указания к лабораторным работам
по синоптической метеорологии**

Казань – 2019

УДК 551.509.2
ББК 26,236

*Принято на заседании кафедры метеорологии, климатологии и экологии
атмосферы*

Протокол № 7 от 15 января 2019 года

Рецензенты:

кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ

А.А. Николаев;

кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы КФУ

Н.В. Исмагилов;

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.

**Первичный анализ основных видов аэросиноптического
материала.** Методические указания к лабораторным работам по
синоптической метеорологии / Ю.П. Переведенцев,
К.М.Шанталинский. – Казань: Казан. ун-т, 2019. – 33 с.

Излагаются основные приемы первичного анализа приземных карт погоды, карт барической топографии, некоторых специальных карт, а также составления и анализа аэрологических диаграмм, пространственных вертикальных разрезов и расчета характеристик состояния атмосферы с помощью аэрологических диаграмм. Приведены задания по первичному анализу полей метеорологических величин на приземных картах погоды, картах барической топографии, специальных картах, аэрологических диаграммах, пространственных вертикальных разрезах и методические указания к этим заданиям.

Методические указания адресованы, в первую очередь, студентам третьего курса бакалавриата, обучающимся по профилю «Метеорология» направления «Гидрометеорология», а также обучающимся в магистратуре по указанным направлениям и читателям, интересующихся вопросами передачи метеорологической информации, составления и анализа аэросиноптического материала.

© Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., 2019

© Казанский университет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Введение	5
Лабораторная работа №4. Практические приемы первичного анализа приземных карт погоды, карт барической топографии, специальных карт, аэрологических диаграмм и пространственных вертикальных разрезов	6
Задание 4.1. Первичный анализ приземных карт погоды	6
Задание 4.2. Первичный анализ карт барической топографии	10
Задание 4.3. Первичный анализ карт тропопаузы, максимального ветра и вертикальных движений	15
Анализ карт тропопаузы	15
Анализ карт максимального ветра	16
Анализ карт вертикальных движений	17
Задание 4.4. Построение, обработка, первичный анализ аэрологических диаграмм	19
Задание 4.5. Построение, обработка и первичный анализ пространственных вертикальных разрезов	26
Список литературы	32

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания предназначены для лабораторных занятий по курсу «Синоптическая метеорология». В них приведено краткое изложение теоретических вопросов, знание которых необходимо для выполнения лабораторных работ, рассмотрены практические приемы первичного анализа полей метеорологических величин отображаемых на картах погоды и других видах аэросиноптического материала, дана необходимая исходная информация и материалы для выполнения лабораторных работ.

Каждая лабораторная работа состоит из заданий, в которых

- формулируется содержание задания (что нужно выполнить и какую цель необходимо достичь),
- даются рекомендации по выполнению задания (конкретные действия и порядок их выполнения, материалы и др.),
- указывается, в каком виде должен быть представлен отчет (оформлены результаты работы).

Приемы анализа аэросиноптического материала, которые в настоящее время не используются в оперативной практике Гидрометеослужб, приведены, поскольку они представляют методический и познавательный интерес.

ВВЕДЕНИЕ

Типы аэросиноптического материала, то есть исходной информации используемой для анализа и прогноза синоптических процессов и погоды и представленной в удобном для этих целей виде, весьма разнообразны. К ним относятся как фактическая, так и прогностическая информация о состоянии атмосферы в виде открытого текста, так и закодированная с помощью метеорологических кодов; приземные, высотные и специальные карты погоды; информация, представленная на аэрологических диаграммах и вертикальных разрезах; информация полученная с использованием метеорологических радиолокаторов, как в цифровом, так и в разнообразном графическом представлении; разнообразная информация с метеорологических космических систем, в том числе космические изображения в различных участках спектра и т.д.

Далее рассматриваются практические приемы первичного анализа основных видов аэросиноптического материала, а именно фактических приземных карт погоды, карт барической топографии, специальных карт, аэрологических диаграмм и пространственных вертикальных разрезов.

В частности, первичный анализ карт погоды представляет собой проведение некоторых операций направленных на визуализацию пространственного распределения метеорологических величин и явлений погоды по территории освещаемой данной картой. К таким операциям относятся проведение линий равных значений метеорологических величин (изолиний) и выделение (обозначение) центров экстремальных их значений; выделение особых явлений погоды («подъем» карты); проведение некоторых линий (линий фронтов, осей струйных течений и др.). Эти операции облегчают в дальнейшем более глубокий анализ синоптических объектов, синоптического положения и синоптического процесса.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.

Практические приемы первичного анализа приземных карт погоды, карт барической топографии, специальных карт, аэрологических диаграмм и пространственных вертикальных разрезов

Задание 4.1 Первичный анализ приземных карт погоды.

Процедуры первичного анализа приземных карт состоят из следующих действий:

- проведение изобар и выявление областей низкого и высокого давления;
- проведение изолиний барических тенденций (изотенденций или изаллобар) и выявление областей максимального изменения давления;
- выделение осадков, туманов и других особых явлений погоды («подъем» карты);
- проведение линий атмосферных фронтов.

При проведении изобар вручную их проводят простым черным карандашом сплошными плавными линиями: на основных картах погоды кратные 5 гПа, на кольцевых картах кратные 2,5 гПа. При проведении изобар осуществляют интерполяцию между значениями давления воздуха на соседних станциях и учитывают направление и скорость ветра на этих станциях.

Вектор ветра в приземном слое в среднем отклоняется от направления касательной к изобаре в сторону низкого давления на угол около $30 - 40^\circ$ над сушей и около 15° над морем, причем в северном полушарии низкое давление располагается слева от направления вектора ветра, а в южном – справа. Поскольку скорость ветра пропорциональна величине горизонтального барического градиента, то изобары должны проводится гуще в тех районах, где сильнее ветер.

Все изобары надписываются соответствующим числом гектопаскалей: разомкнутые изобары – с двух сторон, замкнутые – в каком-либо одном месте, как правило, они размыкаются по меридиану. В центрах областей низкого давления ставят черным карандашом букву **Н**, а в центрах областей высокого давления – букву **В**. Все надписи желательно выполнять параллельно кругам широт.

Для более точного определения центров барических областей вблизи центров целесообразно проводить промежуточные изобары любого числового значения более тонкими сплошными линиями. При определении положения центров циклонов или антициклонов, помимо изобар, необходимо учитывать направление и скорость ветра. Вблизи центров циклонов и антициклонов наблюдаются минимальные скорости ветра, а вокруг центра циклона в северном полушарии циркуляция направлена против часовой стрелки, а в антициклоне – по часовой стрелке.

В горных районах иногда отмечается сильное сгущение изобар вдоль горных хребтов, что не соответствует действительным скоростям ветра. В этих случаях вдоль хребта проводят волнистыми линиями орографические изобары.

Таблица 4.1

Условные обозначения явлений погоды при анализе основных приземных карт погоды

Явление погоды	Знак	Цвет	Примечание
Зона обложных осадков		Зеленый	Включает осадки (снег, дождь) только в срок наблюдения
Обложные осадки местами		Зеленый	В срок наблюдения
Слабый снег в зоне инверсии		Зеленый	В срок наблюдения
Ливневые осадки		Зеленый	В срок наблюдения и в течение последнего часа
Гроза		Зеленый	В срок наблюдения и в течение последнего часа
Зарница		Зеленый	В срок наблюдения. При большом количестве гроз не отмечается
Морось		Зеленый	В срок наблюдения.
Гололед		Зеленый	В срок наблюдения и в течение последнего часа
Зона туманов		Желтый	В срок наблюдения.
Туман местами		Желтый	В срок наблюдения.
Туман с моросью		Желтый, зеленый	В срок наблюдения.
Мгла		Желтый	При видимости менее 1 км
Общая метель		Зеленый	В срок наблюдения.
Пыльная или песчаная буря		Желтый	В срок наблюдения и между сроками.
Пыльные или песчаные вихри		Фиолетовый	В срок наблюдения и между сроками.
Смерч		Красный	В срок наблюдения и между сроками.

Изотенденции проводят простым черным карандашом в виде тонких штриховых линий через 1 гПа/3 ч. Изотенденцию 0 гПа/3 ч, разделяющую области роста и падения давления, проводят только при слабых изменениях

давления (менее 1 гПа/3 ч) на больших площадях. В случае сильного изменения давления допускается проведение изотенденций через 2 гПа/3 ч. Изотенденции надписываются целым числом гектопаскалей (со знаком минус при отрицательных тенденциях и без знака при положительных). В центрах областей падения давления ставят красным карандашом букву П, а в центрах областей роста – синим карандашом букву Р. Рядом с буквами П и Р соответствующим цветом более мелким шрифтом проставляют значение максимального изменения давления с точностью до десятых долей гектопаскаля (без знака).

Таблица 4.2

Условные обозначения линий атмосферных фронтов на картах погоды

Вид фронта	Обозначение	
	Цветное	Одноцветное
Теплый		
Холодный		
Малоподвижный		
Окклюзия		
Вторичный (верхний) теплый		
Вторичный (верхний) холодный		
Малоподвижный на высотах, размытый малоподвижный у Земли		
Теплый размывающийся		
Холодный обостряющийся		

Осадки, туманы и другие явления погоды выделяют на основных картах погоды условными обозначениями, приведенными в табл. 4.1.

Выявление атмосферных фронтов – наиболее сложная и ответственная операция синоптического анализа. После согласования положения фронтов на приземной карте, карте AT_{850} и карте OT_{1000}^{500} и завершения фронтального анализа, атмосферные фронты оформляются согласно табл. 4.2.

Содержание задания.

Провести первичный анализ приземной карты погоды.

Исходные материалы.

Нанесенные на бланк карты данные приземных наблюдений.

Рекомендации по выполнению задания.

На приземной карте провести и оцифровать (надписать) изобары. Определить и отметить положение центров циклонов и антициклонов. Определить положение остальных форм барического рельефа (ложбин, гребней, седловин).

Провести и надписать изаллобары (изотенденции). Определить и отметить положение областей роста и падения давления.

Выделить цветными карандашами осадки, туманы и другие явления погоды. Проанализировать условия погоды в различных частях циклонов и антициклонов.

Отчетные материалы.

Проанализированные приземные карты. Обзор условий погоды в различных частях циклонов и антициклонов.

Задание 4.2 Первичный анализ карт барической топографии.

Первичный анализ карт абсолютной барической топографии заключается в следующем:

- проведение изогипс (линий равных геопотенциальных высот), определение положения и обозначение центров низкого и высокого геопотенциала;
- проведение изотерм (линий равных значений температуры), выделение и обозначение центров областей тепла и холода;
- проведение линий атмосферных фронтов;
- перенесение с приземной карты положений центров основных барических образований; проведение изаллогипс (линий равных изменений геопотенциальных высот за предшествующий период).

Изогипсы проводят простым черным карандашом сплошными плавными линиями кратные 4 гп. дам., это приблизительно соответствует проведению изобар на приземной карте кратному 5 гПа. На картах выше 400 гПа, по причине более высоких горизонтальных градиентов, изогипсы проводят через 8 гп. дам.

При проведении изогипс, также как при проведении изобар, производят интерполяцию между значениями геопотенциальных высот на соседних станциях и учитывают направление и скорость ветра на этих станциях. Вектор ветра в свободной атмосфере, в результате гораздо меньшего трения, чем в пограничном слое атмосферы, направлен практически по касательной к изогипсе, поэтому изогипсы проводят параллельно вектору ветра. При этом в северном полушарии меньшие геопотенциальные высоты располагаются слева, а в южном – справа от направления потока.

Все же иногда на картах абсолютной топографии ветер может составлять значительный угол с изогипсой. Этот факт не всегда является следствием ошибки определения ветра или проведения изогипсы, поскольку может быть результатом нестационарности атмосферных движений.

Как и изобары изогипсы должны проводиться гуще в тех районах, где скорость ветра больше. Для более точного определения центров барических

образований вблизи центров целесообразно проводить промежуточные изогипсы, а при определении положения центров циклонов или антициклонов, кроме экстремальных значений геопотенциальных высот, также необходимо учитывать направление и скорость ветра, как это выполняется при анализе приземных карт.

Изогипсы надписываются аналогично изобарам. В центрах низких значений геопотенциальных высот ставится буква **Н**, в центрах высоких – буква **В**.

Изотермы сплошными красными линиями проводят на двух картах абсолютной барической топографии – AT_{850} и AT_{200} . На карте AT_{850} изотермы проводят через $2^{\circ}C$, на карте AT_{200} – кратные $5^{\circ}C$ и на обеих картах не надписываются.

В центральной части области высоких температур красным цветом пишут букву **Т**, в области низких – синим букву **Х**. Характер адвекции температуры на картах AT_{850} и AT_{200} определяют путем сравнения положения изотерм и изогипс. Если изотермы отклоняются от изогипс вправо – имеет место адвекция тепла, если – влево – адвекция холода.

Изаллогипсы (линии равных изменений абсолютного геопотенциала) за 12 или 24 ч, проводят черной штриховой линией кратные 4 гп. дам и надписывают соответствующим числом декаметров. В центральной части области повышения (понижения) геопотенциала синим (красным) цветом пишут букву **Р (П)**, а рядом с буквой тем же цветом проставляют величину максимального изменения геопотенциальной высоты.










На картах абсолютной барической топографии следует указывать положение основных центров барических образований, перенесенных с приземной карты погоды, символами из табл.4.3.

На картах относительной барической топографии OT_{1000}^{500} , являющихся, по сути, картами средней температуры нижней половины тропосферы,

проводят изогипсы относительной топографии, выделяют и обозначают области тепла и холода, проводят линии атмосферных фронтов.

Таблица 4.3

Условные обозначения форм барического рельефа на картах барической топографии

Барическое образование	Обозначение
Циклон	
Частный циклон	
Волна на фронте	
Ложбина	
Антициклон	
Отрог (частный антициклон)	
Гребень	
Седловина	
Перемычка повышенного давления	

Изогипсы (изотермы средней температуры слоя 1000 – 500 гПа) проводят сплошными плавными линиями черного цвета кратными 4 гПа. В центральной части области высоких значений относительного геопотенциала пишут слово «Тепло», в центре низких значений – слово «Холод». Линии атмосферных фронтов переносят (копируют) на карту OT_{1000}^{500} с приземной карты погоды для соответствующего срока наблюдений. Обозначение фронтов выполняют согласно табл. 4.2.

При необходимости на картах OT_{1000}^{500} проводят изаллогипсы и выделяют области наибольшего изменения толщины слоя 500 – 1000 гПа. Изаллогипсы проводят черной штриховой линией через 4 гп. дам. и надписывают соответствующим числом декаметров. В центре области увеличения относительного геопотенциала помещают букву **Т** красного цвета, а в центре области уменьшения – букву **Х** синего цвета. Рядом с

буквами тем же цветом указывают величину максимального изменения за прошедшие 12 или 24 ч.

Также при необходимости можно построить термобарическую карту нижней половины тропосферы путем наложения на карту OT_{1000}^{500} изогипс AT_{700} .

Содержание задания.

Провести первичный анализ карт абсолютной и относительной барической топографии.

Исходные материалы.

Приземная карта погоды с выполненным первичным анализом, нанесенные на бланки карт данные геопотенциальных высот, температуры, дефицита точки росы, направления и скорости ветра на основных изобарических поверхностях и толщин слоя 500 – 1000 гПа.

Рекомендации по выполнению задания.

На картах абсолютной барической топографии провести и оцифровать (надписать) изогипсы. Определить и отметить положение центров циклонов и антициклонов. При проведении изогипс и определении центров особое внимание обратить на направление и скорость ветра. Определить положение остальных форм барического рельефа (ложбин, гребней, седловин).

На картах абсолютной барической топографии AT_{850} и AT_{200} провести изотермы, выделить и обозначить области тепла и холода.

На картах относительной барической топографии провести и оцифровать (надписать) изогипсы (изотермы средней температуры нижней половины тропосферы). Определить и отметить положение центров областей тепла и холода.

С приземной карты перенести условными знаками табл.4.3 перенести на карты барической топографии положение центров барических образований. Выполнить анализ пространственной структуры барических образований.

Отчетные материалы.

Проанализированные карты абсолютной и относительной барической топографии.

Описание результатов анализа пространственной структуры барических образований.

Задание 4.3 Первичный анализ карт тропопаузы, максимального ветра и вертикальных движений.

Анализ карт тропопаузы.

На картах тропопаузы в случае необходимости проводят изолинии равных значений давления, обозначают области наибольших и наименьших высот, проводят изотермы, обозначают области тепла и холода.

Изолинии равных значений давления проводят черным цветом через 50 гПа до значения 250 гПа, далее через 25 гПа. Такой же интервал (25 гПа) применяется в случае малых градиентов давления.

Проведенные изолинии являются линиями пересечения тропопаузы с соответствующими изобарическими поверхностями. Изолинии дают наглядное представление о том, где тропопауза лежит ниже, а где выше указанных изобарических поверхностей.

Если на карте имеются данные о втором и третьем уровнях тропопаузы, изобары на первом уровне проводят так, как указано ранее; на втором уровне – жирными сплошными линиями, на третьем уровне – жирными штриховыми линиями.

В области наибольших величин давления высота тропопаузы минимальная, в области малых величин – максимальная. Поэтому в центре области наибольших высот тропопаузы пишут $B_{тр}$ (высокая тропопауза), а в центре области наименьших высот – $H_{тр}$ (низкая тропопауза).

На картах тропопаузы желательно проводить изотермы сплошными красными линиями кратные $5^{\circ}C$. Изотермы (все или через одну)

надписывают соответствующим числом градусов. В центральной части области тепла (холода) пишут красным (синим) цветом букву **T (X)**.

Центральную область наибольших высот тропопаузы, а также область тропопаузы, располагающуюся выше 150 гПа, затушевывают красным цветом, центральную область наименьших высот – синим. Справа от букв **V_{тр}** и **H_{тр}** проставляют соответственно красным и синим цветом высоту тропопаузы в километрах с десятичными долями (или в десятках метров). Высоту тропопаузы указывают крупным шрифтом, например: **V_{тр}12,3 (V_{тр}1230); H_{тр}8,6 (H_{тр}860)**.

Анализ карт максимального ветра.

Анализ карт максимального ветра включает проведение изотих (линий равных скоростей ветра) и осей струйных течений. Изотихи проводят сплошными плавными линиями через 10 м/с для скоростей ветра начиная с 30 м/с, т. е. 30, 40, 50 м/с и т. д.; каждую изотиху надписывают соответствующим числом метров в секунду.

Ось струйного течения представляет собой линию максимального ветра внутри сердцевины струйного течения. Она проходит через точки, в которых скорость ветра больше, чем в соседних точках слева и справа от оси. Оси струйных течений обозначают длинными жирными стрелками, которые должны быть параллельны направлению ветра в окрестностях струйного течения.

Ослабление скорости на отдельных участках до значений на 2–3 м/с меньше критической (30 м/с), не указывает на отсутствие струйного течения, а лишь на некоторое его ослабление на этих участках. В подобных случаях ось струи разрывать не следует, поскольку при формальном применении критерия скорости ветра 30 м/с струйное течение может оказаться разделенным на ряд отдельных отрезков и будет утрачено его единство.

Для повышения точности и надежности анализа карт максимального ветра рекомендуется сопоставлять намечаемое положение оси струйного

течения на картах максимального ветра с положением осей высотных фронтальных зон на картах изобарических поверхностей, ближайших к струйному течению, например на поверхностях 500, 300 или 200 гПа.

Кроме того, для большей наглядности на картах максимального ветра следует:

- затушевывать зеленым цветом области максимальных ветров, очерчиваемые изотаксой 30 м/с (около 100 км/ч);
- затушевывать красным цветом центральные части области максимальных ветров, а рядом проставлять тем же цветом скорость максимального ветра в метрах в секунду или километрах в час и высоту оси струйного течения в километрах с десятичными долями (или в метрах);
- обозначать положение центров основных барических образований, перенесенных с приземной карты погоды за соответствующий срок символами согласно табл. 4.3.

Анализ карт вертикальных движений

На картах вертикальных движений наносятся значения индивидуальных изменений давления на изобарических поверхностях 850, 700 или 500 гПа в узлах регулярной сетки.

При расчете изменений температуры и влажности в свободной атмосфере, количества осадков и др. значения индивидуальных изменений давления на изобарических поверхностях 850, 700 или 500 гПа в конкретном пункте определяют интерполяцией или снимают непосредственно с карты, если данный пункт совпадает с узлом регулярной сетки.

В случае необходимости на карте вертикальных движений проводят изолинии равных значений индивидуального изменения давления на нужной изобарической поверхности через 25 гПа/12 ч (до значения 100 гПа /12 ч),

далее через 50 гПа /12 ч, а у концов линий или в разрыве (при замкнутых изолиниях) надписывают величину индивидуального изменения давления.

Восходящие движения характеризуются индивидуальным падением давления, нисходящие – ростом давления. Изолинии, соответствующие восходящим движениям, проводят красным цветом или сплошной черной линией; изолинии, соответствующие нисходящим движениям, – синим цветом или штриховой черной линией. В центрах областей отмечают максимальную величину индивидуального изменения давления со знаком минус (–) при восходящих движениях и со знаком плюс (+) при нисходящих.

Содержание задания.

Провести первичный анализ карт тропопаузы, максимального ветра и вертикальных движений.

Исходные материалы.

Бланки карт с нанесенными данными на уровне тропопаузы, максимального ветра и данными вертикальных движений.

Рекомендации по выполнению задания.

На карте тропопаузы провести и оцифровать линии равного давления и изотермы. Выделить и обозначить области высокой и низкой, холодной и теплой тропопаузы. Обратить внимание на расположение этих областей относительно барических образований на приземной карте и картах абсолютной барической топографии, а также областей тепла и холода на картах AT_{850} , AT_{200} и относительной топографии.

На карте максимального ветра провести изотакхи и оси струйных течений. Обозначить области максимального ветра. Оценить характер расположения струйных течений относительно элементов барического рельефа на приземной карте и на картах абсолютной барической топографии.

На карте вертикальных движений провести и надписать линии равных значений индивидуального изменения давления на изобарической поверхности 700 гПа. Выделить и обозначить центры максимальных

восходящих и нисходящих движений. Охарактеризовать и объяснить особенности расположения и интенсивности вертикальных движений в связи с особенностями барического рельефа на приземной карте и картах барической топографии.

Отчетные материалы.

Проанализированные карты тропопаузы, максимального ветра и вертикальных движений.

Описание результатов анализа связи характеристик тропопаузы, максимального ветра и вертикальных движений с пространственной структурой барических образований.

Задание 4.4. Построение, обработка, первичный анализ аэрологических диаграмм.

Аэрологические диаграммы (АД) представляют собой термодинамические графики, приспособленные для анализа данных вертикального распределения метеорологических величин в конкретных пунктах.

В настоящее время в Российской Федерации используются три формы бланков АД с координатами $x = T$ (по горизонтальной оси) и $y = p^{0.286}$ (по вертикальной оси). Два бланка предназначенные для анализа данных вертикального распределения метеорологических величин в слое от 1050 до 100 гПа построены в косоугольной системе координат. Один из них, на котором по горизонтальной оси диапазон температур составляет от 40 до -25°C, предназначен для использования в теплый период года (Ф АДКТ), а другой, где диапазон температур от 10 до - 55°C используется в холодный период (Ф АДКХ). Третий бланк (Ф АДП) построен в прямоугольной системе координат, имеет диапазон температур от 40 до - 80°C и предназначен для

анализа данных вертикального распределения метеорологических величин в слое атмосферы от 1050 до 10 гПа в любое время года.

На бланке аэрологической диаграммы по результатам вертикального зондирования атмосферы или прогностическим данным выполняют следующие операции.

1. Проводят кривую стратификации, показывающую изменение температуры с высотой (красной линией).
2. Проводят деграммму – кривую точек росы (прерывистой черной линией).
3. Определяют уровень конденсации и проводят кривую состояния (сплошной черной линией).
4. Выделяют площади положительной и отрицательной энергии неустойчивости.
5. Выделяют верхнюю и нижнюю границы фронтального слоя (цветом, соответствующим виду фронта). Между нижней и верхней границами данного слоя проставляют толщину слоя Δh в метрах, величину прироста температуры ΔT или величину вертикального градиента температуры γ , если $\Delta T < 0^\circ\text{C}$.
6. Отмечают нижнюю и верхнюю границы слоев инверсий (желтыми линиями), проставляют толщину слоя инверсии Δh в метрах, величину прироста температуры ΔT и характер инверсии.
7. Отмечают нижнюю и верхнюю границы слоя облаков (волнистыми синими линиями). Пространство между ними заштриховывают редкими наклонными синими линиями. Здесь же проставляют форму облаков, рядом указывают толщину облачного слоя.
8. Отмечают зоны осадков (вертикальными зелеными штрихами) от нижней границы облачного слоя до поверхности земли. Здесь же символами синоптического кода указывают вид осадков.

9. Выделяют слои облечения знаком Ψ (красным карандашом), от которого вверх и вниз проводят стрелки, указывающие толщину данного слоя. Интенсивность облечения обозначают показателем степени: Ψ^0 – слабое облечение, Ψ^2 – сильное.
10. Отмечают слой болтанки (вертикальной волнистой линией справа от кривой стратификации). Рядом с линией словами указывают интенсивность болтанки.

Дополнительно на бланке аэрологической диаграммы можно производить следующие графические расчеты:

- определение величины отношения смеси и массовой доли водяного пара (удельной влажности);
- определение относительной влажности и точки росы;
- определение виртуальной температуры;
- вычисление высот основных изобарических поверхностей и расстояний между ними;
- определение потенциальной Θ , псевдопотенциальной Θ_p температур и потенциальной температуры смоченного термометра Θ' ;
- определение границ конвективно-неустойчивого слоя;
- расчет адиабатического изменения температуры воздуха, перемещающегося по вертикали;
- построение моделей конвекции различного типа и др.

Содержание задания.

Нанести на бланк аэрологической диаграммы данные зондирования атмосферы и провести обработку аэрологической диаграммы.

Вычислить геопотенциальные высоты основных изобарических поверхностей, используя полученные кривые стратификации и точек росы.

Определить значения массовой доли водяного пара и относительной влажности, а также значения потенциальной Θ , псевдопотенциальной Θ_p температур и потенциальной температуры смоченного термометра Θ' на основных изобарических поверхностях.

Исходные материалы.

Данные зондирования атмосферы (табл.4.4).

Таблица 4.4

Данные зондирования атмосферы

ТТАА	29001	27594	99006	10521	34006	00175	10709	32506
92766	14909	33513	85407	14908	34014	70849	24550	33016
50523	37960	34021	40674	45960	34022	30864	47961	31519
25983	49162	30022	20130	49564	29523	15318	50164	29523
10580	55164	28528	88358	48360	33520	77999		
ТТВВ	29003	27594	00006	10521	11921	15109	22838	15309
33808	17311	44761	19343	55736	21550	66653	28939	77634
29135	88610	29550	99516	36561	11432	44160	22336	49160
33263	50161	44222	46963	55100	55164	21212	00006	34006
11992	31007	22934	33513	33907	33014	44392	34021	55269
30021	66102	28528	31313	52903	82330	41414	855//	61616
10312								
ТТАА	26121	34560	99003	26060	15011	00172	24858	14510
85550	10640	14512	70130	01232	19507	50574	17922	24006
40737	30125	23009	30935	46526	25509	25054	56523	24509
20191	65923	25513	15369	58328	25010	10625	58540	27507
88197	66322	25513	77999					
ТТВВ	2612/	34560	00003	26060	11996	24056	22805	06438
33694	01030	44566	11520	55393	31124	66214	64621	77197
66322	88168	59927	99104	58141				

Рекомендации по выполнению задания.

Нанести данные вертикального распределения метеорологических величин на бланк аэрологической диаграммы.

Провести кривую стратификации, соединив точки соответствующие значениям температуры воздуха отрезками прямых линий красного цвета.

Провести кривую точек росы, соединив точки соответствующие значениям температуры точки росы отрезками штриховых линий черного цвета.

Определить уровень конденсации. Для этого от точки приземной температуры воздуха провести сухую адиабату, а от точки приземной точки росы – изограмму. Уровень конденсации – изобара, проходящая через точку пересечения сухой адиабаты и изограммы.

Построить кривую изменения состояния, чаще называемую просто кривой состояния. Кривая состояния характеризует изменение температуры и влажности воздуха при адиабатическом (без обмена с окружающим воздухом) подъеме частицы воздуха в атмосфере. Она представляет собой линию, состоящую из отрезка сухой адиабаты, проходящего от исходного уровня до уровня конденсации, и отрезка влажной адиабаты, который начинается с уровня конденсации и продолжается до верхнего уровня имеющихся данных.

Выделить области энергии неустойчивости разного знака. Энергия неустойчивости некоторого слоя атмосферы – работа совершаемая силой плавучести (силой Архимеда) при адиабатическом подъеме единичной массы воздуха. Она пропорциональна площади, ограниченной кривой стратификации, кривой состояния и двумя изобарами. Знак энергии неустойчивости определяется знаком разности температур в поднимающейся или опускающейся частице воздуха (t') и окружающем ее воздухе (t). При $(t' - t) > 0$ энергия неустойчивости положительна (кривая состояния располагается правее кривой стратификации, частица движется вверх), а при $(t' - t) < 0$ энергия неустойчивости отрицательна (кривая состояния располагается левее кривой стратификации, частица движется вниз). При $(t' - t) = 0$ энергия неустойчивости равна нулю (кривая состояния совпадает с кривой стратификации, частица под действием сил плавучести в вертикальной плоскости не перемещается).

Отметить желтыми горизонтальными линиями верхнюю и нижнюю границы слоев инверсии (слоев, где вертикальный градиент температуры (γ) отрицателен, т.е. температура с высотой повышается). Проставить толщину слоя инверсии Δh в метрах и величину прироста температуры ΔT .

По данным приземных наблюдений и дефицитам точки росы отметить волнистыми синими линиями нижнюю и верхнюю границы облаков, заштриховать редкими наклонными синими линиями пространство между ними, указать форму облачности и толщину облачного слоя. Вертикальными зелеными штрихами отметить зоны осадков и указать их вид.

На бланке аэрологической диаграммы произвести вычисление геопотенциальных высот. Для этого кривую стратификации в слое между двумя основными изобарическими поверхностями делят отрезком изотермы так, чтобы площади, образовавшиеся слева и справа от данного отрезка изотермы, были равновелики. Значение температуры, соответствующее этому отрезку изотермы, является средней температурой данного слоя T . Таким же способом находят и среднее значение точки росы данного слоя T_d . Далее определяют среднее значение виртуальной температуры T_v . Для этого, перемещаясь по изограмме от точки пересечения изобары, соответствующей барической середине данного слоя, с изотермой T_d , с помощью шкалы виртуальной разности находят ΔT_v и прибавляют ее к значению T ($T_v = T + \Delta T_v$). По среднему значению виртуальной температуры слоя T_v отсчитывают величину относительного геопотенциала данного слоя по шкале, расположенной между основными изобарическими поверхностями.

Абсолютные геопотенциальные высоты легко вычисляются по формулам:

$$H_{1000} = h(p_0 - 1000); \quad h = \frac{8000}{p}(1 + \alpha t);$$

$$H_{850} = H_{1000} + H_{1000}^{850}; \quad H_{700} = H_{850} + H_{850}^{700}; \quad H_{500} = H_{700} + H_{700}^{500},$$

где h – барическая ступень; p – среднее давление, t – средняя температура слоя, для которого вычисляется барическая ступень, $\alpha = 1/273$; p_0 – давление на уровне моря.

Отношение смеси вычисляется путем нахождения, используя интерполяцию, изограммы проходящей через точку с абсциссой равной точке росы. Число, соответствующее этой изограмме, есть отношение смеси или массовая доля водяного пара, поскольку при решении практических задач допущение о равенстве этих величин не приводит к существенным погрешностям. Определяя подобным образом массовую долю водяного пара в момент насыщения, т.е. когда точка росы равна температуре воздуха и умножая отношение фактической массовой доли к массовой доле насыщения на 100%, получают относительную влажность воздуха.

По данным о температуре воздуха (t), температуре точки росы (t_d) и давлении (p) величину относительной влажности (r) можно определить полностью графическим способом. Для этого нужно

- найти точку пересечения изограммы, проходящей через точку с координатами t_d и p , с изобарой $p = 1000$ гПа;
- определить давление p' в точке пересечения изотермы, проходящей через полученную точку, с изограммой для точки (t, p);
- величина p' , уменьшенная в 10 раз, есть величина r в процентах.

Потенциальная Θ , псевдопотенциальная Θ_p температуры и потенциальная температура смоченного термометра Θ' используются для характеристики термодинамических процессов в атмосфере.

Потенциальная температура ненасыщенного воздуха с температурой t , на уровне p определяется путем смещения вдоль сухой адиабаты, проходящей через точку с координатами t и p , до изобары 1000 гПа, где и отсчитывается значение $\Theta^\circ\text{C}$.

Для графического расчета величин псевдопотенциальной Θ_p температуры и потенциальной температура смоченного термометра Θ'

частицы воздуха, находящейся на уровне p с температурой t и точкой росы t_d , нужно предварительно найти уровень конденсации. Для этого из точки с координатами (t, p) нужно провести вверх сухую адиабату, а из точки с координатами (t_d, p) – изограмму. Уровень их пересечения с давлением p_k меньшим или равным p и есть уровень конденсации. Значения Θ_p °K и Θ' °C отсчитываются у верхнего конца влажной адиабаты, проходящей через точку, соответствующую уровню конденсации.

Отчетные материалы.

Составленная и обработанная аэрологическая диаграмма.

Результаты вычисления геопотенциальных высот, массовой доли водяного пара, относительной влажности, потенциальной, псевдопотенциальной температур и потенциальной температуры смоченного термометра для основных изобарических поверхностей.

Задание 4.5. Построение, обработка и первичный анализ пространственных вертикальных разрезов.

Пространственные вертикальные разрезы строят для одного момента времени по данным зондирования нескольких станций, расположенных приблизительно на одной прямой. На бланке на оси абсцисс отмечают положение станций в масштабе 1 см = 50 км, а на оси ординат – высоты в масштабе 1 см = 0,5 км. Под каждой станцией подписывают ее название. Вдоль линии разреза наносят рельеф местности (линию превышения высот пунктов над уровнем моря). Независимо от направления разреза запад располагают слева, а восток – в правой части бланка.

Из всех точек зондирования восстанавливают перпендикуляры, на которых отмечают положение всех уровней с данными (основных

изобарических поверхностей и особых точек). На всех уровнях справа и слева от перпендикуляра по схеме (рис.4.1) наносят данные зондирования.

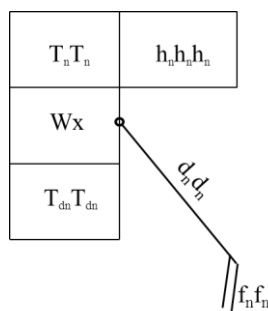


Рис.4.1. Схема нанесения данных на пространственный вертикальный разрез атмосферы.

$T_n T_n$ – температура воздуха, $T_{dn} T_{dn}$ – температура точки росы (или $D_n D_n$ – дефицит точки росы), $h_n h_n h_n$ – геопотенциальная высота уровня с данными, W_x – погода на данном уровне (наносит символами табл.4.5).

Таблица 4.5

Условные обозначения погоды на данном уровне вертикального разреза

Гроза	Град	Дождь	Снег	Гололед	Шквал или смерч
☉	Δ	•	*	∞) (

Кроме этих данных, на бланк разреза можно наносить:

1. нижнюю и верхнюю границу облачных слоев – короткими горизонтальными линиями на соответствующих высотах;
2. зоны облаков обводят волнистой линией, их тип (символами кода КН-01) и количество (цифрами кода КН-01);
3. зоны осадков – вертикальными штрихами от верхней до нижней границы зоны, тип осадков внутри зоны обозначается теми же символами, что и на приземных картах;
4. высоту тропопаузы;

5. данные приземных наблюдений – наносятся ниже линии нулевой высоты, под соответствующей вертикалью как на приземных картах;
6. слои обледенения, болтанки и тумана отмечают следующим образом – проводят вертикальную линию от нижней до верхней границы слоя, рядом проставляют символ явления (табл.4.6).

Таблица 4.6

Явление	Интенсивность	Символ
Обледенение	слабое	
	умеренное	
	сильное	
Болтанка	умеренная	
	сильная, очень сильная	
Туман	слабый, не усиливающийся	
	слабый, усиливающийся	
	умеренный, ослабевающий	
	умеренный, без изменения	
	умеренный, усиливающийся	
	густой, ослабевающий	
	густой, без изменения	

В случае необходимости на вертикальном разрезе также можно строить график вертикальных температурных градиентов. После определения значений вертикального температурного градиента в обе стороны от перпендикуляра откладывают в масштабе $1 \text{ см} = 0,5^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ его величину. Положительные значения (понижение температуры с высотой) откладывают влево от перпендикуляра, отрицательные – вправо. Полученные отрезки соединяют ломаной линией черного цвета. Таким образом, вертикальные отрезки этой линии показывают толщину слоя, в котором наблюдается тот или иной градиент, а расстояние от перпендикуляра дает величину градиента. У вертикальных отрезков проставляют величину вертикального градиента с точностью до $0,01^\circ\text{C}/100 \text{ м}$.

Анализ пространственного вертикального разреза включает в себя следующие операции:

- проведение изотерм сплошными черными линиями кратными 10°C , в области тропопаузы и областях малых вертикальных градиентов кратными 5°C ;
- проведение линии тропопаузы (сплошная линия коричневого цвета), положение тропопаузы определяют по нанесенным данным о ее высоте, а также по нижней границе слоя стратосферной инверсии, по изотермам или малому вертикальному градиенту температуры (менее $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$);
- проведение изотак (линий равных скоростей ветра) зеленым цветом через 40 км/ч , начиная со скорости 100 км/ч , что позволяет выявить наличие струйных течений. В области наибольших значений скорости проставляют ее максимальную величину;
- выделение верхней и нижней границ поверхностей атмосферных фронтов (цветными линиями в соответствии с видом фронта), при выбранном отношении вертикального и горизонтального масштабов ($1:100$), если на разрезе линия тропопаузы или границы фронтального раздела проходит под углом 45° к горизонтали, их действительный наклон равен $1/100$;
- выделение слоев инверсии горизонтальными линиями желтого цвета, проходящими через верхнюю и нижнюю границы инверсионных слоев;
- выделение зон облачности, осадков, опасных атмосферных явлений, болтанки и обледенения производится по данным наблюдений на синоптических и аэрологических станциях, по данным с воздушных судов («бортовой погоде»), по дефициту точки росы и в зависимости от положения фронтальных разделов.

Нижнюю и верхнюю границу облачных слоев обозначают синими горизонтальными линиями на соответствующих высотах,

промежуточный слой слегка закрашивают синим цветом и здесь же проставляют форму облачности латинским буквенным обозначением и толщину облачного слоя в метрах (например, Sc₄₀₀).

Зоны осадков отмечают вертикальными зелеными штрихами от верхней до нижней границы зоны, тип осадков внутри зоны обозначается теми же символами, что и на приземных картах.

Слои обледенения, болтанки и тумана отмечают следующим образом проводят вертикальную линию от нижней до верхней границы слоя, рядом проставляют символ явления (табл.4.6), зону тумана, кроме того, закрашивают желтым цветом.

Содержание задания.

Построить по данным зондирования атмосферы и проанализировать пространственный вертикальный разрез.

Исходные материалы.

Данные зондирования атмосферы по маршруту Москва – Нижний Новгород – Казань – Уфа (табл.4.7).

Таблица 4.7

Данные зондирования атмосферы

ТТАА	29001	27713	99010	10722	34001	00267	10719	32007
92871	08760	33016	85523	11568	33517	70987	20364	35518
50542	32361	02024	40696	44361	02529	30883	56761	01526
25998	56161	00019	20141	52761	31516	15326	54763	30016
10584	57564	29520	88273	58960	01024	77999	31313	56203
82330								
ТТВВ	29003	27713	00010	10722	11972	08110	22950	07148
33927	08560	44908	09761	55824	11970	66821	12170	77719
19366	88706	20165	99662	21157	11592	24561	22576	26362
33512	30961	44387	46161	55303	56761	66268	58960	77240
54760	88223	56961	99203	52961	21212	00010	34001	11996
31510	22970	33018	33802	33021	44663	36015	55645	01016
66405	02529	77278	01025	88249	00019	99245	36018	11229
33013	22188	30517	33145	30513	44132	28518		

Продолжение таблицы 4.7

TTAA	29001	27459	99007	11115	31001	00207	12508	31505
92802	12710	35015	85444	15351	35016	70889	22961	34517
50529	34565	35528	40682	42963	00535	30869	62560	35536
25985	53759	4551	20128	53760	34520	15315	51363	35017
88311	62760	35035	77256	6062	45752	31313	59003	82330
TTBB	29003	27459	00007	11115	11945	14106	22902	12710
33876	14315	44864	14549	55741	20158	66670	26163	77621
28565	88556	30965	99524	34165	11442	37965	22407	41563
33342	47961	44301	62760	55278	52161	66228	54960	77153
50962	88128	56562	21212	00007	31001	11990	32510	22929
35015	33594	35022	44574	35525	55556	03032	66488	00530
77290	35536	88269	02540	99256	06062	11209	00517	22191
32023	33143	31021	44132	29537	31313	59003	82330	
TTAA	29001	27594	99006	10521	34006	00175	10709	32506
92766	14909	33513	85407	14908	34014	70849	24550	33016
50523	37960	34021	40674	45960	34022	30864	47961	31519
25983	49162	30022	20130	49564	29523	15318	50164	29523
10580	55164	28528	88358	48360	33520	77999		
TTBB	29003	27594	00006	10521	11921	15109	22838	15309
33808	17311	44761	19343	55736	21550	66653	28939	77634
29135	88610	29550	99516	36561	11432	44160	22336	49160
33263	50161	44222	46963	55100	55164	21212	00006	34006
11992	31007	22934	33513	33907	33014	44392	34021	55269
30021	66102	28528	31313	52903	82330	41414	855//	61616
10312								
TTAA	29001	28722	99000	10528	32004	00106	10528	32004
92703	11922	01013	85345	16520	36012	70788	24156	30510
50516	40156	27015	40668	41160	26035	30859	48362	26032
25979	48564	26533	20125	49565	26528	15312	52767	27531
56568	28031	88291	49363	26032	88113	56167	28032	77405
26035								
TTBB	29003	28722	00000	10528	11976	11720	22946	10710
33838	16520	44796	17138	55638	28959	66532	38357	77464
41757	88418	39959	99400	41160	11353	46162	22300	48362
33159	53166	44138	51167	55100	56568	21212	00000	32004
11959	35513	22839	36011	33815	34509	44750	33010	55669
29010	66528	25515	77496	27515	88405	26035	99200	26528
11101	28032	31313	56203	82330	41414	00900		

Рекомендации по выполнению задания.

Построить бланк пространственного вертикального разреза по заданному маршруту и нанести данные вертикального распределения метеорологических величин на бланк разреза.

На разрезе построить графики изменения с высотой вертикального градиента температуры.

Провести черными линиями изотермы и коричневым цветом линию тропопаузы.

Зеленым цветом провести изотахи и выделить струйные течения.

Желтым цветом выделить границы слоев инверсии, синим цветом облачные слои и зеленой вертикальной штриховкой обозначить зоны осадков.

Отчетные материалы.

Построенный и проанализированный вертикальный разрез.

Список литературы

1. Наставление по кодам. Международные коды. Том I.1. (Дополнение II к Техническому регламенту ВМО). Часть А – Буквенно-цифровые коды. ВМО-№306. – Всемирная Метеорологическая Организация, 2011, 2017. 518 с.
2. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Служба метеорологических прогнозов. Части I и II. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. 151 с.
3. Практикум по синоптической метеорологии. Под ред. В.И.Воробьева. – СПб.: изд. РГГМУ, 2005. 304 с.
4. Успенский Б.Д., Веселова Г.К. Новая аэрологическая диаграмма и ее применение при диагнозе и прогнозе погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. 28 с.