

ГЛОССАРИЙ

Ведущий поток – достаточно сильный, малозавихренный устойчивый поток в слое 4-6 км.

Адвекция - горизонтальный перенос воздушных масс.

Трансформация – изменение свойств воздушных масс при перемещении за счет тепло- и влагообмена с подстилающей поверхностью.

Высотная фронтальная зона (ВФЗ) – это зона сильно сгущенных изогипс OT_{1000}^{500} между высоким холодным циклоном и высоким теплым антициклоном.

Атмосферный фронт – узкая переходная зона между двумя воздушными массами. Характеризуется резким изменением всех метеовеличин в горизонтальном направлении, различается по протяженности, особенностям перемещения, вертикального строения и условиям погоды.

Фронтогенез – процесс возникновения и обострения фронта.

Фронтोलиз – процесс размывания фронта.

Циклогенез – процесс образования и развития циклона (или разрушение антициклона).

Антициклогенез – усиление со временем антициклонической циркуляции (или ослабление циклонической).

Регенерация циклона – повторное углубление или возрождение циклонов, начавших заполняться, а также резкое углубление молодых циклонов, развивающихся до этого вяло.

Серия циклонов – циклоны, возникающие на одном фронте и движущиеся вдоль него в одном и том же направлении.

Центральный циклон – это высокий, глубокий, обширный окклюдированный циклон, возникающий за счет слияния молодых циклонов с первым циклоном серии.

Регенерация антициклона – повторное его усиление после начавшегося разрушения, а также усиление антициклона какое-то время не менявшего свою мощность после предыдущего усиления.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

Лекция №1

Понятие атмосферных фронтов. Классификация атмосферных фронтов по различным признакам. Наклон фронтальной поверхности

Фронтом называется узкая переходная зона между воздушными массами, характеризующаяся резкими изменениями воздушных масс в горизонтальном направлении, различающаяся по протяженности, особенностям перемещения, вертикального и горизонтального строения и условий погоды.

Раздел между воздушными массами не является геометрической поверхностью, а имеет вид фронтальной зоны, ширина которой зависит от интенсивности конвергенции воздушных масс и от степени турбулентности. В приземном слое она не превышает 100 км, с высотой она увеличивается. На картах OT_{1000}^{500} фронту соответствует зона больших горизонтальных контрастов средней температуры, т.е. ВФЗ. Изогипсы OT_{1000}^{500} проходят почти параллельно приземной линии фронта. Так как холодный воздух плотнее и тяжелее, чем теплый, то фронты всегда наклонены в сторону холодного воздуха.

По горизонтальной и вертикальной протяженности и циркуляционной значимости различают следующие фронты:

- 1) основные (тропосферные, высокие),
- 2) вторичные (приземные, низкие),
- 3) верхние.

По особенностям перемещения и условиям погоды:

- 1) простые (теплые, холодные, стационарные),
- 2) сложные или фронты окклюзии (теплые, холодные и нейтральные).

Фронты окклюзии также могут быть малоподвижными.

В зависимости от направления движения теплого воздуха вдоль поверхности фронта они делятся на обостряющиеся и размывающиеся в зависимости от характера метеовеличин и условий погоды, связанных с фронтом.

По географическим признакам в зависимости от воздушных масс, разделяемых фронтом различают следующие главные фронты:

- 1) арктические (АФ),
- 2) полярный (ПФ) или фронт умеренных широт,
- 3) ВЗК – внутритропическая зона конвергенции.

Арктические фронты делятся на свежие и трансформационные.

Географическая классификация фронтов используется в основном в описаниях синоптических процессов, когда хотят подчеркнуть географическое происхождение воздушных масс и фронтов.

Теоретические подсчеты показали, что угол наклона (α) фронтальной поверхности к горизонту очень мал и для большинства фронтов он не превышает $0,5^\circ$. Формула Маргулеса для

$tg \alpha : tg \alpha = \frac{l}{g} \cdot \frac{T_2 V_1 - T_1 V_2}{T_2 - T_1}$. После приведения к более простому виду:

$$tg = \frac{l}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \cdot T_m.$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте понятие атмосферного фронта, фронтальной зоны. Охарактеризуйте их.
2. Почему с высотой увеличивается ширина фронтальной зоны?
3. По каким признакам классифицируют атмосферные фронты? Перечислите типы атмосферных фронтов.
4. Что такое вторичный фронт? В каких метеоэлементах обычно выражен вторичный холодный фронт?

5. От каких параметров зависит угол наклона фронтальной поверхности? В каких пределах изменяются углы наклона анафронтов и катафронтов?
6. Какие основные выводы относительно поля давления и поля ветра в зоне фронта можно получить из анализа формулы угла наклона поверхности стационарного фронта?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.:Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат.1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.:Гидрометеиздат. 1991.
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №2

Теплый фронт. Особенности распределения метеорологических величин в зоне теплого фронта. Отклонения в распределении облачности и погодных условий от классической схемы теплого фронта

Теплыми называются участки фронта, перемещающиеся в сторону относительно холодной воздушной массы. Теплые фронты – это преимущественно анафронты.

Перед Т.Ф. всегда наблюдается адвективное падение давления, вызванное заменой холодного воздуха теплым. Кроме того может наблюдаться динамическое (эволюционное) изменение давления, вызванное изменением массы воздуха в вертикальном столбе.

Поскольку фронты у поверхности земли проходят по оси ложбины, то при прохождении фронтов через пункт наблюдений ветер поворачивает вправо и усиливается вследствие того, что барический градиент возрастает в направлении оси ложбины. В вертикальной плоскости в зоне теплого фронта имеет место правый поворот ветра с высотой, обусловленный адвекцией тепла.

Фронт характеризуется большими горизонтальными градиентами температуры. При прохождении фронта температура повышается на 5-10, иногда 15 °С. У поверхности земли на распределение температуры сильное влияние могут оказывать местные условия, характер облачности, ветер и другие погодные характеристики. Влияние орографии и облачности особенно сильно проявляется зимой. Фронт может быть замаскирован в поле температуры.

Облачность ТФ располагается преимущественно перед приземной линией фронта вдоль клина холодной воздушной массы. Основными составляющими этой системы являются облака Ci-Cs, As-Ns, под которыми обычно наблюдаются разорванные облака St fr.

С теплыми фронтами могут быть связаны ливни, грозы, град. Зимой выпадение снега перед ТФ часто сопровождается метелями. В зоне фронта при благоприятных условиях может наблюдаться гололед. Наконец, перед ТФ, и зимой, и в переходные сезоны и за Т.Ф. отмечаются адвективные туманы.

Анализ атмосферных синоптических процессов показывает, что в действительности могут быть значительные отклонения от классической схемы распределения облачности и погодных условий вблизи линии Т.Ф. Это зависит от влажности теплого воздуха, продолжительности существования циклона и его интенсивности, от величины вертикальных движений на разных уровнях, от сезона, географических особенностей района и т.п.

Вопросы для самоконтроля:

1. Изобразите типичную схему строения облачной системы теплого фронта.
2. Перечислите признаки теплого фронта на приземной и высотных картах погоды.
3. Почему фронтальные зоны с высотой выходят из барической ложбины?
4. Охарактеризуйте изменения погоды в случае приближения и прохождения через пункт наблюдения теплого фронта.
5. Охарактеризуйте сезонные отличия в характере погоды на теплых фронтах.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.:Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат.1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.:Гидрометеиздат. 1991.

4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №3

Холодный фронт. Особенности распределения метеорологических величин и облачных систем в области холодного фронта I и II родов. Вторичные фронты.

Холодными называются фронты, движущиеся в сторону теплого воздуха. Холодные фронты – преимущественно катафронты. Холодные фронты делятся на фронты I и II рода.

Холодные фронты I рода – это фронты, с которыми связана облачная система Ns, As, Cs, Ci и зафронтальная зона обложных осадков.

Холодными фронтами II рода называются те фронты, с которыми связаны предфронтальные облака кучево-дождевых форм и предфронтальная зона осадков в виде узкого вала.

При прохождении фронтов у земли и на АТ₈₅₀ ветер поворачивает вправо и усиливается. При вертикальном зондировании через поверхность фронта ветер поворачивает влево в соответствии с адвекцией холода.

При прохождении ХФ происходит замена теплого воздуха более плотным и тяжелым холодным, поэтому за ХФ всегда наблюдается адвективный рост давления. При прохождении ХФ температура снижается на 5-10, а иногда и более градусов. Зимой более резкие изменения температуры отмечаются иногда не при прохождении фронта, а при прохождении границы фронтальных облаков.

За холодным фронтом I рода наблюдается широкая зона обложных осадков, зимой 0 метели, летом – грозы.

С холодным фронтом II рода связаны ливневые осадки, сопровождаемые грозой, иногда градом.

Холодный фронт II рода полей ветра, давления и температуры выражен более резко, чем холодный фронт I рода.

Строение холодных фронтов отмечается большим разнообразием по сравнению со строением теплых фронтов, существует также ряд отклонений от классической схемы.

Вторичные холодные фронты формируются в барических ложбинах в тылу циклона, преимущественно после начала его окклюзивирования. Обычно они проявляются не только в поле облачности и осадков, но и в росте давления за линией фронта. А также некоторым различием температур по обе стороны фронта.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое вторичный фронт? В каких метеоэлементах обычно выражен вторичный холодный фронт?
2. Изобразите типичное строение облачных систем холодных фронтов
3. Каково поле барических тенденций у холодных фронтов?
4. Охарактеризуйте изменения погоды в случае приближения и прохождения через пункт наблюдения холодного фронта.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991.
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №4

Фронты окклюзии. Структура и характеристика фронтов окклюзии различных типов.

Фронтами окклюзии называются фронты, образующиеся за счет слияния теплого и холодного участков одного фронта.

Точка, от которой расходятся остающиеся несомкнутые участки теплых и холодных фронтов, называется точкой окклюзии.

Область, заключенная между теплыми и холодными фронтами, называется теплым сектором циклона.

Процесс образования фронта окклюзии в циклоне называется окклюдированием циклона, а циклон, в котором главное значение приобретает фронт окклюзии – окклюдированным циклоном.

В зависимости от соотношения температур воздушных масс по обе стороны от фронта различают теплый и холодный фронт окклюзии, а также нейтральные. В системе фронт окклюзии взаимодействуют три воздушные массы, из которых наиболее теплая уже не соприкасается с поверхностью земли, перемещается на высоты.

Поэтому помимо приземной линии фронта, имеется линия верхнего фронта, проекция которого на плоскость приземной карты располагается впереди линии теплого фронта окклюзии (верхний холодный фронт) и позади линии холодного фронта окклюзии (верхний теплый фронт).

Теплый фронт окклюзии над территорией Казахстана и Сибири наблюдается в холодное полугодие, а холодный фронт окклюзии более типичны для лета, что объясняется сезонным различием соотношения температур между морем и континентом.

Так как барическая ложбина, в которой располагается фронт окклюзии, часто сильно вытянута и симметрична относительно линии фронта, то с прохождением фронта окклюзии направление ветра особенно резко меняется. С фронтом окклюзии часто связана изаллобарическая пара: замкнутая область падения перед фронтом и область роста за фронтом.

Изменение температуры при прохождении фронта окклюзии значительно меньше, чем при прохождении главных фронтов, обычно не превышает 5 °С.

Исследования показали, что точка окклюзии, каким бы старым ни был фронт окклюзии, выше 3 км подняться не может. Облачность и осадки большую часть времени существования фронта окклюзии наблюдается перед приземной линией окклюзии. Летом, наряду с облачной системой Ns, As, Cs, Ci, наблюдаются кучево-дождевые облака, из которых выпадают ливни в основном перед линией верхнего холодного фронта. В зимнее время с фронтом окклюзии могут быть связаны сильные и продолжительные метели, зоны обледенения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Охарактеризуйте изменения погоды в случае приближения и прохождения через пункт наблюдения фронтов окклюзии по типу теплого фронта и по типу холодного фронта.
2. Что такое верхний фронт в системе окклюзии? Как он возникает и где располагается относительно теплой и холодной окклюзии?
3. Объясните различия в характере облачности и осадков в зонах теплой и холодной окклюзий.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991.
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №5

Фронтотенез и фронтотиз. Влияние горизонтальных и вертикальных движений воздуха на условия фронтотенеза.

Одним из основных факторов, определяющих степень активности фронта является ширина переходной зоны между соседними воздушными массами.

Под фронтотенезом, т.е. процессом возникновения и обострения фронта, понимают процесс сужения переходной зоны, приводящей к увеличению горизонтальных градиентов температуры, а под фронтотизом – процесс ее расширения, проявляющийся в уменьшении этих градиентов.

Индивидуальный фронтотенез – это увеличение горизонтального градиента температуры в движущемся воздухе

$$F_{\text{инд}} = \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial X} = \frac{dT_v}{dt}$$

Локальный фронтогенез – возрастание горизонтального градиента температуры в данной точке

$$F_{\text{лок}} = \frac{\partial T_v}{\partial t}$$

Формула индивидуального фронтогенеза за счет горизонтальных движений:

$$F_1 = \frac{T_v}{e} \left[H_{ns} \cos 2\varepsilon + \frac{1}{2} (kH_n - H_{nn}) \sin 2\varepsilon \right]$$

Из формулы видно, что он зависит от кривизны изогипс (k), сходимости (расходимости) – (H_{ns}), сгущения или разрежения (H_{nn}), и от угла адвекции (ε).

По этой формуле делаются качественные выводы об условиях, благоприятных для фронтогенеза (фронтолиза). Влияние вертикальных движений на фронтогенез (фронтолиз) выражается формулой:

$$F_2 = -\frac{\partial \omega}{\partial v} (\gamma_a - \gamma)$$

Согласно формуле, F_2 зависит от стратификации ($\gamma_a - \gamma$) и от направления и скорости изменения вертикальных движений воздуха по нормали к изотерме.

На практике условия фронтогенеза (фронтолиза) оценивают графическим путем учета взаимного положения изогипс и изотерм с помощью термобарической карты нижней половины тропосферы.

Влияние вертикальных движений соизмеримо с влиянием горизонтальных перемещений.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем заключаются процессы фронтогенеза и фронтолиза? Какие условия благоприятствуют фронтогенезу, какие - фронтолизу?
2. Изобразите схемы высотных термобарических полей, наиболее благоприятных для фронтогенеза и фронтолиза.
3. Как влияют горизонтальные движения воздуха на условия фронтогенеза (фронтолиза)?
4. В чём заключается влияние вертикальных движений на фронтогенеза (фронтолиз)?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.:Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат.1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.:Гидрометеиздат. 1991.
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №6

Перемещение фронтов

Движением фронтов определяется изменение погоды с течением времени. Поэтому одной из основных задач, стоящих перед инженером-синоптиком является расчет скорости и направления смещения фронтов.

Для прогноза перемещения фронта на короткие промежутки времени пользуются линейной нелинейной экстраполяцией. Точность этого метода прямо пропорциональна сроку, на который дается прогноз.

Перемещение фронтальной поверхности определяется ветром в холодном воздухе. Обычно фронт перемещается со скоростью равной нормальной к нему слагающей скорости ветра в холодном воздухе.

Перемещение фронта можно определять и по приземной карте погоды. Эмпирически найдено, что скорость его перемещения несколько меньше скорости нормальной к фронту

слагающей геострофического ветра на уровне моря. Отношение скорости перемещения фронта к скорости этой слагающей равно для теплых фронтов 0,6-0,8, для быстродвигающихся холодных фронтов 0,7-0,9, для медленно перемещающихся холодных фронтов ≈ 1.0 .

Для прогноза перемещения фронтов у земли как правило, используют карту среднего уровня AT_{700} . Исходят из правила, что каждая точка фронта у поверхности земли перемещается вдоль проходящей над ней изогипсы AT_{700} со скоростью, пропорциональной скорости ветра в районе этой точки на этой поверхности. Коэффициент пропорциональности принимают равным 0,8 для теплых и 0,9 для холодных фронтов. По возможности необходимо учитывать будущую перестройку барического поля.

Большинство фронтов лежит на осях явно выраженных ложбин и перемещается вместе с ними. Поэтому прогноз поля давления должен предшествовать прогнозу перемещения фронта.

Самостоятельное значение имеет прогноз перемещения только тех фронтов, которые лежат вне четко очерченных ложбин.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какой способ является самым простым для прогноза перемещения и на какие сроки они могут применяться?
2. Что такое ведущий поток? Как его выбирают?
3. В чём заключается метод ведущего потока в применении к перемещению фронтов?
4. Почему нормальная слагающая ветра в теплом воздухе не может определять перемещение фронтов?
5. Прогноз поля какой метеовеличины должен предшествовать прогнозу перемещения фронта?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №7

Влияние рельефа на перемещение и пространственную структуру фронтов

Подстилающая поверхность оказывает сильное влияние на движение и структуру фронтов.

Фронтонез, обусловленный неоднородностями подстилающей поверхности, называется топографическим.

Влияние гор на атмосферные фронты проявляется в задерживании фронтов горами, в изменении скорости перемещения того или иного участка фронта, в обострении фронтов, образовании фронтальных волн перед наветренной стороной гор и в размывании их при переваливании через горы. Своеобразным является процесс орографической окклюзии, связанной с огибанием линии фронта горного препятствия и изменением погодных характеристик в зоне фронта.

Характер влияния гор на фронты имеет свои особенности в каждом горном районе и зависит:

- 1) от высоты горного препятствия,
- 2) его строения,
- 3) от первоначальной ориентировки фронта относительно оси хребта,
- 4) от сезона года,
- 5) от движения и развития того циклона, с которым связан фронт.

Теплые и холодные фронты подвержены деформации в различной степени, причем для холодного этот процесс более многообразен.

Холодные фронты могут переваливать через горы только тогда, когда верхняя граница холодной массы превосходит высоту гор.

Низкие горные цепи холодные фронты переваливают, не испытывая заметной деформации.

Теплые фронты имеют большую вертикальную протяженность, поэтому они чаще и легче переваливают через горы, даже высокие. На наветренной стороне гор всегда проявляется обострение, на подветренной – размывание фронтов

Вопросы для самоконтроля:

1. От каких факторов зависит характер влияния гор на перемещения фронтов?
2. В чем проявляется влияние гор на АФ?
3. Нарисуйте схемы переваливания теплого фронта через горные препятствия. Объясните изменения характера погоды на теплом фронте при этом процессе.
4. То же о холодном фронте.
5. Для каких районов характерен процесс орографического окклюдирования? В чем он заключается?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №8

Локальное изменение высоты изобарической поверхности во времени

Формулу для локального изменения геопотенциала во времени можно получить из уравнения вихря скорости без учета приземного трения:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{ml} (H, \Delta H) + \frac{1}{m} (H, l) + \frac{1}{m} (l^2 + \Delta H) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\tau}{m} \cdot \frac{\partial}{\partial p} \Delta H + \frac{l}{m} \left(\frac{\partial \tau}{\partial x} \cdot \frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\partial \tau}{\partial y} \cdot \frac{\partial u}{\partial p} \right)$$

Из формулы следует, что изменение высоты любой изобарической поверхности во времени определяется влиянием следующих факторов:

- 1) горизонтальным перемещением вихря скорости вдоль потока на том уровне, для которого ведется расчет $\frac{\partial H}{\partial t}$,
- 2) изменение ускорения Кориолиса с широтой,
- 3) дивергенцией воздушных течений на той же изобарической поверхности,
- 4) изменение вихря скорости по вертикале,
- 5) изменение вертикальной скорости вдоль изобарической поверхности и изменениям слагающих вектора ветра с высотой.

Для практических целей с допустимой точностью можно считать, что основными факторами является адвекция вихря скорости и дивергенция скорости.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какими факторами определяется изменение высоты любой изобарической поверхности во времени?
2. Охарактеризуйте вклад каждого фактора?
3. По какой формуле можно сделать качественные выводы о локальном изменении геопотенциала во времени?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №9

Качественная оценка знака и интенсивности цикло- и антициклогенеза по структуре барического поля и его изменению во времени

Чтобы выяснить от каких особенностей структуры барических потоков зависит знак изменения лапласиана геопотенциала в направлении изогипс, который определяет вклад вихревого фактора в изменении высоты изобарической поверхности возьмем формулу в натуральной системе координат:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right)_{\text{вихр}} = \frac{1}{ml} H_n (K_s H_n + KH_{ns} + H_{nns}).$$

Из формулы видно, что влияние горизонтального переноса вихря скорости определяется тремя факторами:

- 1) изменением кривизны изогипс вдоль потока,
- 2) сходимостью (расходимостью) изогипс различной кривизны,
- 3) изменением степени и направления сгущения изогипс вдоль потока по нормали к нему.

Вклад третьего фактора самый наименьший, поэтому при качественной оценке им можно пренебречь.

Наибольшие значения вихревого падения геопотенциала бывает в передних частях высотных ложбин с расходящимися изогипсами и в тыловых частях высотных гребней с расходящимися изогипсами.

Наибольший вихревой рост геопотенциала со временем происходит в тыловой части высотных ложбин со сходящимися изогипсами и в передней части высотных гребней с расходящимися изогипсами. При прочих условиях наибольшие вихревые изменения геопотенциала наблюдаются в ВФЗ. При росте геопотенциала со временем давление на ближайшем уровне также растет и наоборот. Поэтому адвекцию вихря и дивергенцию скорости можно считать динамическими факторами изменения давления.

Вопросы для самоконтроля:

1. Изобразите формулу изменения лапласиана геопотенциала в направлении изогипс в натуральной системе координат.
2. Какими факторами определяется влияние горизонтального переноса вихря скорости.
3. Оцените вклад каждого члена формулы при качественной оценке.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №10

Современная теория цикло- и антициклогенеза

Процесс образования и развития циклонов (разрушения антициклонов) называется циклогенезом, а процесс образования и развития антициклонов (ослабление циклонов) – антициклогенезом.

Существует немало теорий цикло- и антициклогенеза, каждая из которых основывается на одном или нескольких факторах и не в состоянии объяснить весь сложный процесс развития циклонов и антициклонов.

Современная теория – вихревая, базируется на использовании уравнения вихря скорости. Обязательным условием возникновения замкнутых областей низкого и высокого давлений с присущей им циркуляцией воздуха, является неравномерность изменения давления, которая приводит к прогибу изобарических поверхностей, что аналитически характеризуется изменением лапласиана геопотенциала во времени, т.е. величиной и знаком $\frac{\partial}{\partial t} \Delta H$.

$\frac{\partial}{\partial t} \Delta H > 0$ характеризует увеличение циклонической или ослабление антициклонической циркуляции, т.е. циклогенез.

$\frac{\partial}{\partial t} \Delta H < 0$ характеризует ослабление циклонического вихря или усиление антициклонического, т.е. антициклогенез.

Формула цикло- и антициклогенеза по современной теории выглядит так:

$$\frac{\partial}{\partial t} \Delta H_{p_0} = -\frac{1}{l} (H, \Delta H)_p - l^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)_p - R l_n \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{\partial}{\partial t} \Delta T_{cp}$$

Из формулы следует, что изменение вихря скорости у земной поверхности определяется адвекцией вихря скорости на уровне $P = \text{const}$, дивергенцией скорости на том же уровне и изменением лапласиана средней температуры между поверхностями P_0 и P .

Все выводы по этой формуле пригодны лишь для качественной оценки цикло-антициклогенеза и не пригодны для количественных расчетов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие факторы учитываются в настоящее время при объяснении процессов цикло- и антициклогенеза?
2. Объясните вклад адвекции вихря скорости в цикло- и антициклогенез.
3. Как оценивается роль термического фактора в циклогенезе и антициклогенезе?
4. Изобразите схему высотного термобарического поля нижней половины тропосферы, наиболее благоприятного для циклогенеза и для антициклогенеза у поверхности Земли.
5. Какова роль дивергенции скорости в процессах цикло- и антициклогенеза?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №11

Классификация циклонов и антициклонов. Общие сведения о внетропических циклонах и антициклонах

Самые обширные циклоны в северном полушарии обычно наблюдаются на севере Атлантического и Тихого океанов. В среднем повторяемость антициклонов в 2,5-3 раза меньше, чем циклонов.

Над ЕТР повторяемость циклонов зимой примерно в 2 раза больше, чем летом. Над Азиатской частью континента наибольшая повторяемость летом.

В зависимости от причин зарождения различают фронтальные циклоны, развивающиеся на арктических фронтах и нефронтальные местные, термические, обычно небольшие и неглубокие циклоны, образующиеся вне связи с фронтом. В зависимости от географических условий формирования и особенностей строения и развития различают:

- 1) циклоны умеренных широт или внетропические,
- 2) тропические циклоны и слабые циклонические образования экваториальной зоны.

По широтной зоне возникновения антициклоны также можно разделить на внетропические и субтропические. По связи с фронтальными разделами антициклоны могут быть фронтальными и нефронтальными.

Фронтальные циклоны делятся на промежуточные и заключительные.

К нефронтальным антициклонам относятся стационарные или малоподвижные, термические (местные) и субтропические антициклоны.

В зависимости от направления перемещения различают следующие траектории циклонов: северные или северо-западные, западные, южные и восточные или ультраполярные. Аналогично у антициклонов: полярные или север - западные вторжения, ультраполярные (ССВ), отроги

сибирского антициклона, ядра азорского антициклона. Скорости смещения колеблются в широком пределах от 0 до 100 км/ч.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите типы циклонов и антициклонов.
2. Дайте характеристику внетропических циклонов и антициклонов.
3. Какие циклоны называют "ныряющими"? Почему они обычно не получают значительного развития?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №12

Стадии развития барических образований. Структура высотного термобарического поля и условия погоды в различных стадиях

Если рассматривать жизнь циклона от возникновения до исчезновения, можно отметить следующие стадии развития:

- 1) начальная или стадия возникновения – от замкнутой изобары, кратной 5,
- 2) стадия молодого циклона – от оформления до начала окклюдирования,
- 3) стадия максимального развития – от начала окклюдирования до начала заполнения,
- 4) стадия заполнения – от начала заполнения до полного исчезновения, как самостоятельного образования на приземной карте.

Циклоны возникают под дельтой ВФЗ на антициклонической стороне струйного течения. На эволюцию циклона во всех стадиях, кроме стадии заполнения действуют следующие факторы: термический, фактор адвекции вихря, вертикальные токи. В последующей стадии термический и вихревой факторы близки к 0, вертикальные токи тоже ослабевают и циклон заполняется за счет конвергенции трения и становится высоким холодным барическим образованием.

Развитие антициклона условно делится на три стадии:

- 1) молодой антициклон или стадия усиления антициклона,
- 2) антициклон, достигший максимального развития,
- 3) старый, разрушающийся антициклон.

Благоприятными для антициклогенеза являются: отрицательная адвекция вихря скорости в средней тропосфере, увеличение со временем средней температуры слоя, положительное значение дивергенции скорости.

В первой стадии антициклон у земли имеет вид отрога, возникающего в тылу в тылу циклона за холодным фронтом под входом ВФЗ на циклонической стороне струйного течения.

В стадии максимального развития он очерчивается несколькими замкнутыми изобарами у земли и на высоте, ему соответствует замкнутая область высокого давления. Гребень тепла располагается ближе к приземному центру. Для разрушающегося антициклона характерно падение давления у земли в центральной и передней частях. Он становится высоким теплым барическим образованием. Разрушается вследствие дивергенции трения, вначале у земли, а затем и на высотах. Давление в центре антициклона с квазивертикальной осью в отличие от циклона, может не меняться в течение нескольких дней.

Вопросы для самоконтроля:

1. Каково строение молодого циклона на приземной и высотной термобарической картах в типичном случае?
2. Изобразите строение циклона, достигшего максимального развития на приземной карте и на карте высотного термобарического поля в типичном случае.
3. Охарактеризуйте типичные условия погоды в различных частях молодого циклона зимой и летом.

4. Тоже об окклюдированном циклоне.
5. Покажите и объясните особенности строения высотного термобарического поля антициклона в каждой стадии его развития.
6. Каковы типичные условия погоды в различных частях антициклона зимой? Летом?

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №13

Прогноз возникновения и эволюция барических образований

Это один из важнейших этапов прогнозирования синоптического положения, конечной целью которого является прогноз погоды.

При прогнозе погоды возникновения новых барических образований решается три задачи:

- 1) прогноз факта возникновения,
- 2) прогноз места появления его к сроку, на который составляется прогноз,
- 3) прогноз давления в центре возникновения нового образования.

Наиболее часто циклоны и антициклоны возникают на:

- a) мало подвижных фронтах,
- b) на медленно движущихся участках холодных фронтов,
- c) у точки окклюзии ранее образовавшихся циклонов,
- d) на теплом участке фронта.

Фронты, на которых возникают новые циклоны бывают хорошо выражены в значительной толще тропосферы, или соответствует ВФЗ с $\frac{\partial T}{\partial y} \geq 16 - 24$ дам/1000 км. С ВФЗ, под которой

возникает циклон, обычно связано струйное течение, причем циклон возникает на теплой антициклонической стороне СТ, затем по мере развития переходит на холодную циклоническую сторону СТ. Возникновению циклона должны способствовать барическое поле, термический, и фактор адвекции вихря. Термические (местные) циклоны возникают в условиях неоднородного нагревания воздуха от подстилающей поверхности. Возникновение и развитие антициклонов тесно связано с развитием циклонов. Развитие соседних циклонов и антициклонов связано с одной и той же ВФЗ, но с различными ее участками.

Антициклоны легче и быстрее образуются в малоградиентном барическом поле. Антициклоны могут образовываться на оси ранее существовавшего гребня.

Наиболее благоприятные условия возникновения антициклонов у земли создаются в области барического гребня, развивающегося за линией холодного фронта предыдущего циклона, если высотное барическое поле способствует формированию отрицательного вихря скорости. Термический фактор также должен способствовать антициклогенезу. Внетропические (местные) антициклоны возникают в условиях неравномерного по площади теплообмена с подстилающей поверхностью.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите общие признаки развития волны в циклон.
2. Перечислите признаки зарождения циклона у точки окклюзии.
3. Объясните условия возникновения и развития циклонов на фронтах различных типов. Почему редко возникают циклоны на теплых фронтах?
4. Как влияет на дальнейшую эволюцию циклона характер адвекции температуры в его тыловой и передней частях?
5. Какие задачи решаются при прогнозе возникновения новых барических образований.
6. Какие условия у Земли и на высотах благоприятны для возникновения антициклонов.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №14

Прогноз перемещения барических образований

Для прогноза перемещения барических образований разработано и использовано большое количество эмпирических правил, расчетных формул, статистических зависимостей. Выбор наиболее рациональной методике зависит от вида исходной информации, от требуемой точности прогноза, времени, необходимого на разработку прогноза и т.д.

Самый простой метод – это метод линейной и нелинейной экстраполяции. При линейной экстраполяции считается, что в следующий промежуток времени циклон (антициклон) сместится на то же расстояние и в том же направлении, что и в предыдущем. В случае нелинейной экстраполяции учитывается изменение скорости смещения барических образований, т.е. ускорение, которое определяется по изменению направления и скорости перемещения в два последовательных промежутка времени.

Опыт показывает, что изаллобарические очаги перемещаются по более правильным траекториям и с более постоянной скоростью, чем сами центры циклонов и антициклонов, которым эти очаги соответствуют. Поэтому линейная экстраполяция дает достаточно хорошие результаты в применении к прогнозу перемещения изаллобарических очагов.

Установлено, что подвижные циклоны и антициклоны, имеющие хорошо выраженную изаллобарическую пару, компоненты которой находятся на одинаковом расстоянии от центра, смещаются вдоль линии, соединяющей центры очагов падения и роста давления, связанных с данным барическим образованием. Самым распространенным методом, применяемым в синоптической практике является метод ведущего потока.

С.И. Троицкий и В.Л. Линхель на материалах наблюдений установили, что подвижные циклоны (антициклоны) смещаются в направлении достаточно сильного завихренного устойчивого потока в слое 4-6 км со скоростью пропорциональной скорости этих потоков. Этот поток они назвали ведущим. Позже установили, что коэффициент пропорциональности на уровне $AT_{700} \approx 0,8$, на уровне $AT_{500} \approx 0,6$. Величины коэффициентов сильно зависят от скорости самого ведущего потока и не являются постоянными для данной изобарической поверхности.

Одним из частых правил, вытекающих из правил ведущего потока, является правило Я. Бьеркнеса-Сульберга. Они установили, что молодые циклоны смещаются в направлении, параллельном изобарам теплого сектора так, что холод остается слева.

Для смещения антициклонов можно применять такое правило. Если центр антициклона на AT_{700} совпадает с приземным центром, то направление смещения антициклона определяется направлением изотерм OT_{1000}^{500} .

Несмотря на разную точность, которые обеспечивают разные методы прогноза перемещения циклонов (антициклонов), синоптик должен уметь пользоваться любыми из них.

Вопросы для самоконтроля:

1. Ось циклона (антициклона) квазивертикальна. Какие выводы для прогноза дальнейшей эволюции и перемещения циклона (антициклона) можно из этого сделать?
2. Перемещение каких барических образований можно прогнозировать по методу Я Бьеркнеса – Сульберга
3. Почему экстраполяция изаллобарических очагов даёт лучшие результаты, чем перемещение самих центров барических образований.
4. В каких случаях применимы методы линейной и нелинейной экстраполяций.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.

3. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991
4. Коженкова З.П. Курс лекций по синоптической метеорологии. Алма-Ата: Изд. КазГУ. 1967.

Лекция №15

Регенерация циклонов и антициклонов

Регенерацией циклонов называется повторное углубление циклонов, начавших заполняться, а также резкое углубление молодых циклонов, развивающихся до этого вяло.

При регенерации рост давления у земли в центре циклона сменяется падением, иногда ровный ход давления после падения, затем вновь начинается резкое падение давления.

Также меняется направление смещения циклона, резко увеличивается скорость смещения, появляется новый или обостряется старый фронт, усиливается ветер, осадки и погода становится вновь неоднородной.

Основным процессом, обуславливающим регенерацию циклона, является резкий заток в его тыл свежих порций холодного воздуха, что приводит к повышению асимметрии температурного поля циклона и падению давления вблизи центра. Заток свежего холодного воздуха происходит при вторжении в систему циклона нового основного фронта. Наиболее часто регенерируют полярно-фронтальные циклоны, при вхождении в их тыл холодного арктического воздуха.

Регенерацией антициклона называется повторное усиление антициклона, начавшего разрушаться, а также усиление антициклона, какое-то время не менявших свою мощность после предыдущего усиления. Выделяют два основных варианта:

1) Регенерация высокого теплого антициклона при слиянии с ним заключительного холодного антициклона. В этом случае в высотном термобарическом поле над старым антициклоном вновь появляется и усиливается ВФЗ.

2) Возобновление процесса антициклогенеза в результате развития нового антициклона в гребне старого. Новый антициклон, усиливаясь, увеличивается в размерах, проходит все стадии развития и затем сливается со старым и как бы поглощает его.

Продолжительность существования регенерировавшего антициклона может существенно увеличиваться.

Вторым вариантом регенерации циклонов является развитие на холодном фронте вблизи уже существующего нового циклона с последующим его смещением и слиянием обоих центров.

Поскольку возникающий циклон развивается в непосредственной близости от высокого старого заполняющегося циклона, то новый циклон на картах барической топографии с самого начала выступает как высокий.

По мере развития нового циклона изобары старого циклона все более размываются и в конце концов старый циклон прекращает свое существование как самостоятельное барическое образование.

Вопросы для самоконтроля:

1. В чем заключается процесс регенерации циклона? В результате каких процессов может случиться регенерация циклона?
2. В чем заключается процесс регенерации антициклона? Какие процессы приводят к регенерации антициклона?
3. Изобразите схемы высотных термобарических полей, благоприятных для цикло- и антициклогенеза.

Рекомендуемая литература:

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1977.
 2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеиздат. 1986. Ч.1.
- Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат. 1991