

а только из тех, в которых создаются условия для укрупнения, роста капель и снежинок.

Капли могут расти в облаках путем непосредственной конденсации водяного пара или в результате слияния капель. Слияние капель называется коагуляцией. Она может быть вызвана рядом причин: неодинаковой скоростью падения мелких и крупных капель, электрическими силами разноименно заряженных капель, атмосферной турбулентностью и др. В результате таяния больших снежинок, выпадающих из слоев атмосферы с отрицательной температурой в слои положительных температур, образуются крупные капли. В свою очередь, большие снежинки возникают в результате сублимации водяного пара, а также коагуляции с мелкими переохлажденными каплями.

Из перечисленных причин, приводящих к образованию осадков, можно выделить две основные: слияние капель (коагуляцию) и сублимационный рост облачных элементов.

Укрупнение облачных элементов наиболее интенсивно происходит в смешанных облаках. Это вызывается тем, что упругость насыщения водяного пара над льдом меньше, чем над водой. Поэтому, как только облако становится неоднородным по фазовой структуре облачных элементов, т. е. в нем наряду с каплями образуются ледяные кристаллы, в облаке начинается перестройка внутренней структуры. Ледяные кристаллы начинают расти, расходуемый при этом водяной пар пополняется за счет испарения мелких капель. Начинается перегонка водяного пара с капель на ледяные кристаллы. Последние вырастают в снежинки, выпадающие на землю, а в теплую половину года успевающие на своем пути растаять и образовать дождь. Так образуются осадки из слоисто-дождевых, кучево-дождевых облаков и некоторых других.

Осадки из чисто водяных облаков бывают в тех случаях, когда облако состоит из капель разных размеров, а толщина облака достаточно большая (не менее 3 км). Такие условия особенно часто создаются в тропиках.

Слабые осадки вследствие слияния капель иногда могут образоваться из существующих длительное время слоистых и слоисто-кучевых облаков.

**Форма осадков** может быть капельной и твердой — в виде кристаллов льда или снежинок. Основными формами осадков являются следующие:

**морось** — осадки, представляющие собой мелкие выпадающие капли с радиусом не более 0,25 мм (капли настолько малы, что кажутся плавающими в воздухе). Капли мороси могут быть в переохлажденном состоянии и обуславливать гололед;

**дождь** — осадки в виде более крупных, чем морось, капель. Капли выпадают обычно со скоростью 4—8 м/с. При отрицательной температуре может выпадать переохлажденный дождь, создающий гололед;

**снег** — осадки в виде снежинок разных размеров и формы. При температуре, близкой к 0°C, снежинки слипаются, образуя снежные

хлопья. Снег может выпадать вместе с дождем (мокрый снег), особенно опасным в отношении обледенения ЛА;

круп — осадки в виде ледяных частичек или снежных зерен (напоминающих крупу, откуда и происходит их название);

град — осадки в виде частичек плотного льда, иногда очень крупных размеров (диаметр градин может быть от 5 мм до 15—20 см); градины обычно неправильной формы и неоднородны по строению, причем слои прозрачного льда чередуются со слоями мутного льда. Град особенно опасен для полетов, он может привести к серьезным поломкам ЛА.

**Виды осадков.** В зависимости от того, какой процесс привел к образованию осадков, каковы размеры выпадающих частиц, а также насколько длительны осадки, они делятся на три основных типа:

**морозящие осадки**, выпадающие из слоистых или слоисто-кучевых облаков и представляющие собой мелкие капли дождя (диаметром 0,5 мм) или очень мелкие снежинки или снежные зерна (снежная морось). Иногда морось образуется в результате укрупнения капель;

**обложные осадки**, выпадающие из облачных систем слоисто-дождевых облаков. Это типичные фронтальные осадки. Капли дождя имеют диаметр более 0,5 мм. В холодное полугодие выпадают снежинки или снежные хлопья. В зависимости от того, в какой части фронтальной облачной системы наблюдаются осадки, они могут быть слабыми, близкими к мороси, умеренными или сильными. Обложные осадки, как правило, бывают длительными;

**ливневые осадки**, выпадающие из кучево-дождевых облаков в виде крупных капель, хлопьев снега, иногда снежной крупы или града. Они сравнительно кратковременны, но интенсивны, нередко сопровождаются грозами и шквалами. Этот вид осадков типичен для неустойчивых воздушных масс, холодных фронтов и фронтов окклюзии по типу холодного фронта. Непосредственно из воздуха осадки выделяются в виде росы, инея, изморози, жидкого или твердого налета. В основном они не оказывают существенного влияния на полеты.

**Влияние осадков на полеты.** Осадки, выпадающие из облаков, дают более 99% общего количества воды, поступающей из атмосферы на земную поверхность. Они нередко существенно осложняют полеты и даже могут быть причиной тяжелых летных происшествий. Степень отрицательного влияния осадков зависит от их формы и вида.

Морозящие осадки могут занимать большие площади и серьезно осложнять полеты по правилам визуального полета (ПВП), особенно на малых высотах при выполнении задач применения ГА в народном хозяйстве.

Обложные осадки, типичные для фронтальных слоисто-дождевых облаков, образуют обширные зоны вдоль атмосферных фронтов. Полеты при этих облаках сильно осложняются плохой видимостью, особенно зимой. При полетах по ПВП во время снегопада

значительно снижается контрастность всех предметов на земной поверхности, что сильно осложняет ориентировку по наземным объектам. При сильном дожде капли могут частично блокировать отверстие приемника воздушного давления и вызвать занижение показаний указателя скорости. При обложных осадках вследствие трения капель и снежинок о поверхность ЛА могут возникнуть значительные потенциалы статического электричества. Во время переохлажденного дождя возникает интенсивное обледенение ЛА, особенно опасное для вертолетов.

Длительные обложные дожди приводят к размоканию грунта, выводят из строя на то или иное время грунтовые аэродромы.

Ливневые осадки сильно ухудшают видимость. Бывают случаи, когда видимость в них, особенно в ливневом снегопаде, составляет десятки метров, а иногда — несколько метров. Крупный дождь нарушает нормальное всасывание воздуха и уменьшает обороты компрессора реактивного двигателя. Осадки сильно осложняют посадку самолетов. Особенно опасен в полете град — чем больше скорость полета, тем тяжелее последствия его воздействия. Были случаи разрушения градинами остекления кабин самолетов.

Выпавшие на ВПП осадки (мокрый, снег, слякоть) значительно осложняют управление передней ногой шасси и торможение основных колес самолета из-за резкого снижения сцепления с поверхностью ВПП.

Вода и слякоть на ВПП при незначительном отклонении самолета от ее оси и неравномерном сцеплении колес с поверхностью ВПП могут создать разворачивающие моменты, которые не всегда удастся устранить органами управления самолета. В подобных случаях самолет может выкатиться за пределы ВПП и получить повреждения. По данным зарубежных авиакомпаний, слой слякоти толщиной 2,5 см является максимально допустимым, а при толщине слоя 3,8 см взлет становится невозможным.

При разбеге самолета его колеса отбрасывают воду и слякоть в виде мощных струй. Самолет при этом испытывает сильное торможение, и длина его разбега значительно увеличивается. При определенных условиях самолет может даже не достигнуть скорости отрыва. Это явление называется гидроглиссированием. Попадание отбрасываемой колесами шасси воды в воздухозаборники двигателей может отключить их на взлете. Это может явиться причиной тяжелого летного происшествия.

#### **4.7. Понятие об искусственном воздействии на туманы и низкие облака с целью их рассеяния для обеспечения взлета и посадки самолетов**

Атмосферные процессы, обуславливающие погоду, обладают огромной энергией. Так, энергия, связанная только с образованием мощного кучевого облака, в несколько раз превышает энергию, вырабатываемую такой крупной гидроэлектростанцией, как Волж-

ская ГЭС имени В. И. Ленина. Поэтому прямое воздействие на атмосферные процессы, и том числе на процессы облакообразования с целью в любое время вызвать формирование облаков или их рассеяние, неосуществимо.

Однако процессы облакообразования, а также процессы, приводящие к формированию тумана, обладают характерной особенностью. Состояние их в ряде случаев бывает таким, что, если приложить сравнительно небольшую энергию или ввести небольшое количество соответствующего реагента, то можно достичь большого эффекта, так как в результате воздействия начинается саморазвивающаяся реакция.

Возможность активного воздействия на туманы и низкие облака и состоит в выявлении такого рода неустойчивых состояний и в разработке методов и средств с целью реализации саморазвивающихся реакций.

В принципе туман или низкие облака можно рассеять путем воздействия на их внутреннюю структуру. Капли, составляющие туман или облака, можно испарить, например, повышением температуры воздуха, либо каким-нибудь путем удалить их из воздуха, или же укрупнить и заставить их выпадать. Можно также воздействовать на фазовое состояние частичек тумана и облака. Могут быть и другие пути воздействия, например понижение силы поверхностного натяжения капель воздействием поверхностно-активными веществами.

Однако в настоящее время не все возможные направления воздействия на внутреннюю структуру туманов и облаков рационально реализуемы.

Наиболее эффективно можно воздействовать на переохлажденные туманы и низкие облака.

Основа методов воздействия на переохлажденные облака и туманы состоит в том, что капельки воды в зависимости от их размера и других свойств могут оставаться незамерзшими до температуры около  $-40^{\circ}\text{C}$ . Зимой в средних широтах почти все облака и туманы состоят из переохлажденных капель.

Если в туман или облако при температуре выше  $-40^{\circ}\text{C}$  ввести ядра кристаллизации (например, твердую уголекислоту), можно создать внутреннюю перестройку облака (тумана). При внесении в облачную среду или в туман твердой уголекислоты («сухой лед») там происходит следующий процесс. Твердая уголекислота испаряется — ее температура испарения составляет около  $-70^{\circ}\text{C}$ . При такой низкой температуре очень мелкие капли в пограничном с твердой уголекислотой слое почти мгновенно замерзают. Число кристаллов льда, образующихся при этом процессе, огромно. При температуре воздуха  $-1^{\circ}\text{C}$  в результате «засева» облаков или туманов из 1 г твердой уголекислоты образуется  $5,8 \cdot 10^{11}$  кристаллов льда, а при более низкой температуре еще больше. Ледяные кристаллы, распространяясь в облаке (тумане), становятся ледяными зародышами, на которых вырастают крупные снежинки. Снежинки выпадают на землю, запасы влаги в облаке (тумане) быст-

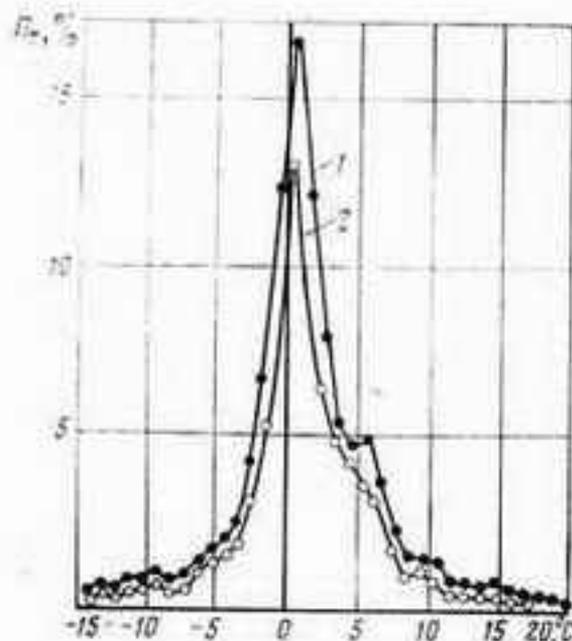


Рис. 4.9. Повторяемость туманов в Киеве при разных температурах:

- 1 — по данным ежечастных наблюдений;  
2 — в том числе при штиле или ветре со скоростью до 4 м/с

ро уменьшаются и оно разрушается. После прохода самолета, с которого производился «засев» облаков твердой углекислотой, через некоторое время образуется просвет в облаках. Он сохраняется в течение 20—40 мин (в зависимости от температуры воздуха и силы ветра), а затем снова затягивается облаками. В реализации этого метода достигнуты наибольшие результаты.

Разработана количественная теория процесса образования зародышей льда в переохлажденных туманах и облаках при воздействии на них твердой углекислотой, оценена необходимая дозировка реагента и эффективность воздействия, разработаны средства введения реагента в облако или туман, выполнено много натуральных экспериментов. Создана

научно обоснованная методика рассеяния туманов и низких облаков, разработаны и апробированы самолетные и наземные установки для дозированного введения реагента. Методика систематически использовалась в ряде аэропортов СССР и дала положительные результаты.

Однако использование метода активного воздействия твердой углекислотой ограничивается тем, что большинство туманов на территории СССР наблюдаются при положительных температурах или при температурах, близких к 0°C. Об этом свидетельствуют, например, данные для Киева, приведенные на рис. 4.9.

Наряду с твердой углекислотой исследованы возможности рассеяния туманов и низких облаков льдоподобными (например, йодистым серебром) поверхностно-активными веществами, а также возможности теплового метода воздействия.

В качестве реагента могут использоваться некоторые газообразные вещества. В аэропорту Орли (Париж) переохлажденный туман ряд лет рассеивался газообразным пропаном. Для этого с наветренной стороны аэродрома по его периметру на расстоянии 1,5 км от взлетно-посадочной полосы было установлено несколько десятков пропановых распылителей. Управление действием установки автоматизировано. Проведившиеся опыты оказались успешными.

Наиболее трудно рассеивать туманы и низкие облака при положительных температурах. Во многих странах продолжают дальнейшие поиски эффективных методов и средств рассеяния туманов и облаков.

#### 4.8. Зависимость горизонтальной и наклонной дальностей видимости от различных факторов

**Горизонтальная и наклонная дальности видимости.** Дальность видимости — характеристика видимости. Видимость — степень различимости удаленных предметов или огней. Она является одним из важных для авиации метеорологических элементов.

Дальность дневной видимости — предельное расстояние, при котором удаленный предмет становится неразличимым от окружающего его фона (перестает быть видимым). Ночью дальность видимости определяется по огням. Дальность видимости огней — расстояние, на котором точечный источник света определенной силы перестает восприниматься глазом.

Дальность видимости определяется рядом факторов следующего характера: геометрического, освещенности, цвета и яркости предмета и фона, прозрачности атмосферы. Все эти факторы в природе действуют в совокупности и обуславливают сложный характер дальности видимости. Дальность видимости является поэтому одним из наиболее сложных метеорологических элементов как по своей сущности, так и по возможности его определения и измерения.

Для более четкого представления о факторах, обуславливающих дальность дневной видимости, рассмотрим каждый из них в отдельности.

**Геометрический фактор.** Чтобы тот или иной объект был видимым, он должен быть не очень малым. Глаз человека обладает определенной разрешающей способностью (остротой зрения). Днем глаз человека видит только такие предметы, угловые размеры которых равны в среднем не менее одной угловой минуты. Отсюда следует, что размер объекта должен быть не менее  $1/150$  расстояния от него.

**Освещенность.** Чтобы объект был видимым, он должен быть и освещен. Глаз человека сохраняет устойчивость к восприятию объектов различной освещенности в пределах от 20 до 20 тыс. лк (люксов). Отметим, что дневная освещенность бывает различной и колеблется от 400 до 100 тыс. лк.

**Цвет и яркость предмета и фона** бывают очень разнообразными. Для того чтобы объекты были видимыми, очень важна их контрастность на фоне. При характеристике контрастности используется понятие величины яркостного контраста, изменяющегося в больших пределах: от 0 до 100% (или от 0 до 1).

Человеческий глаз различает объекты только при определенной минимальной контрастной чувствительности глаза, величина которой в среднем принимается равной 0,02. Иначе говоря, предмет становится видимым лишь в том случае, если его яркость отличается от яркости фона не менее чем на 2%. Когда контрастность уменьшается, что бывает в сумерки и ночью, порог контрастной чувствительности глаза возрастает до 0,7.

Прозрачность атмосферы изменяется в больших пределах и зависит от наличия в атмосфере продуктов конденсации и сублимации водяного пара, взвешенных твердых частиц неконденсационного происхождения (пыли), промышленных примесей (в районе городов) и т. п. Из-за наличия в атмосфере продуктов конденсации и сублимации водяного пара прозрачность атмосферы, а вместе с ней и дальность видимости различных объектов имеют значительную временную и пространственную изменчивость.

Прозрачность характеризуют коэффициентом прозрачности атмосферы  $\tau$ . Он показывает, насколько световой поток, проходящий через слой атмосферы толщиной в 1 км, ослабляется находящимися в этом слое различными примесями.

Метеорологическая дальность горизонтальной видимости в дневное время — предельно большое расстояние, на котором при данных условиях абсолютно черный объект с угловыми размерами не менее  $20'$ , проектирующийся на фоне неба вблизи горизонта или на фоне воздушной дымки, сливается с фоном и становится невидимым. Метеорологическая дальность видимости  $S_m$  связана с порогом контрастной чувствительности глаза  $\epsilon$  и коэффициентом прозрачности атмосферы  $\tau$  следующим образом:

$$S_m = \ln \epsilon / \ln \tau. \quad (4.4)$$

Поскольку  $\epsilon = 0,02$ , то  $S_m$  зависит только от прозрачности атмосферы.

Ночью визуальные наблюдения за видимостью осуществляются по одиночным огням (не цветным).

Наклонная видимость — видимость в наклонном направлении. Она не измеряется, а оценивается. Экспериментально (по данным наблюдений с привязанного аэростата) установлена следующая зависимость наклонной видимости от величины горизонтальной видимости при разной высоте облаков.

Соотношения между наклонной и горизонтальной видимостями: высота НГО меньше 100 м. Дальность наклонной видимости в этом случае равна 25—45% дальности горизонтальной видимости у земной поверхности;

высота НГО равна 100—200 м. Дальность наклонной видимости при выходе из облаков составляет 40—70% горизонтальной видимости у земли. С повышением облаков дальность наклонной видимости увеличивается. При высоте облаков 100—150 м она равна 40—50% горизонтальной видимости у земли, а при высоте 150—200 м — от 60 до 70%;

высота НГО больше 200 м. При такой ситуации наклонная видимость в подоблачном слое близка к горизонтальной видимости у земли.

Соотношения между горизонтальной и наклонной видимостями при разной высоте НГО приведены на рис. 4.10. С его помощью по информации о горизонтальной видимости можно оценить наклонную видимость.

Важной характеристикой наклонной видимости являются ее значения по наклону вдоль глиссады снижения, при которых пилот может отчетливо опознать ВПП и перейти от пилотирования по приборам к визуальному пилотированию. Величина ее зависит от прозрачности атмосферы (метеорологической дальности видимости), фотометрических свойств ВПП, свойств зрения пилота (порога контрольной чувствительности глаза), а также от условий обзора из пилотской кабины (ее конструктивных особенностей) и скорости снижения самолета при посадке.

**Оценка видимости на ВПП.** Для обеспечения безопасности полетов нужно знать дальность видимости ВПП или обозначающих ее огней в направлении взлета (посадки) из определенной точки, расположенной над осевой линией ВПП на высоте, соответствующей среднему уровню глаз пилота в момент взлета (приземления). В оперативных метеоподразделениях Госкомгидромета с помощью приборов (регистраторов дальности видимости) измеряется прозрачность воздуха, которая является основой для оценки условий видимости.

Поскольку метеорологическая дальность видимости нередко бывает очень изменчивой, ее измеряют в нескольких местах ВПП (при длине ВПП более 2000 м измеряют в районе рабочего старта, в конце ВПП и на ее

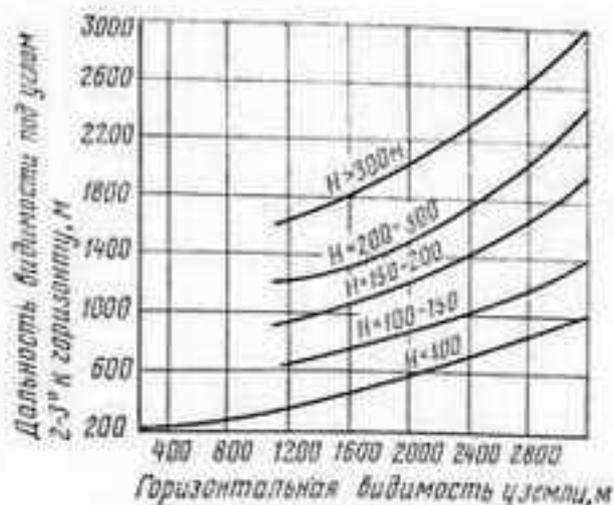


Рис. 4.10. Соотношения между горизонтальной и наклонной видимостями:  $H$  — высота НГО

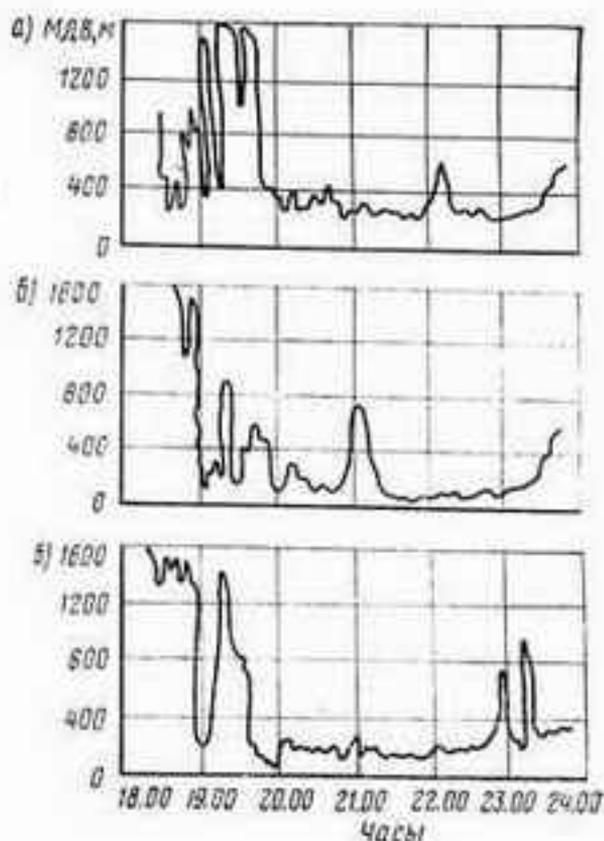


Рис. 4.11. Изменение МДВ вдоль ВПП во времени по данным регистраторов:  
 а — в районе рабочего старта; б — в середине ВПП; в — в конце ВПП

середине). Пример изменения метеорологической дальности видимости (МДВ) показан на рис. 4.11.

Наибольшая временная изменчивость МДВ бывает при снегопадах и метелях. В этих условиях начальное значение МДВ в течение 1 мин может измениться на 5%, через 6 мин — на 20%, через 30 мин — на 42%.

Для измерения МДВ на аэродромах устанавливаются также щиты — ориентиры. При видимости менее 3 км измерения МДВ часто оказываются заниженными на 20—30% по сравнению с визуальными наблюдениями. Для оценки видимости на ВПП измерения видимости всегда более объективны по сравнению с видимостью, определяемой по ориентирам.

В сети гидрометеостанций видимость оценивается по ориентирам — различным объектам, расстояние до которых известно. В метеоподразделениях составляется схема ориентиров видимости. Оценка видимости по ориентирам менее точная по сравнению с инструментальным измерением видимости.

## 5. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ КОДЫ, КАРТЫ ПОГОДЫ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РАЗРЕЗЫ АТМОСФЕРЫ

### 5.1. Метеорологические коды

По существующему международному соглашению все метеорологические станции земного шара производят наблюдения за состоянием атмосферы в единые моменты времени, начиная с 00 ч гринвичского времени через каждые 3 ч. На АМСГ наблюдения производятся более часто — через 1 ч; 30 мин, а в случае необходимости через 15 мин. Результаты наблюдений сухопутных метеорологических станций кодируются с помощью международного метеорологического кода КН-01, судовых — с помощью кода КН-09 и передаются в виде телеграмм, состоящих из нескольких цифровых пятизначных групп в региональные метеорологические центры.

Международный метеорологический код КН-01 состоит из следующих групп (основные группы):

Группа . .	1	2	3	4	5	6	7	8
Код группы	<i>IIiii</i>	<i>Nddff</i>	<i>VVwwW</i>	<i>PPP</i> <i>TT</i>	<i>N<sub>n</sub>C<sub>L</sub></i> <i>hC<sub>M</sub>C<sub>n</sub></i>	<i>T<sub>d</sub>T<sub>d</sub>a<sub>pp</sub></i>	<i>TRRT<sub>e</sub>T<sub>e</sub></i>	<i>8N<sub>s</sub>Ch<sub>s</sub>h<sub>s</sub></i>

В этом коде приняты следующие обозначения:

*II* — номер района, в котором расположена станция;

*iii* — номер метеорологической станции;

*N* — общее количество облаков (часть небосвода, закрытая облаками);

*dd* — направление ветра у поверхности земли;

*ff* — скорость ветра;

*VV* — горизонтальная видимость;

*ww* — погода в срок наблюдений или в течение последнего часа перед сроком наблюдения;

- $W$  — погода между сроками наблюдений;  
 $PPP$  — давление воздуха, приведенное к уровню моря;  
 $TT$  — температура воздуха;  
 $N_A$  — количество облаков нижнего яруса, а при их отсутствии — среднего;  
 $C_L$  — облака нижнего яруса;  
 $h$  — высота НГО нижнего или среднего яруса (определенная визуально) над поверхностью суши или моря;  
 $C_M$  — облака среднего яруса;  
 $C_H$  — облака верхнего яруса;  
 $T_d T_a$  — точка росы;  
 $a$  — характеристика барической тенденции за последние 3 ч;  
 $pp$  — величина барической тенденции за последние 3 ч;  
 $7$  — отличительная цифра 7-й группы;  
 $RR$  — количество осадков;  
 $T_e T_e$  — экстремальная температура воздуха (минимальная или максимальная);  
 $8$  — отличительная цифра 8-й группы, в которой передаются дополнительные сведения об облачности (уточняющие);  
 $N_s$  — количество облачности, информация о которой уточняется;  
 $C$  — форма облачности, информация о которой уточняется;  
 $h_s h_s$  — высота нижней границы этой облачности, измеренная инструментально.

Для кодирования результатов наблюдений АМСГ (фактическая погода на аэродроме) используется специальный код — ФАП. В отличие от кода КН-01 код ФАП предусматривает кодирование погоды как цифрами, так и открытым текстом (явления погоды, формы облачности, тенденция к изменению погоды). Кроме метеорологической дальности видимости, в погоде указывается видимость, измеренная по огням высокой интенсивности (ОВИ) ВПП. Давление воздуха, приведенное к уровню ВПП (в мм. рт. ст.), кодируется. Если имеются сведения о турбулентности и обледенении (интенсивность и толщина слоя), они тоже включаются в погоду.

Одновременно наблюдения за условиями в свободной атмосфере производятся на специальных аэрологических пунктах в 0,3, 0,9, 15 и 21 ч московского времени.

Результаты наблюдений ветрового зондирования передаются с помощью кода КН-03, а вертикального зондирования атмосферы с помощью кода КН-04.

## 5.2. Приземные синоптические карты

ст 95-102

**Виды карт.** Анализ и оценка атмосферных процессов, происходящих над большими участками земного шара, производится с помощью синоптических карт. Различают синоптические карты приземные и высотные.

Приземные синоптические карты подразделяются на основные и кольцевые.

Основные карты составляются за 03, 09, 15 и 21 ч московского времени и охватывают большую территорию (около 4—5 тыс. км в меридиональном и широтном направлениях). Масштаб основных карт — 1:15 000 000.

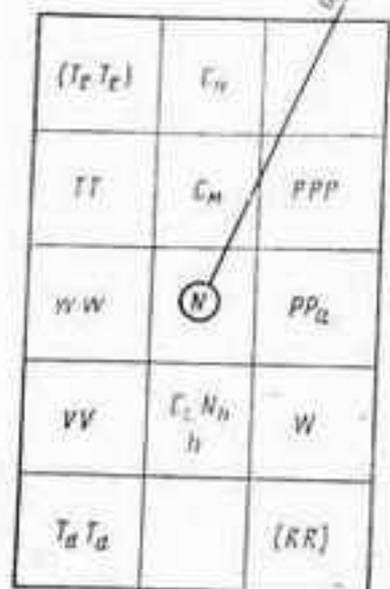


Рис. 5.1. Схема нанесения метеорологических данных на приземную карту погоды

Кольцевые карты составляются по данным метеорологических наблюдений в промежуточные или дополнительные сроки. Они охватывают только ограниченную территорию (несколько областей). Масштаб карт 1 : 5 000 000 или 1 : 2 500 000.

Высотные карты — карты для различных слоев атмосферы, составляемые на основе метода барической топографии (см. 5.3).

**Нанесение метеорологических данных на приземные карты погоды.** На приземные карты погоды условными знаками (символами) и цифрами наносятся данные одновременных метеорологических наблюдений, отражающие условия у поверхности земли и сведения об облаках.

Каждый метеорологический элемент при нанесении на карту имеет определенное место. Эти места показаны на схеме, представленной на рис. 5.1 (когда элементы фиксируют на карту, то ни вертикальных, ни горизонтальных линеек не чертят).

Общее количество облаков показывают символом *N*. Если в телеграмме на месте *N* стоит цифра 9 (она обозначает, что сквозь туман или мглу неба не видно), то на карте рисуют символ, предусмотренный цифрой 9 кода для общего количества.

Направление ветра у поверхности земли наносят линией, идущей к центру кружка (пример показан на рис. 5.1). Эту линию называют стрелкой.

Если направление ветра неустойчиво, стрелка проводится от запада и на ее середине ставят крестик. Когда направление ветра искажено, но данные о скорости имеются, над кружком станции (под *C<sub>m</sub>*) пишут букву *D* и рядом цифры скорости ветра, измеренной в метрах в секунду.

Скорость ветра проставляется в виде черточки, называемой оперением, у конца стрелки. Если смотреть по направлению ветра, оперение должно быть обращено влево от стрелки в Северном полушарии (вправо — в Южном) и составлять с ней угол в 120°. Одно большое перо стрелки соответствует 5 м/с, малое перо — 2,5 м/с.

При скорости ветра 25 м/с оперение заменяют зачерненным треугольником.

При штиле (*dd=00*, *ff=00*) кружок станции обводится другим кружком чуть большего радиуса. При искаженной или неустойчивой скорости ветра на конце стрелки ставится крестик. Если искажены и скорость и направление ветра, над кружком станции в прямоугольник вписывают буквы *D* и *F*.

Значения горизонтальной видимости, передаваемые кодом

Цифра кода	Видимость, км						
00	0,1	26	2,6	51		81	35
01	0,1	27	2,7	52		82	40
02	0,2	28	2,8	53		83	45
03	0,3	29	2,9	54		84	50
04	0,4	30	3,0	55		85	55
05	0,5	31	3,1	56	6	86	60
06	0,6	32	3,2	57	7	87	65
07	0,7	33	3,3	58	8	88	70
08	0,8	34	3,4	59	9	89	> 70
09	0,9	35	3,5	60	10	90	< 0,05
10	1,0	36	3,6	61	11	91	0,05
11	1,1	37	3,7	62	12	92	0,2
12	1,2	38	3,8	63	13	93	0,5
13	1,3	39	3,9	64	14	94	1
14	1,4	40	4,0	65	15	95	2
15	1,5	41	4,1	66	16	96	4
16	1,6	42	4,2	67	17	97	10
17	1,7	43	4,3	68	18	98	20
18	1,8	44	4,4	.	.	99	> 50
19	1,9	45	4,5	.	.		
20	2,0	46	4,6	.	.		
21	2,1	47	4,7	77	27		
22	2,2	48	4,8	78	28		
23	2,3	49	4,9	79	29		
24	2,4	50	5,0	80	30		
25	2,5						

Примечания. 1. Цифры кода в значения горизонтальной видимости переводятся: — для цифр кода от 01 до 50 по формуле

$$(\text{цифра кода}) : 10 = VV \text{ км.}$$

Пример:  $20 : 10 = 2 \text{ км.}$

— для цифр кода от 55 до 80 по формуле

$$(\text{цифра кода}) - 50 = VV \text{ км.}$$

Пример:  $63 - 50 = 13 \text{ км.}$

2. Цифрами кода 51—55 не пользуются.

3. Значения горизонтальной видимости, соответствующие цифрам кода от 81 до 99, приведены рядом с ними.

Значение горизонтальной видимости на карту погоды проставляют цифрами кода, представленного в табл. 5.1.

Погоду в срок наблюдения или в течение последнего часа перед сроком наблюдения показывают символами, приведенными в табл. 5.2. При нанесении символов, соответствующих цифрам кода 01, 02, 03, к кружку станции пририсовывают черточки. Если направление ветра совпадает с направлением черточки, последние слегка отклоняют по часовой стрелке.

Квадратная скобка, стоящая у символов, означает, что данное явление отмечалось в течение часа, предшествующего сроку наблюдения.

Погоду между сроками наблюдения тоже наносят символами (см. табл. 5.2). Если в телеграмме на месте W стоит цифра 3, а



температура воздуха  $0^{\circ}\text{C}$ , на карте рисуется символ пыльной бури. Когда температура воздуха равна  $0^{\circ}\text{C}$  и если имеется снежный покров, на карте проставляется символ метели, а в случае отсутствия снежного покрова — символ пыльной бури.

Давление, приведенное к уровню моря, фиксируется повторением трех цифр, данных в телеграмме, т. е. с десятиными долями, без сотен и тысяч миллибар. Если первые две цифры на карте меньше 50, при чтении давления к *PPP* нужно прибавить цифру 10 (например, 115 нужно читать как 1011,5 мбар). Если же первые две цифры более 50, впереди добавляется цифра 9 (например, 986 нужно читать как 998,6 мбар).

Температуру воздуха, точку росы и экстремальную температуру воздуха проставляют в целых градусах Цельсия, причем при положительной температуре знак «+» не ставят, при отрицательной знак «—» ставят обязательно.

Количество облаков нижнего яруса (а при их отсутствии — среднего) в нижеприведенных цифрах кода ставят на карты:

Цифры кода	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Облачность, баллы	0—1	1—2	2—3	4	5	6	7	8—9	10	Небо не видно

Облака нижнего, среднего и верхнего ярусов представляют символами, приведенными в табл. 5.2. (Надо помнить, что слоисто-дождевые облака нижнего яруса наносятся на месте  $S_M$  и обозначаются как высоко-слоистые.)

Высота НГО нижнего или среднего яруса (определенная визуально) над поверхностью суши или моря наносится такими цифрами кода:

Цифра кода	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высота НГО, мм	< 50	50	100	200	300	600	1000	1500	2000	>2500

Если наблюдения за НГО производились инструментально, т. е. в телеграмме имеется 8-я группа и форма облачности  $S$  совпадает с  $S_L$ , вместо  $h$  наносится  $h_s h_c$ : две цифры кода согласно табл. 5.3.

Величину барической тенденции за последние 3 ч записывают цифрами с десятиными долями миллибара, а ее характеристику  $a$  символами, представленными в табл. 5.2.

Количество осадков наносят в целых миллиметрах, а для цифр кода 91—97 — в десятых долях миллиметра.

**Обработка и анализ приземных карт погоды.** Обработка приземных карт погоды включает в себя следующие операции:

проведение изобар и выявление областей низкого и высокого давления;

проведение линий равных барических тенденций (изотенденций);

выделение особых явлений погоды (туманов, осадков, гроз и т. д.);

проведение линий атмосферных фронтов.

Изобары проводятся простым черным карандашом сплошными плавными линиями на основных картах через 5 мбар, на кольцевых — через 2,5 мбар. Изобары проводятся с учетом скорости и направления ветра.

Подписываются изобары целым числом миллибар: разомкнутые изобары — с двух сторон, замкнутые — в каком-либо одном месте. В центрах областей низкого давления ставят черным карандашом букву *H*, а в центре областей высокого давления букву *B*.

Изотенденции наносятся простым черным карандашом в виде тонких прерывистых линий через 1 мбар/3 ч. При сильном измене-

Значения высот НГО, передаваемые кодом

Таблица 5.3

Цифры кода	НГО, м	Цифры кода	НГО, м	Цифры кода	НГО, м
00	< 30	51		81	10 500
01	30	52		82	12 000
02	60	53		83	13 500
03	90	54		84	15 000
04	120	55		85	16 500
05	150	56	1 800	86	18 000
06	180	57	2 100	87	19 500
.	.	58	2 400	88	21 000
.	.	59	2 700	89	> 21 000
.	.	60	3 000	90	< 50
10	300			91	50
11	330			92	100
12	360			93	200
13	390			94	300
.	.			95	600
.	.			96	1 000
20	600	67	5 100	97	1 500
21	630	68	5 400	98	2 000
.	.	69	5 700	99	> 2 500
.	.	70	6 000		
33	990				
.	.				
.	.				
.	.				
47	1 440	78	8 400		
48	1 470	79	8 700		
50	1 500	80	9 000		

Примечания. 1. Цифры кода в значения высот НГО переводятся:

— для цифр кода от 00 до 50 по формуле  
(цифра кода) · 30 =  $h_1/h_2$  м.

Пример: 12 · 30 = 360 м;

— для цифр кода от 56 до 80 по формуле  
[(цифра кода) — 50] · 300 =  $h_1/h_2$  м.

Пример: [58 — 50] · 300 = 2400 м.

2. Цифрами кода 51—55 не пользуются.

3. Значения высот НГО, соответствующие цифрам кода от 81 до 99, приведены рядом с ними.

нии давления допускается проведение изотенденций через 2 мбар/3 ч. Изотенденции подписываются целым числом миллибар со знаком «—» при отрицательных тенденциях и без знака — при положительных.

В центрах областей падения давления красным карандашом ставится буква П, а в центрах областей роста — синим карандашом буква Р. Рядом с буквами П и Р записывается величина максимального изменения давления с точностью до десятых долей миллибар (без знака).

Осадки, туман и другие особые явления погоды показывают на основных картах погоды условными обозначениями. Они аналогичны как для цветных, так и для одноцветных, за исключением некоторых.

#### Некоторые условные обозначения, применяемые на картах погоды



— обложные осадки (желтым цветом на цветной карте)



— обложные осадки (на одноцветной карте)



— осадки местами, наблюдающиеся в относительно однородном воздухе (зеленым цветом)



— ливневые осадки (зеленым цветом)



— грозы (в срок наблюдения — красным цветом, между сроками наблюдения — синим)



— кучево-дождевые облака (зеленым цветом). При наличии грозы или ливневых осадков этот символ не ставится



— морозящие осадки (зеленым цветом)



— туманы сплошные (желтым цветом на цветной карте)



— туманы сплошные на одноцветной карте



— туман местами (желтым цветом)



— дымка с видимостью менее 4 км (желтым цветом)



— мгла с видимостью менее 4 км (желтым цветом)



— метель и поземок (зеленым цветом)



— гололед (зеленым цветом)



— смерч (красным цветом)



— обледенение сильное (красным цветом)



— на одноцветной карте

#### Теплый фронт



— красным цветом на цветной карте



— на одноцветной карте

#### Холодный фронт



— синим цветом на цветной карте



— на одноцветной карте

#### Фронт окклюзии



— лиловым цветом на цветной карте



— на одноцветной карте

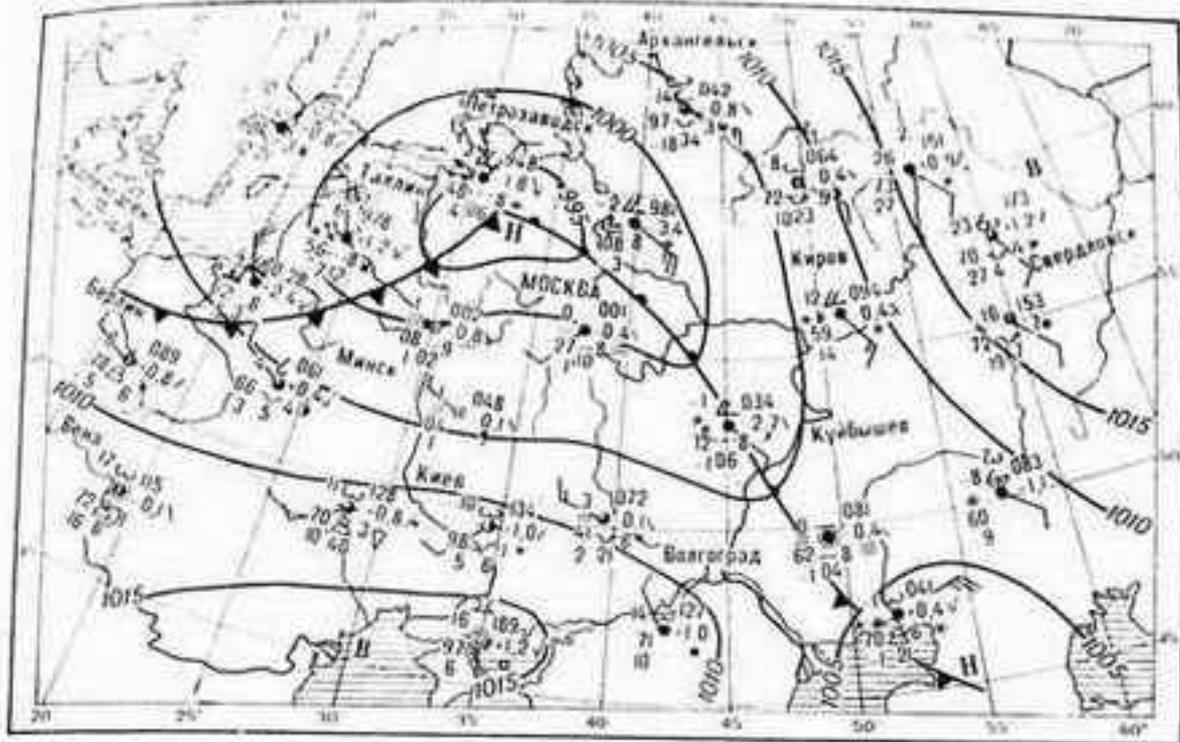


Рис. 5.2. Приземная карта погоды (пример)

Пример приземной карты погоды показан на рис. 5.2.

После обработки приземных карт погоды производится их анализ, который заключается в определении: типа воздушных масс; типа фронтов, тенденции их развития и перемещения; стадии развития и эволюции барических систем.

В результате анализа можно оценить как фактическое, так и будущее (прогностическое) состояние погоды над конкретным районом, трассой, аэропортом. Однако анализ приземных карт погоды не дает полного представления о состоянии атмосферы. Для более глубокого и детального анализа необходимо знать характер барического поля, поля влажности, температурный и ветровой режим во всей толще тропосферы.

### 5.3. Карты барической топографии

Для анализа состояния атмосферы используется метод барической топографии. Он заключается в составлении специальных карт для поверхностей, вдоль которых давление одинаково. Такие поверхности называются изобарическими, а карты — картами барической топографии. Изобарических поверхностей в атмосфере можно выделить бесконечное множество. На практике обычно выделяют несколько. Называют их стандартными или главными изобарическими поверхностями. Карты барической топографии для стандартных изобарических поверхностей составляются по данным радиозондирования за основные синоптические сроки.

Рассмотрим некоторую определенную изобарическую поверхность. Высота расположения этой поверхности относительно уровня моря или относительно другой поверхности в разных точках будет разной. Для измерения высоты изобарической поверхности пользуются понятием геопотенциала — удельная потенциальная энергия единицы массы относительно уровня моря, определяемая положением этой массы в поле силы тяжести.

Геопотенциальная высота имеет размерность длины. Ее единицей служит геопотенциальный метр (гпм), который численно равен работе, которую нужно затратить, чтобы поднять массу в 1 т на высоту 1 м при ускорении свободного падения  $g=9,8 \text{ м/с}^2$ . Рассчитывается она по формуле

$$H_{\text{гпм}} = 67,44 T_{\text{ср}} \lg \frac{p_0}{p_H}, \quad (5.1)$$

где

$$T_{\text{ср}} = 0,5(T_0 + T_H),$$

здесь  $p_0$  и  $T_0$  — давление и температура у земли;

$p_H$  и  $T_H$  — давление и температура на высоте изобарической поверхности.

Из формулы (5.1) видно, что высота изобарической поверхности зависит от средней температуры слоя воздуха и давления у земли. При росте давления у земли высота поверхности увеличивается, при падении уменьшается. При  $p_0 = \text{const}$  повышение температуры ведет к повышению высоты и наоборот. Причем чем выше изобарическая поверхность, тем значительнее ее повышение.

Различают абсолютный геопотенциал (если высота каждой точки на рассматриваемой изобарической поверхности определяется над уровнем моря) и относительный (если та же высота определяется относительно нижележащей изобарической поверхности). Понятие абсолютного и относительного геопотенциала широко используется при построении карт барической топографии.

**Карты абсолютной топографии (АТ)** — это такие карты, на которых высота изобарической поверхности наносится по отношению к уровню моря. Они составляются для стандартных изобарических поверхностей и обозначаются символами  $АТ_p$ . Символ внизу указывает давление (в мбар) данной изобарической поверхности (например,  $АТ_{400}$ ).

Средняя высота изобарической поверхности в условиях СА и толщина слоя, который каждая из них характеризует, представлены в табл. 5.4.

В реальной атмосфере высота изобарических поверхностей может быть больше или меньше средней. Это определяется распределением температуры с высотой и давлением у земли.

На карте АТ из аэрологических телеграмм согласно местам, показанным на схеме, представленной на рис. 5.3, наносятся следующие данные:

Средние высоты изобарических поверхностей  
и характеризующие ими слои атмосферы

	Карты								
	AT <sub>850</sub>	AT <sub>700</sub>	AT <sub>500</sub>	AT <sub>400</sub>	AT <sub>300</sub>	AT <sub>200</sub>	AT <sub>100</sub>	AT <sub>70</sub>	AT <sub>57</sub>
Высота, км	1,5	3	5,5	7	9	12	16	18	20
Толщина, км	1—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10—13	13—17	17—19	19—20

$H_n H_n H_n$  — абсолютная высота изобарической поверхности в геопотенциальных декаметрах (гп дам);

$T_n T_n$  — температура воздуха, °С;

$D_n D_n$  — дефицит точки росы в цифрах кода согласно табл. 5.5;

$d_n d_n$  — направление ветра, °;

$f_n f_n f_n$  — скорость ветра, м/с.

Иногда на карты AT<sub>700</sub> и AT<sub>500</sub> наносится величина изменения абсолютного геопотенциала  $\Delta H_n$  за предыдущие 12 или 24 ч.

Обработка карт AT включает в себя проведение изолиний равных абсолютных высот — изогипс. Их проводят через 4 гп дам, что примерно соответствует проведению изобар на приземной карте погоды через 5 мбар. Начиная с уровня 400 мбар на картах континента Евразии и омывающих их океанов и с уровня 500 мбар на картах северного полушария, изогипсы проводят через 8 гп дам.

Таблица 5.5

Значения дефицита точки росы, передаваемые кодом

Цифра кода	Дефицит точки росы						
00	0,0	08	0,8	51		59	9
01	0,1	.	.	52		.	.
02	0,2	.	.	53		.	.
03	0,3	25	2,5	54		.	.
04	0,4	.	.	55		96	46
05	0,5	.	.	56	6	97	47
06	0,6	.	.	57	7	98	48
07	0,7	50	5,0	58	8	99	49

Примечания. 1. Цифры кода в значения дефицита точки росы переводятся:

— для значений от 00 до 50 по формуле  
(цифра кода) : 10 =  $D_n D_n$  °С.

Пример: 23 : 10 = 2,3° С.

— для значений от 56 до 99 по формуле  
(цифра кода) — 50 =  $D_n D_n$  °С.

Пример: 78 — 50 = 28° С.

2. Цифрами кода 51—55 не пользуются.

Подписываются и изогипсы аналогично изобарам. В центрах областей низкого значения геопотенциала ставится буква Н, в центрах высокого — В. Таким образом, карты АТ характеризуют распределение давления в атмосфере. Пример карты АТ<sub>500</sub> представлен на рис. 5.4.

Анализ карт барической топографии проводится последовательно от нижней изобарической поверхности к верхней:

по картам АТ<sub>850</sub> и АТ<sub>700</sub> уточняются атмосферные фронты и воздушные массы, так как на этих высотах влияние подстилающей поверхности на температуру и ветер практически не сказывается (контрасты температур здесь выражены ярче, чем у земли);

карты АТ<sub>700</sub> и АТ<sub>500</sub> используются для определения ведущего потока (воздушное течение, наблюдающееся в средней тропосфере), в направлении которого смещаются приземные барические центры, атмосферные фронты, грозы (скорость смещения последних при этом составляет  $\frac{2}{3}$  скорости ведущего потока АТ<sub>700</sub> и  $\frac{1}{2}$  скорости ведущего потока на АТ<sub>500</sub>);

карты АТ<sub>400</sub>, АТ<sub>300</sub>, АТ<sub>200</sub> и АТ<sub>100</sub> позволяют определить пространственное положение струйного течения, а также его скорость и направление.

По картам АТ можно определить скорость и направление ветра на любой высоте, в любом пункте. Направление ветра определяется согласно закону ветра, т. е. вектор ветра направлен вдоль изогипсы так, что низкое давление остается слева, а высокое справа.

Скорость градиентного ветра

$$u_{\text{гр}} = \frac{g}{2\omega \sin \varphi} \frac{\Delta H}{\Delta s} = \frac{242}{\sin \varphi} \frac{\Delta H}{\Delta s}, \quad (5.2)$$

где  $\varphi$  — широта места, °;  $\Delta s$  — расстояние по нормали от одной изогипсы до другой, между которыми находится рассматриваемый пункт, км;  $\Delta H$  — разность высот между теми же изогипсами, гм;  $\omega$  — угловая скорость вращения земли ( $7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ).

Для удобства практических расчетов скорости градиентного ветра по картам АТ используется специальная номограмма — градиентная линейка (рис. 5.5). По оси ординат на ней нанесена шкала широты и проведены линии равных широт параллельно оси абсцисс. Вдоль оси абсцисс проставлены значения скорости градиентного ветра соответствующих изотак, нанесенных на градиентную линейку в виде семейства кривых, пересекающих линии широты.

Чтобы определить скорость градиентного ветра в заданной точке, достаточно с помощью градиентной линейки измерить расстояние между соседними изогипсами по нормали к ним. Для этого ли-

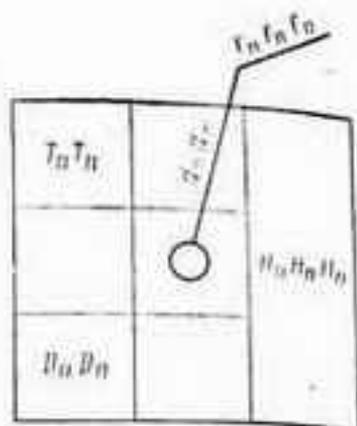


Рис. 5.3. Схема нанесения метеорологических данных на карты АТ



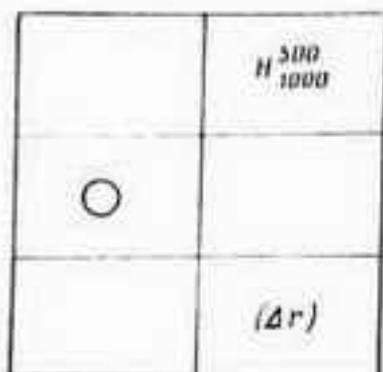


Рис. 5.7. Схема нанесения метеорологических данных на карту ОТ

Районы с вероятной турбулентностью можно определить по конфигурации изогипс на всех картах АТ. Наиболее часто турбулентность наблюдается в зоне расхождения изогипс, вдоль оси высотных ложбин и гребней, а также на циклонической стороне струйного течения. Реже турбулентность может наблюдаться в зоне сходимости изогипс и вблизи центров высотных антициклонов.

По картам АТ можно определить и вероятность наличия облачности на высоте рассматриваемой изобарической поверхности. Эту задачу можно решить, используя дефицит точки росы. Если на

карте АТ<sub>850</sub>  $D_n D_n \leq 1,5^\circ \text{C}$ , на АТ<sub>700</sub>  $D_n D_n \leq 2^\circ \text{C}$ , на АТ<sub>500</sub>  $D_n D_n \leq 2,5^\circ \text{C}$ , на АТ<sub>300</sub>  $D_n D_n \leq 3^\circ$  — облака вероятны. При значениях  $D_n D_n$  больше  $6^\circ$  на картах АТ<sub>850</sub> и АТ<sub>700</sub>, а также больше значения  $8^\circ \text{C}$  на картах АТ<sub>500</sub>, АТ<sub>400</sub>, АТ<sub>300</sub> — облачность маловероятна.

Карты барической топографии можно использовать для определения нижнего безопасного эшелона в горной местности. Высота нижнего безопасного эшелона рассчитывается в такой последовательности:

на маршруте полета определяется точка с максимальным превышением рельефа —  $H_{\text{рел. макс}}$ ;

согласно НПП ГА, определяется абсолютно безопасная высота  $H_{\text{без. абс}}$  и безопасная высота в СА  $H_{760 \text{ без. СА}}$ ;

выбирается ближайшая к нижнему безопасному эшелону карта АТ;

составляется неравенство

$$(H_{\text{АТ, СА}} - H_{\text{АТ факт}}) < (H_{760 \text{ без. СА}} - H_{\text{без. абс}}),$$

где  $H_{\text{АТ, СА}}$  и  $H_{\text{АТ факт}}$  — высота выбранной изобарической поверхности в стандартных условиях и фактическая соответственно.

Если неравенство выполняется, выбранный нижний безопасный эшелон удовлетворяет требованиям НПП ГА, если не выполняется, за нижний безопасный эшелон берется следующий полутный эшелон.

**Карты относительной топографии** — это такие карты, на которых наносится относительная высота одной изобарической поверхности над другой. Обозначаются они ОТ  $\frac{p_1}{p_2}$ , где символы  $p_1$  и  $p_2$  обозначают давление на нижней и верхней изобарической поверхности соответственно.

На практике обычно составляют карту ОТ  $\frac{500}{1000}$ , которая характеризует слой атмосферы почти от поверхности уровня моря до высоты 5—5,5 км.

На карту  $OT_{1000}^{500}$  согласно местам, показанным на схеме, приведенной на рис. 5.7, наносится разность высот изобарических поверхностей 500 и 1000 мбар ( $H_{1000}^{500}$ ). Кроме того, иногда наносят разность значений  $H_{1000}^{500}(\Delta r)$  за 12 или 24 ч.

Относительная высота изобарической поверхности — величина переменная. Она определяется (в гпм) средней температурой рассматриваемого слоя по формуле

$$H_{500} - H_{1000} = H_{1000}^{500} = 67,44 T_{cp} \lg \frac{1000}{500} = 20,3 T_{cp} \quad (5.3)$$

или в гп дам

$$H_{1000}^{500} \approx 2 T_{cp}$$

Чем выше средняя температура в слое, тем больше его толщина и, наоборот, чем воздух в слое холоднее, тем меньше его толщина. Изменение  $T_{cp}$  на  $1^\circ\text{C}$  вызывает изменение толщины слоя примерно на 20 гпм.

Изогипсы на картах  $OT$  проводятся с тем же интервалом, что и на картах  $AT$ . Только в отличие от карт  $AT$  характеризуют они распределение средней температуры слоя между рассматриваемыми поверхностями. В центрах низкого значения геопотенциала делают надпись «Холод» или ставят букву  $X$ , а в центрах высокого — делают надпись «Тепло» или ставят букву  $T$ .

Таким образом карты  $OT$  характеризуют температурный режим нижней половины тропосферы. Замкнутые очаги холода соответствуют приземным циклонам, а очаги тепла — приземным антициклонам.

Совместно с приземными картами погоды и картами  $AT$  карту  $OT_{1000}^{500}$  используют для анализа фактической погоды и прогноза ожидаемой погоды и синоптической обстановки.

По карте  $OT_{1000}^{500}$  легко можно определить среднюю температуру слоя. Из формулы (5.3) следует, что

$$T_{cp} = H_{1000}^{500} / 2.$$

Карта  $OT_{1000}^{500}$  помогает уточнить положение атмосферных фронтов. Сгущение изогипс на карте  $OT_{1000}^{500}$  соответствует повышенным значениям горизонтального градиента температуры, которые наблюдаются перед теплым фронтом и за холодным.

Совместный анализ карты  $OT_{1000}^{500}$  и  $AT_{700}$  позволяет определить, в каком направлении и с какой скоростью будут смещаться очаги тепла и холода, т. е. определить горизонтальный перенос (адвекцию) тепла и холода. Если на смену холодной воздушной массе приходит теплая, говорят, произошла адвекция тепла и, наоборот, если очаг тепла замещается очагом холода, — адвекция холода.

Кроме того, карта  $OT_{1000}^{500}$  дает возможность установить стадию развития и эволюцию приземных барических образований.

#### 5.4. Карты тропопаузы и максимальных ветров

Для уточнения метеорологической обстановки на больших высотах составляются карты тропопаузы и максимальных ветров.

На карты тропопаузы согласно определенным местам, показанным на схеме, представленной на рис. 5.8, наносятся сведения, относящиеся к уровню тропопаузы:

- $P_t P_t P_t$  — давление, целые миллибары;
- $T_t T_t$  — температура, °С;
- $D_t D_t$  — дефицит точки росы в цифрах кода;
- $d_t d_t$  — направление ветра, °;
- $f_t f_t f_t$  — скорость ветра, м/с.

Изобары, которые проводятся на картах тропопаузы через 50 мбар до давления 250 мбар, а далее через 25 мбар, можно интерпретировать как изолинии одинаковых высот тропопаузы, проведенные через 1 км:

мбар . . . . .	400	350	300	250	225	200	175	150	125	100
Н, км . . . . .	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

В области наибольших значений давления высота тропопаузы минимальная, в области наименьших значений — максимальная. В центрах этих областей проставляются символы  $H_{тр}$  и  $B_{тр}$  соответственно. Низкая тропопауза соответствует тропосферным очагам холода, высокая — очагам тепла.

Проведенные изолинии представляют собой линии пересечения тропопаузы с соответствующей изобарической поверхностью. Карта тропопаузы дает наглядное представление о том, где тропопауза лежит выше, а где ниже рассматриваемой изобарической поверхности, что позволяет определить места пересечения тропопаузы ЛА при полете на высоких эшелонах, зная давление на эшелоне.

По густоте изолиний можно определить наклон тропопаузы. Чем гуще изобары, тем круче наклон тропопаузы.

Крутой наклон тропопаузы наблюдается в зоне атмосферных фронтов, в связи с чем отмечается и зона повышенной турбулентности.

Карты максимальных ветров составляются для обнаружения струйных течений в тропосфере. На карты максимальных ветров согласно местам, определенным схемой, представленной на рис. 5.9, наносятся:

- $P_m P_m P_m$  или  $H_m H_m H_m H_m$  — давление на уровне максимального ветра (мбар) или высота этого уровня над уровнем моря в километрах;
- $d_m d_m$  — направление максимального ветра, °;
- $f_m f_m f_m$  — скорость максимального ветра, м/с;

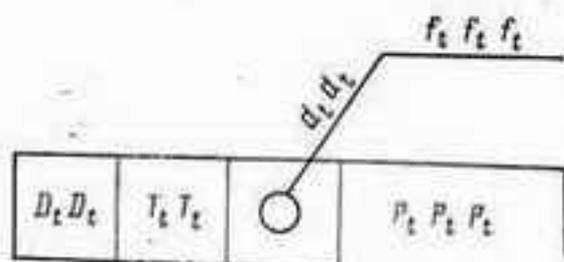


Рис. 5.8. Схема нанесения метеорологических данных на карты тропопаузы

абсолютная величина векторной разности ветра на уровне максимума и ветра на 1 км ниже него;

2.4.5 — абсолютная величина векторной разности на уровне максимума и ветра на 1 км выше него.



Рис. 5.9. Схема нанесения на карты максимальных ветров

Анализ карт максимального ветра предусматривает проведение изотоний равных скоростей ветра — изотех (рис. 5.10). Они проводятся сплошными плавными линиями через 10 м/с для скорости ветра, начиная с 30 м/с и более. Каждую изотеху надписывают соответствующим числом метров в секунду. Кроме того, на картах максимального ветра проводят жирными длинными стрелками оси струйных течений. Ось струйного течения должна проходить в тех районах, где скорость ветра больше, чем слева и справа от оси. Таким образом, ось струйного течения представляет собой линию максимального ветра внутри сердцевинны струйного течения.

Ось струйного течения на карте максимального ветра совпадает с зоной сгущения изогипс на карте ОТ<sup>500</sup><sub>1000</sub> и располагается перед теплым и за холодным фронтами.

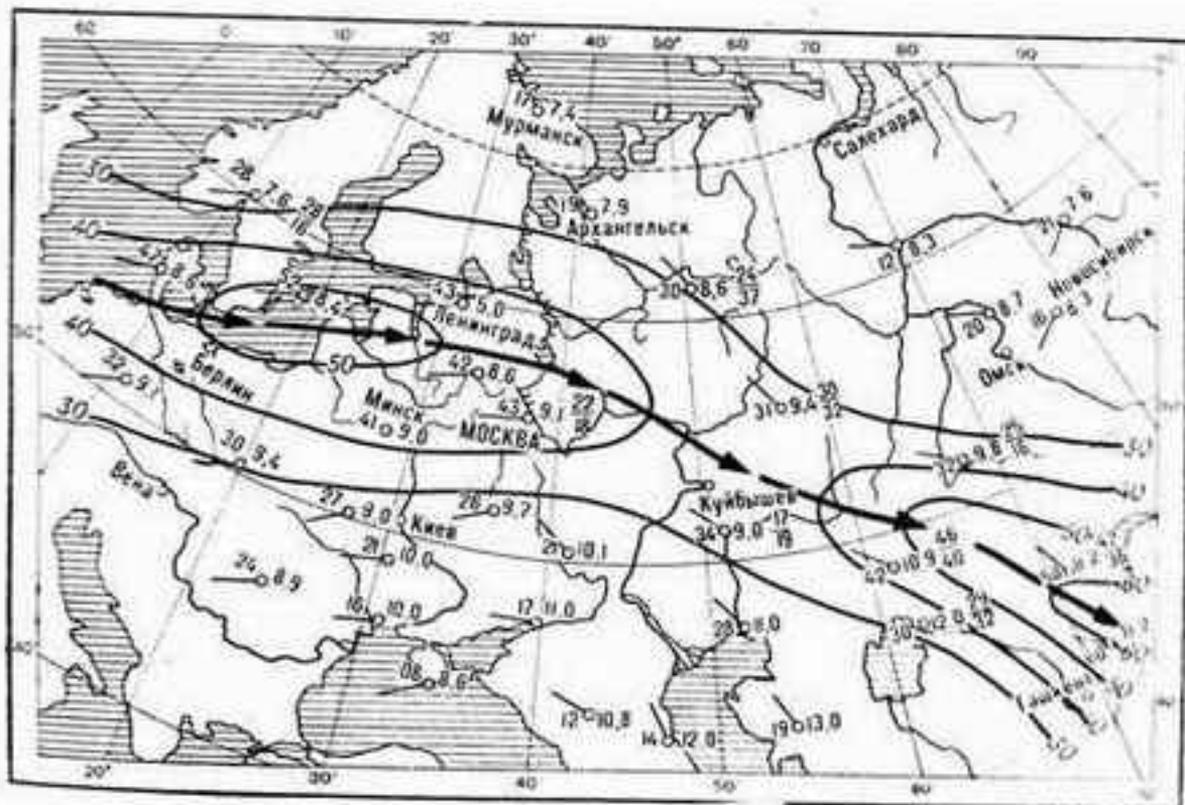


Рис. 5.10. Карта максимальных ветров (пример)

## 5.5. Вертикальные разрезы атмосферы

Графическое представление состояния атмосферы в вертикальной плоскости называется вертикальным разрезом. Различают временные вертикальные разрезы и пространственные. Для облуживания ГА главным образом используются пространственные вертикальные разрезы, так называемые вертикальные разрезы по маршруту полета. На вертикальном разрезе по маршруту представляется информация об условиях погоды или прогноз ожидаемых условий погоды по маршруту полета в форме вертикального разреза через атмосферу по данному маршруту.

Вертикальный разрез строится на специальном бланке. На осях абсцисс отмечаются пункты вдоль маршрута. Причем независимо от направления полета пункты, расположенные на западе или севере маршрута, отмечаются в левой части бланка, пункты, расположенные на востоке или юге маршрута, отмечаются в правой части бланка. Под каждым пунктом наносится погода у земли так, как это делают на приземных картах погоды. Ось ординат представляет собой шкалу высоты в двух масштабах — от 0 до 5000 м и от 0 до 12 км (шкала выбирается соответственно эшелону полета). Вдоль линии разреза наносится рельеф местности и профиль полета.

Если при полете по маршруту будет пересечение атмосферных фронтов, они изображаются на вертикальном разрезе. При этом соблюдается угол наклона фронтальной поверхности согласно выбранному масштабу как по вертикали, так и по горизонтали.

Изотермы (линии равных температур) 0 и  $-20^{\circ}\text{C}$  проводятся на вертикальном разрезе тонкой красной линией. Коричневой линией изображается тропопауза, если эшелон полета располагается в верхней тропосфере. Кроме того, на вертикальном разрезе атмосферы изображаются нижняя и верхняя границы облаков, их форма, зоны осадков и их вид, опасные явления погоды, скорость и направление ветра. Нижнюю и верхнюю границы облаков отмечают короткими горизонтальными линиями на соответствующих высотах. Зоны облаков обводят волнистыми линиями и закрашивают синим цветом. Внутри зон облаков проставляют их форму, иногда и количество баллов. Зоны осадков выделяют вертикальной штриховкой зеленого цвета, проставляя

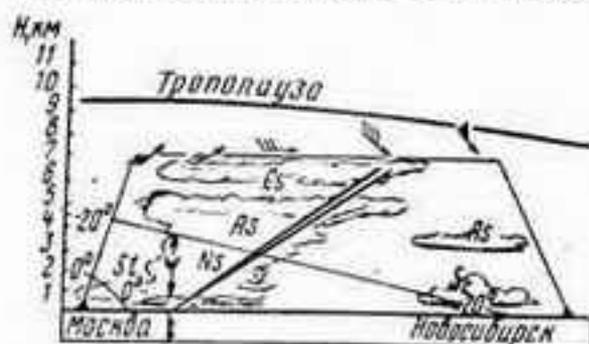


Рис. 5.11. Вертикальный разрез атмосферы по маршруту Москва — Новосибирск (пример)

внутри вид осадков теми же символами, что и на приземных картах погоды.

Опасные явления погоды, такие, как болтанка, обледенение, гроза, проставляются на вертикальном разрезе соответствующими символами красным цветом. Толщина слоя с обледенением и болтанкой отмечается черной вертикальной чертой (линией), начинающейся у нижней границы слоя

и заканчивающейся у верхней. Районы, занятые туманом, на вертикальном разрезе закрашиваются желтым цветом от поверхности земли до верхней границы.

Вертикальные разрезы атмосферы по маршруту строятся в результате анализа, приземных карт погоды, карт АТ, ОТ, карт тропопauses и максимальных ветров. Пример вертикального разреза атмосферы по трассе Москва—Новосибирск представлен на рис. 5.11.

### 5.6. Прогностические карты

Наряду с картами, отражающими фактическое состояние атмосферы, при метеообеспечении полетов широко используются прогностические карты.

**Приземные прогностические карты.** На картах проводят изобары, которые надписываются соответствующим числом миллибар и обозначают области низкого и высокого давления. В центрах барических образований рядом с буквами Н и В указывают величину давления, ожидаемого на тот час, на который составлена прогностическая приземная карта, и проводят фронтальные разрезы. Ожидаемое направление перемещения барических образований и фронтов указывается стрелкой, в конце которой цифрами (в км/ч) проставляется ожидаемая скорость перемещения. Кроме того, указываются особо опасные явления погоды.

**Прогностические карты абсолютной топографии (АТ).** В зависимости от назначения прогностические карты АТ рассчитываются для разных моментов времени на 24 или 36 ч вперед. Кроме того, рассчитываются совмещенные прогностические карты АТ для двух моментов времени и на них изображается будущее положение изогипс на определенный момент времени. Проведение изогипс и обозначение центров производится так же, как на фактических картах АТ. На совмещенных прогностических картах АТ одной и той же поверхности сплошными черными линиями представлено поле геопотенциала на 24, штриховыми — на 36 ч. С помощью прогностических карт АТ можно решать практически те же задачи, что и с помощью фактических карт АТ.

**Авиационно-прогностические карты погоды (АКП)** представляют собой комплект карт, состоящий из приземных карт и карт АТ. Карты АКП часто применяются при метеорологическом обеспечении полетов и составляются в аэрометцентрах 4 раза в сутки на бланках масштаба 1 : 1 500 000 и 1 : 75 000. Время действия карт — 6 ч. При этом ожидаемые метеоусловия прогнозируются к середине срока действия карт, т. е. прогноз осуществляется на 03, 09, 15, 21 ч московского времени.

Различают два типа приземных прогностических карт, входящих в комплект АКП: авиационно-прогностические карты особых явлений погоды и авиационно-прогностические карты погоды.

На авиационно-прогностическую карту особых явлений погоды наносятся направление и скорость (в км/ч) смещения барических систем и атмосферных фронтов (стрелки с цифрой). В зонах особых

явлений, которые очерчиваются зигзагообразной линией, проставляются ожидаемые условия погоды, усложняющие выполнение полетов (гроза, обледенение, болтанка различной интенсивности и т. п.). Вместе с особыми явлениями указываются количество, форма и высота нижней и верхней границ облачности, с которой связаны особые явления. При этом высота верхней и нижней границ облачности, зон обледенения и болтанки указывается дробью в десятках метров. Зоны турбулентности при ясном небе (ТЯН) очерчиваются прерывистой линией.

При прогнозировании особых явлений применяется термин «местами», если явление ожидается в отдельных районах очерченной зоны, а также «грозовое положение» (на картах пишут «гроз. пол.»), если ожидается развитие кучево-дождевых облаков и синоптические условия благоприятны для возникновения гроз.

АКП оформляются аналогично картам особых явлений, за исключением двух положений:

вместо зон с особыми явлениями выделяются районы с однородными условиями погоды, где указываются все прогнозируемые явления погоды, количество, форма и высота нижней и верхней границ облачности и горизонтальная видимость в приземном слое;

дополнительно в выборочных точках указывается высота над уровнем моря изотермы  $0^{\circ}\text{C}$ .

На прогностическую карту барической топографии наносятся центры барических систем и изогипсы с указанием их значений высоты (в гп дам). Стрелками, расположенными между изогипсами, указывается направление, а цифрой (в разрыве стрелок) — средняя скорость ветра (в км/ч) на выбранном участке.

На картах 300 и 200 мбар проводится утолщенной линией со стрелкой ось струйного течения. В разрыве оси струи дробью указывается: в числителе — максимальная скорость струи (в км/ч), в знаменателе — высота (в гп дам), на которой ожидается максимальная скорость ветра. Кроме этого, в выборочных точках указывается температура воздуха на высоте, соответствующая уровню карты (проставляется внутри кружка). Дробью указываются: в числителе — температура на высоте тропопаузы (в  $^{\circ}\text{C}$ ), в знаменателе — высота тропопаузы (в гп дам). Примеры карт АКП на рис. 5.12 и 5.13.

## 6. СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ АНАЛИЗ

### 6.1. Понятие об общей циркуляции атмосферы

Воздушная оболочка Земли — атмосфера находится в постоянном движении. Силы, порождающие движение воздуха, возникают в связи с неодинаковым нагреванием Солнцем земной поверхности и воздуха в различных географических районах, а их действие направлено к установлению равновесия в атмосфере, устранению неравномерностей состояния воздуха над полюсами и экватором, над океаном и сушей, над горами и равнинами и т. д. Однако в дейст-

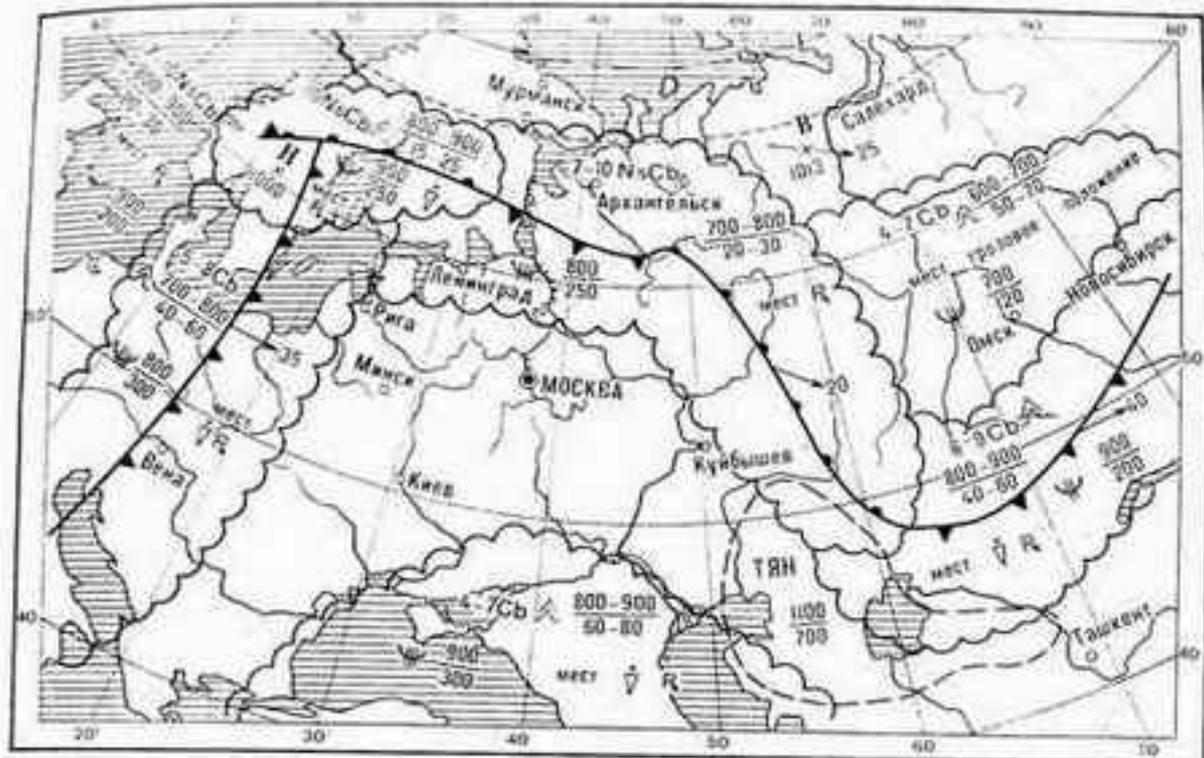


Рис. 5.12. Авиационно-прогностическая карта особых явлений (пример)

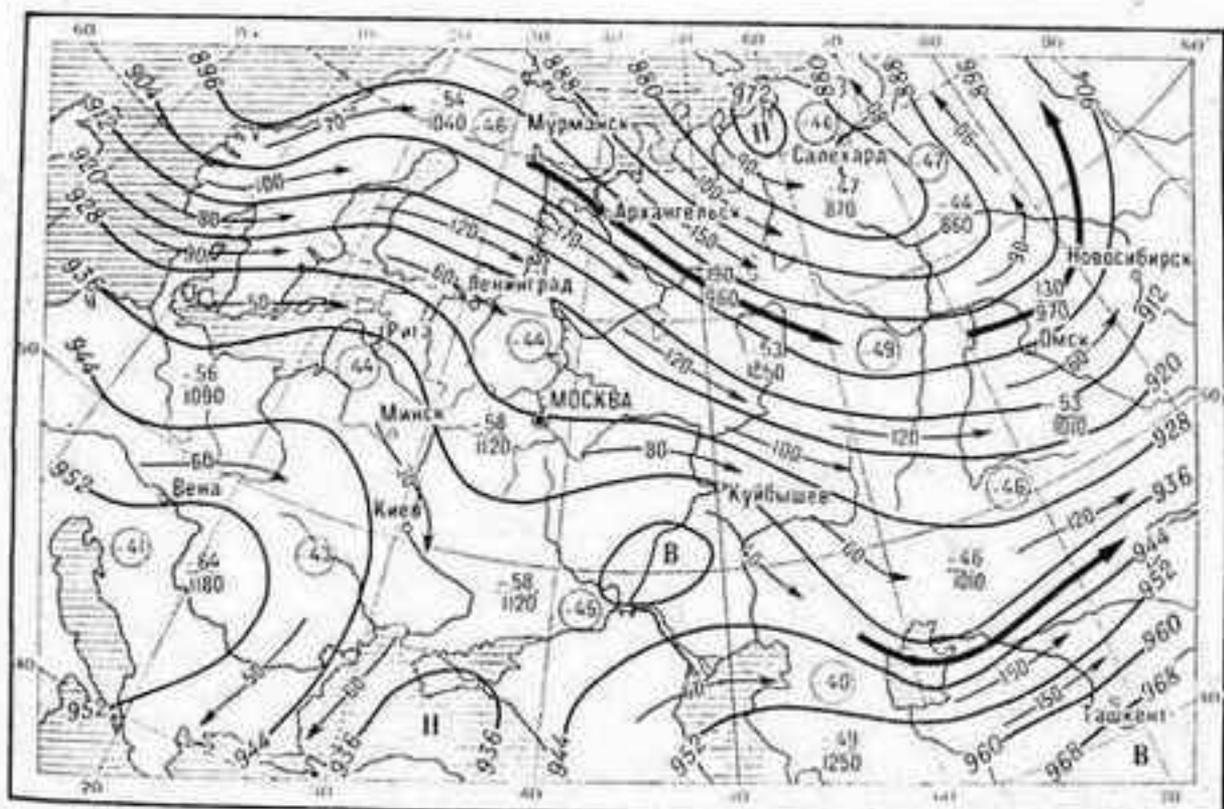


Рис. 5.13. Авиационно-прогностическая карта  $A_{300}$  (пример)

вительности полного равновесия в атмосфере не бывает. Движение воздуха никогда не прекращается, что и вызывает перемены в погоде.

Изучение изменений погоды с помощью карт погоды позволило выявить зависимость между погодой в каждой географической точке Земли и физическими атмосферными процессами, происходящими в атмосфере. Эти процессы, изучаемые по картам погоды (или синоптическим картам), называют синоптическими процессами. Анализируя синоптические карты, можно не только знать, где какая погода наблюдалась в определенный час, но и устанавливать закономерности изменений погоды в течение нескольких часов и даже суток.

Эту сложную, требующую высокой квалификации и специальной подготовки работу выполняют на аэродромах авиационные метеорологи-синоптики, использующие для анализа метеорологической информации и расчетов будущего состояния погоды ЭВМ.

Из всего разнообразия воздушных течений в атмосфере можно выделить главные, наиболее значительные по своим масштабам и наиболее устойчивые. Такую совокупность крупномасштабных, охватывающих большие географические районы, и относительно устойчивых (т. е. постоянно существующих) воздушных течений называют общей циркуляцией атмосферы (ОЦА).

ОЦА — результат взаимодействия многих факторов, из которых решающими являются:

неравномерность притока солнечной энергии на разных широтах и в разное время года;

вращение Земли и действие возникающих при этом инерционных сил;

неоднородность земной поверхности (например, наличие суши с различно ориентированными горными хребтами, плато, равнинами, морями и т. д.).

На неподвижной однородной поверхности Земли циркуляция атмосферы была бы во много раз проще существующей. Можно представить себе, что существовал бы устойчивый замкнутый круговорот воздуха между полюсами и экватором и между освещаемой Солнцем и затененной частями земной поверхности.

Вращение Земли и неоднородность ее поверхности сильно усложняют циркуляцию атмосферы.

Существует несколько упрощенных схем общей циркуляции атмосферы, отражающих только самые основные ее черты. Примеры таких схем приведены на рис. 6.1.

**Элементы ОЦА.** Одним из важнейших элементов ОЦА в полярных умеренных и тропических широтах являются течения зональной циркуляции, имеющие общее направление движения вдоль кругов широты с некоторым отклонением наиболее часто наблюдающихся западных ветров к северу, а более редко встречающихся восточных — к югу. Это преобладающие зимой в полярных районах и круглый год в умеренных широтах западные ветры (в тропосфере и нижней стратосфере), северо-во-

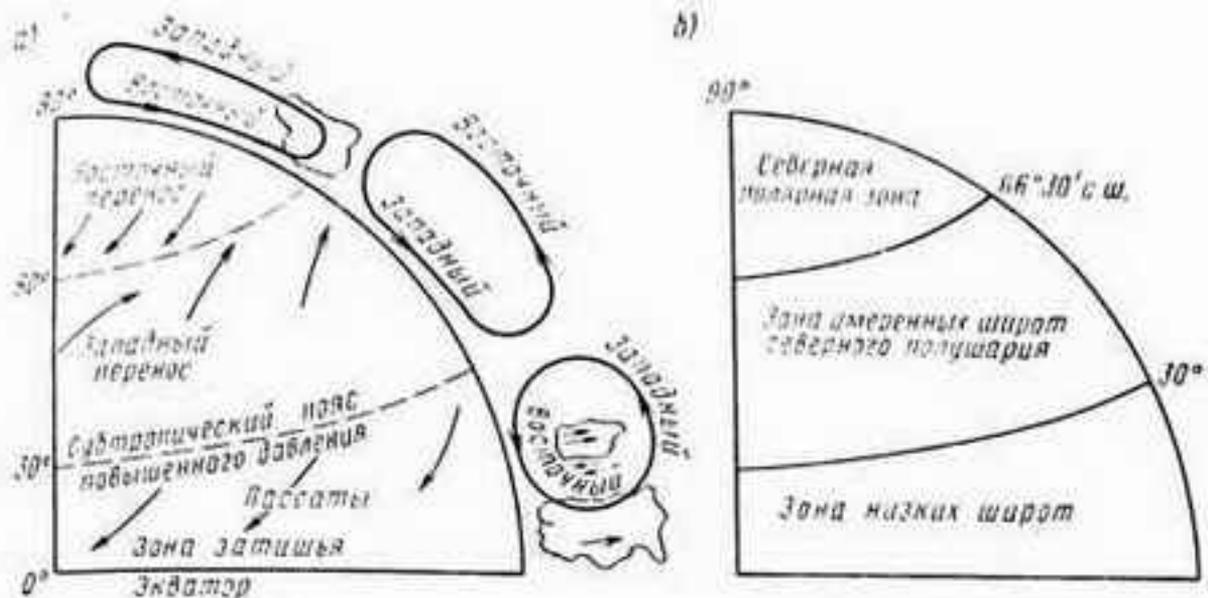


Рис. 6.1. Упрощенная схема общей циркуляции атмосферы (а) и географические циркуляционные зоны Северного полушария (б)

сточные ветры пассаты (у поверхности Земли, а также в нижней тропосфере в тропических широтах) и юго-западные ветры антипассаты (в верхней тропосфере и нижней стратосфере в тех же широтах).

К течениям зональной циркуляции относятся и преобладающие летом восточные ветры в нижней стратосфере и верхней тропосфере в полярных областях. Все перечисленные ветры порождаются распределением давления и температуры воздуха над различными широтами Земли.

Вторым элементом ОЦА (особенно для тропических областей и в меньшей степени для умеренных широт) являются муссоны, порождаемые неравномерным нагреванием поверхности океанов и континентов. Летние муссоны дуют с океана на сушу, зимние, наоборот, — с суши на море.

Третий элемент ОЦА, играющий большую роль в умеренных и высоких широтах, — это воздушные течения подвижных циклонов и антициклонов, представляющих собой крупномасштабные атмосферные вихри диаметром в сотни и даже тысячи километров с замкнутой циркуляцией против (циклоны Северного полушария) или по часовой стрелке (антициклоны Северного полушария).

В тропических областях над океанами поздним летом и осенью между 5 и 35° широты в обоих полушариях Земли возникают тропические циклоны (ураганы, тайфуны), являющиеся еще одним существенным элементом ОЦА.

**Географические циркуляционные зоны атмосферы Земли.** В механизме ОЦА можно выделить пять широтных циркуляционных зон, показанных на рис. 6.1, б:

1. Низкоширотная зона при экваториальных и тропических широтах, лежащих в пределах 30° по обе стороны экватора;

2 и 3. Умеренные зоны Северного и Южного полушарий, лежащие между полярными кругами и  $30^\circ$  широты соответствующего полушария;

4 и 5. Полярные зоны — арктическая в Северном и антарктическая в Южном полушариях, расположенные над географическими полюсами в высоких широтах за полярным кругом.

В низкоширотной зоне условия погоды определяются в первую очередь процессами конвекции, протекающими на фоне сильного прогрева подстилающей поверхности, высоких значений температуры и абсолютной влажности воздуха. Здесь типичны тропические ливни и грозы (за исключением пограничных с умеренными зонами участков, где под влиянием пояса субтропических антициклонов в меньшей степени сказывается активность процессов конвекции — преобладает малооблачная, сухая погода). Для низкоширотной зоны характерны также смены погоды под влиянием летнего и зимнего муссонных ветров. Летний муссонный период дождливый, зимний — засушливый. В нижних слоях атмосферы в низкоширотной зоне до высоты примерно 3—5 км еще наблюдаются очень устойчивые по направлению ветры пассатной циркуляции — северо-восточный пассат в Северном полушарии и юго-восточный пассат — в Южном. Возникающие осенью и в конце лета над океанами в пределах низкоширотной зоны тропические циклоны перемещаются первые дни после их зарождения в общем направлении с востока на запад, а затем по мере удаления от места возникновения они могут проникать в более высокие широты — в умеренные зоны обоих полушарий Земли и менять траекторию движения, двигаться в направлении от экватора к полюсам с заметной западной составляющей — на северо-восток в Северном полушарии и на юго-восток — в Южном.

Ежегодно в низкоширотной зоне Земли возникает в среднем 100—120 тропических циклонов, приблизительно  $\frac{3}{4}$  которых приходится на Северное полушарие, а  $\frac{1}{4}$  — на Южное. Для тропических циклонов характерна большая скорость ветра (более 30 м/с) и очень сильное волнение моря. Высота кучево-дождевой облачности вокруг центра тропического циклона может достигать 18 км. Такие облака несут с собой сильные ливневого типа осадки с грозами.

В умеренных зонах обоих полушарий Земли условия погоды очень изменчивы, что связано с прохождением следующих один за другими крупномасштабных вихрей — циклонов и антициклонов, переносящих с собой большие порции воздуха с различным содержанием водяного пара, различной температурой и с различными другими термодинамическими свойствами. В целом в этих зонах преобладает западно-восточный перенос, т. е. общее перемещение зон различной погоды с запада на восток, но время от времени над отдельными географическими районами возникают, начиная преобладать, и сильные меридиональные потоки — порывы холодных масс воздуха с полярных областей в сторону экватора или, наоборот, вторжения теплых масс воздуха из низких широт в высокие.

Для умеренных зон характерны большие колебания температуры между сезонами года. Зимой здесь наблюдаются значительные контрасты температуры воздуха над сушей и над морем, над континентами формируются устойчивые и значительные по площади области высокого давления (Сибирский и Канадский зимние антициклоны), а над океанами — области низкого давления (Исландская и Алеутская депрессии). В теплое время года континентальные антициклоны разрушаются, над океанами, наоборот, наблюдается рост давления, особенно над участками умеренной зоны, граничащими с субтропиками: летом очень заметно влияние субтропических океанических антициклонов, гребни которых распространяются в пределы умеренной зоны (например, гребень Азорского антициклона над Атлантическим океаном часто занимает юго-западную часть континента Европы и бассейна Средиземного моря, а гребень тихоокеанского антициклона над Гавайскими островами занимает западную часть территории США и Канады).

В полярных зонах развитие атмосферных процессов круглый год протекает на общем фоне низких значений температуры воздуха, сохранения льдов, покрывающих в высоких широтах значительную часть поверхности океанов, а в Антарктиде — и суши. Особенно холодно в южной полярной области, где погода в разгар лета аналогична зимним условиям в умеренной зоне. Это связано с большой высотой антарктического континента, средняя высота которого над уровнем моря более 2000 м.

В полярных зонах, как и в умеренных, большую роль в формировании условий погоды играет циклоническая деятельность, но в Арктике и Антарктиде циклоны при своем прохождении часто сопровождаются снежными бурями (пурга, блиццард) со штормовыми ветрами при сильных морозах.

Зимой в районе географических полюсов не показывается солнце, здесь долгие месяцы сохраняется полярная ночь; летом же столь же длительным бывает день, когда солнце не заходит за горизонт (рис. 6.2). Поэтому в полярных областях суточные изменения погоды выражены значительно слабее, чем в умеренных и низких широтах, временами они не проявляются совсем. Годовые же колебания погоды очень значительны.

Одной из особенностей погоды полярных областей является почти полное отсутствие конвективных процессов и связанных с ними характерных кучевых облаков и ливневых осадков, а также практически и гроз, которые очень редки в Арктике и не зафиксированы в Антарктике.

## 6.2. Воздушные массы и погода в них 119-124

**Определение воздушных масс.** В тропосфере принято различать большие по объему количества воздуха, занимающие пространства, соразмеримые с материками и океанами, имеющие некоторые общие одинаковые свойства — воздушные массы. Эти массы

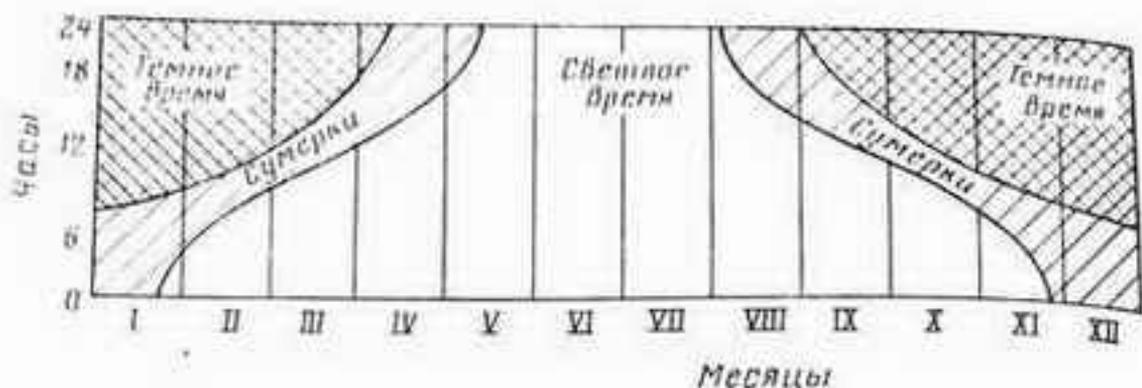


Рис. 6.2. Продолжительность дня на 70° с. ш.

тропосферы перемещаются как одно целое с течениями общей циркуляции атмосферы или могут некоторое время оставаться малоподвижными, особенно в очагах их формирования. Воздух в воздушных массах под влиянием подстилающей поверхности может постепенно изменять свои свойства. Этот процесс называется трансформацией воздушных масс. Под его влиянием воздушная масса может переходить из одного состояния в другое, приобретать новые качества, теряя старые, ранее ей присущие.

Существуют две основные классификации воздушных масс: термодинамическая; географическая.

**Термодинамическая классификация воздушных масс** делит все воздушные массы в зависимости от их состояния, влагосодержания и степени нагретости по сравнению с подстилающей поверхностью на устойчивые, неустойчивые, теплые и холодные.

**Устойчивая** воздушная масса характеризуется небольшими значениями вертикального градиента температуры (менее влажно-адиабатического), часто — наличием инверсионных прослоек. В ней нет условий развития конвекции. При высоком влагосодержании воздуха и достижении состояния насыщения в такой массе могут быть дымки, туманы, облачность слоистых форм, а если выпадают осадки, то в виде мороси, слабого дождя или снега. В приземном слое в устойчивой воздушной массе обычно ограниченная видимость.

В теплое время года в дневные часы в устойчивой воздушной массе чаще преобладает малооблачная погода, а ночью и в ранние утренние часы могут наблюдаться дымка, туман, слоистая облачность.

**Неустойчивая** воздушная масса имеет высокие значения вертикального градиента температуры и, как правило, большее влагосодержание. В такой массе интенсивно развивается конвективная облачность, осадки выпадают главным образом ливневого типа, могут сопровождаться грозами. Над сушей образование в теплое время года кучевых облаков и проявление неустойчивости воздушной массы происходит чаще всего днем, в послеполуденные

часы, а над морем — ночью. Зимой в неустойчивой воздушной массе развитие конвективных явлений и выпадение ливневых осадков более типично для акваторий океанов и морских побережий и в меньшей степени — для внутренних континентальных областей.

В неустойчивой воздушной массе происходит интенсивное перемешивание воздуха, обмен воздуха между нижним приземным и вышележащими слоями. Ветры в такой массе порывистые, часто сильные. Видимость в целом в этой массе лучше, чем в устойчивой, особенно в нижнем приземном слое воздуха. Однако в зонах выпадения ливневых осадков она резко снижается (иногда до нескольких сотен и даже десятков метров), но, как правило, такие ухудшения видимости бывают кратковременными.

Теплая воздушная масса в приземном слое отличается более высокой температурой воздуха, чем температура подстилающей поверхности. Чаще всего над сушей теплые воздушные массы проявляются в холодное время года. Охлаждаясь над холодной поверхностью суши, они быстро становятся термодинамически устойчивыми с характерными приземными поверхностями и условиями погоды (наличие низкой слоистой облачности, дымок, туманов). Над водными поверхностями озер, морей и океанов теплые воздушные массы появляются чаще весной и летом при переносе воздуха с уже прогретой суши.

Холодная воздушная масса имеет более низкие значения температуры воздуха, чем температура подстилающей поверхности. Летом над континентом воздушная масса, поступающая с моря, обычно оказывается холодной. Прогреваясь в нижнем слое, она сразу проявляет себя как термодинамически неустойчивая. Зимой же над сушей эта масса, как правило, стратифицирована устойчиво, в нижнем слое над поверхностью земли образуется инверсия с морозной дымкой, туманом и реже — со слоистой облачностью. Из-за сухости воздуха в холодной воздушной массе над континентом зимой чаще преобладает малооблачная погода.

Над морями и океанами холодные воздушные массы чаще всего появляются осенью и зимой, при ветрах с континента. При значительной разнице в температуре воды и воздуха в такой массе могут возникать туманы, испарения.

Понятия «холодная» и «теплая» воздушные массы относительны: одна и та же воздушная масса в зависимости от того, над какой подстилающей поверхностью она в данный момент находится, может оказаться или холодной или теплой.

Для полноты характеристики условий погоды, свойственных воздушной массе, последнюю следует определять как по температуре относительно подстилающей поверхности, так и по степени устойчивости (например, холодная неустойчивая, холодная устойчивая или теплая устойчивая воздушная масса и т. д.).

**Географическая классификация воздушных масс.** На практике, помимо термодинамической классификации воздушных масс, часто используется и их географическая классификация, очень удобная

своей конкретностью и способностью кратко обобщать условия погоды, характерные для прихода той или иной воздушной массы.

Согласно географической классификации, различают воздушные массы: арктические (антарктические в Южном полушарии), умеренные (формирующиеся над средними широтами), тропические и экваториальные. Кроме того, каждая из перечисленных воздушных масс, за исключением экваториальной, в зависимости от подстилающей поверхности, над которой она формировалась, может быть континентальной или морской. На картах погоды, согласно географической классификации воздушных масс, можно обнаружить:

континентальный арктический воздух (КАВ),  
морской арктический воздух (МАВ),  
континентальный умеренный воздух (КУВ),  
морской умеренный воздух (МУВ),  
континентальный тропический воздух (КТВ),  
морской тропический воздух (МТВ) и  
экваториальный воздух (ЭВ).

Каждая из указанных воздушных масс имеет свои особенности и характерные для нее в том или ином сезоне года условия погоды.

КАВ формируется над покрытыми льдами пространствами суши и Ледовитого океана в Арктике. На континент Евразии поступает через моря Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское, поверхность которых большую часть года покрыта льдом. КАВ зимой термодинамически устойчив. В нем преобладает малооблачная, сухая погода с сильными морозами, с несколько пониженной видимостью в приземном слое из-за морозной дымки. В теплое время года, перемещаясь над прогретой сушей, приобретает некоторые черты неустойчиво-стратифицированной воздушной массы: в нем развивается небольшая кучевая и высоко-кучевая облачность, ветер временами становится порывистым, но до выпадения ливневых осадков дело доходит редко из-за большой сухости воздуха, незначительного содержания в нем водяного пара. В целом в КАВ видимость хорошая. Прогреваясь над внутренними континентальными районами, КАВ быстро трансформируется в КУВ.

МАВ — воздушная масса, приобретающая свойства МАВ над западной частью акватории Ледовитого океана, свободной от льдов. На Центральную и Восточную Европу поступает через Норвежское и Баренцево моря, над которыми он обогащается влагой и несколько прогревается по сравнению с очагом формирования в Западной Арктике. Поступая на континент, МАВ проявляет себя как термодинамически неустойчивая воздушная масса, в которой даже зимой развивается кучевообразная облачность и могут выпадать ливневые осадки (особенно в прибрежных районах, для которых типичны кратковременные снежные заряды с резким ухудшением видимости при вторжениях в МАВ). Летом неустойчивость в МАВ проявляется еще заметнее. Вне осадков видимость в МАВ очень хорошая, при его вторжении над континентом можно наблюдать ярко синее чистое небо. При формировании над европейской тер-

риторией СССР антициклонов и МАВ последний быстро (в течение нескольких суток) трансформируется в КУВ.

КУВ формируется над сушей умеренных широт. Над континентом Евразии чаще всего образуется при трансформации масс арктического или морского умеренного воздуха. Зимой КУВ — устойчивая воздушная масса с очень низкой температурой в приземном слое, с хорошо выраженной инверсией. Над территорией СССР самые сильные морозы зимой зарегистрированы в КУВ, который в нижних слоях бывает холоднее арктического воздуха. Летом неустойчив, в нем развивается конвективная облачность с ливнями и грозами. Видимость в КУВ обычно ухудшена континентальными помутнениями, образующими характерную для него сухую мглу. В утренние часы она часто бывает ограничена дымкой или радиационными туманами.

МУВ образуется при длительном пребывании над акваториями океанов и морей в умеренных широтах. На территорию СССР он приходит из Северной Атлантики, а на Дальнем Востоке — с Тихого океана. Зимой — это типично устойчивая воздушная масса, в которой часто наблюдается низкая слоистая облачность, дающая слабые осадки, плотные туманы, густые дымки. Летом МУВ над сушей быстро прогревается и проявляет себя как неустойчивая воздушная масса, в которой интенсивно развиваются конвективные процессы (кучевая, кучево-дождевая облачность, ливни, грозы).

КТВ формируется над континентальными районами в субтропиках и тропиках, откуда он поступает в средние широты, принося с собой жаркую погоду. Летом КТВ может формироваться и над умеренными широтами путем трансформации из МУВ и КУВ при длительном прогреве воздуха в условиях сухой безоблачной погоды. В СССР летом КТВ может формироваться над степями и полупустынями Северного Кавказа, Нижнего Поволжья и Прикаспия, а также над территорией Среднеазиатских республик.

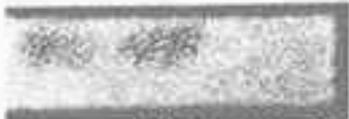
В теплое время года — это неустойчивый воздух, зимой — устойчивый. Кроме высокой температуры, для КТВ характерно высокое влагосодержание, а также значительное содержание в воздухе континентальной пыли, придающей белесоватый оттенок окраске неба. Летом температура воздуха у земли в нем может достигать  $40^{\circ}\text{C}$ , благодаря чему над некоторыми районами Средней Азии уровень конденсации часто оказывается выше уровня конвекции и, несмотря на высокое содержание в воздухе водяного пара, облакообразования не происходит. В районах, занятых КТВ, летом стоит сухая безоблачная жаркая погода.

Иногда на юге СССР при вторжениях КТВ возникают пыльные и песчаные бури. В нижней половине тропосферы (до высоты 4—5 км) КТВ сильно запылен — видимость в нем, как правило, ограниченная. Она редко бывает больше 4—6 км.

МТВ формируется над океанами в субтропическом поясе высокого давления. На континент Евразии МТВ поступает с Атлантики из области Азорского антициклона, а также с Тихого океана из области Гоиолульского максимума высокого давления. Летом МТВ

может формироваться и над Средиземным морем. Это теплая воздушная масса с высоким влагосодержанием. Приходя на континент в холодное время года, она становится устойчивой, приносит с собой облачную погоду с осадками, адвективными туманами.

ЭВ над территорией СССР не встречается. Это очень влажная, теплая, неустойчивая воздушная масса, формирующаяся в приэкваториальных областях земного шара из масс тропического воздуха.



### 6.3. Атмосферные фронты

#### Понятие об атмосферных фронтах и условиях их существования.

На границах между воздушными массами существуют переходные зоны шириной в несколько десятков, а то и сотен километров с облачной погодой и обычно с осадками и различными метеорологическими явлениями, затрудняющими полеты, а иногда представляющими прямую опасность для их выполнения. Эти переходные зоны между разными воздушными массами называются атмосферными фронтами или фронтальными поверхностями раздела. Названия эти условные, они возникли при создании теоретических схем, объясняющих природу этого сложного явления и всего процесса взаимодействия двух различных воздушных масс, обладающих разными свойствами и создающих на стыке между ними особые условия погоды.

В горизонтальном направлении у поверхности земли ширина фронта всего несколько десятков километров, толщина фронта (вертикальная протяженность) у земли — несколько сотен метров (в средней тропосфере может превысить километр). На картах погоды и вертикальных разрезах ввиду необходимости использования мелких масштабов фронты изображаются линиями. Поскольку каждый атмосферный фронт разделяют две воздушные массы, из которых одна более теплая и обладает меньшей плотностью, а другая более холодная и отличается большей плотностью, то более легкая (теплая) масса стремится вверх, скользя над более тяжелой (холодной) массой, которая, в свою очередь, устремляется вниз, как бы вытесняя теплую воздушную массу. Если бы воздушные массы были неподвижны и не было бы вращения Земли, фронты как переходные зоны между массами занимали бы строго горизонтальное положение с теплой массой наверху, а холодной внизу. Но движение разделяемых фронтами воздушных масс и вращение Земли приводят к тому, что фронты как поверхности раздела располагаются не горизонтально, а наклонно к горизонтальной плоскости под очень небольшим углом, составляющим несколько десятков угловых минут, тангенс которого колеблется в пределах от  $1/50$  до  $1/300$ . Таким образом по мере удаления от линии фронта у поверхности земли фронтальная поверхность становится все выше, достигая нескольких километров над землей, а протяженность наклонной фронтальной зоны в нижней и средней тропосфере может составлять несколько сот километров. Такой же будет и протяжен-

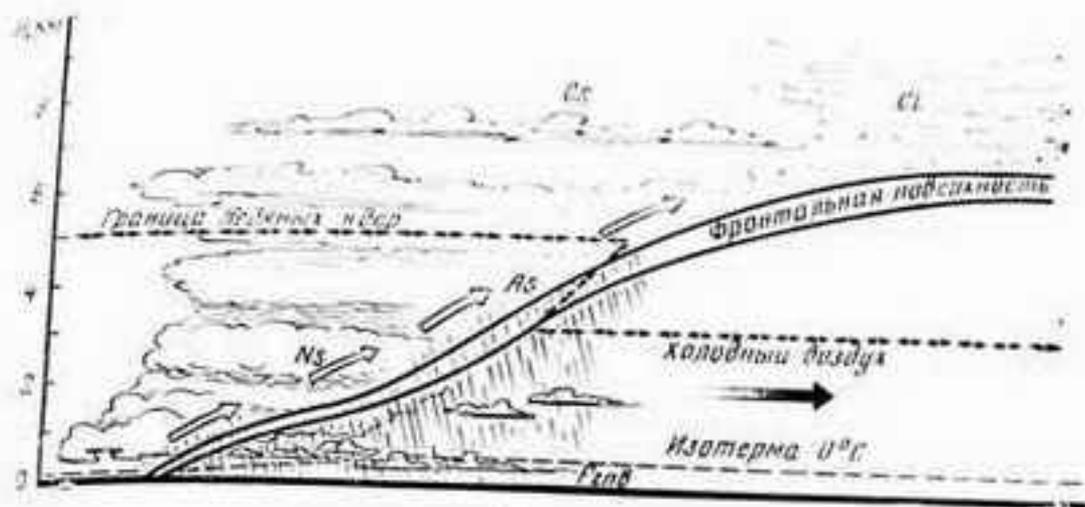


Рис. 6.3. Облачность теплого фронта

ность ширины зоны фронтальной облачности и осадков. Это поясняется рис. 6.3.

На атмосферных фронтах наблюдается резкое изменение погоды как в целом, так и отдельных метеозлементов. Температура воздуха, ветер на фронте изменяются скачкообразно, так же как и барическая тенденция. Но само атмосферное давление на фронте изменяется без скачка, плавно, хотя перед фронтом оно обычно падает (уменьшается), а за фронтом — растет (увеличивается) или перестает падать.

Ветер с прохождением фронта у поверхности земли, как правило, испытывает правое вращение, так как фронты в нижней тропосфере всегда находятся в барических ложбинах, где есть благоприятные условия для их существования (сходимость воздушных масс, обусловленная влиянием силы трения, отклоняющей ветер влево от направления градиентного ветра и поддерживающей в силу этого контрасты в значении метеозлементов в воздушных массах вдоль линии фронта). В гребнях антициклонов, наоборот, — в нижней тропосфере нет благоприятных условий для существования фронтов, из-за чего последние там практически и не наблюдаются, а если и бывают, то сильно размытые, очень слабо выраженные, проявляющиеся лишь в свободной атмосфере выше слоя трения.

Помимо сходимости и расходимости воздушных потоков в разных барических системах, способствующих обострению или размыванию фронтов, на существование атмосферных фронтов оказывают влияние вертикальные движения воздуха: восходящие в циклонах, благоприятные для фронтов и нисходящие в антициклонах, препятствующие образованию и сохранению фронтов.

Классификация фронтов выполняется по воздушным массам, ими разделяемым. Выделяют главные атмосферные фронты: арктический (АФ), разделяющий арктический воздух и умеренный;

Умеренный (УФ), разделяющий умеренный воздух и тропический, и тропический (ТФ), разделяющий тропический воздух и экваториальный. В Северном полушарии существуют три главных атмосферных фронта. Столько же и в Южном полушарии, но там вместо арктического фронта есть фронт антарктический (АНФ), разделяющий антарктический воздух и умеренный.

Главные атмосферные фронты подвижны, они перемещаются вместе с воздушными массами, которые они разделяют (примеры расположения фронтов — рис. 6.4). Как и воздушные массы, фронты не остаются неизменными. Они могут какое-то время быть активными, хорошо выраженными, с широкими зонами облачности, осадков и различных явлений погоды, серьезно усложняющими полеты. Затем они могут становиться менее активными, размываться, а то и совсем переставать оказывать сколь-либо серьезное влияние на условия погоды. Фронты могут возникать вновь, когда создаются для этого благоприятные условия. Иногда на картах погоды полушария могут быть не три главных фронта, а больше. Это случается, когда один из главных фронтов не успел еще окончательно размываться. Он еще хотя и слабо выражен, но прослеживается местами в виде отдельных зон облаков и осадков, но одновременно уже возник и активно проявляет себя новый главный атмосферный фронт. В таком случае принято один из этих фронтов называть старым, а другой новым (например, может быть на карте погоды старый АФ и новый АФ).

Не следует каждый главный атмосферный фронт представлять себе как непрерывный, тянущийся через все полушарие раздел между воздушными массами. Местами фронт может быть размыт. В этом случае он практически не сказывается на погоде. Обычно это бывает над какой-либо обширной областью высокого атмосферного давления. Правильнее будет представлять себе каждый главный атмосферный фронт состоящим из нескольких участков с разной степенью активности и с различными условиями погоды. Отдельные участки его выражены слабо или совсем не выражены в погоде. Кроме того, отдельные участки атмосферного фронта могут смещаться в одном направлении, а другие — в другом, даже в противоположном. Например, на одном участке фронта теплая воздушная масса оттесняет холодную, вызывая потепление в той местности, где прошел фронт. Такой участок фронта называют теплым фронтом.

На другом участке фронта холодная воздушная масса может потеснить теплую, и здесь будет похолодание, вызванное сменой воздушных масс при прохождении фронта. Такой участок фронта называют холодным фронтом.

Помимо выделения главных атмосферных фронтов как разделов между основными воздушными массами, можно выделить и отдельные участки атмосферных фронтов по характеру происходящей смены воздушных масс при прохождении фронта. Фронты можно классифицировать и по другому принципу, разделяя на теплые, холодные и на так называемые фронты окклюзии или

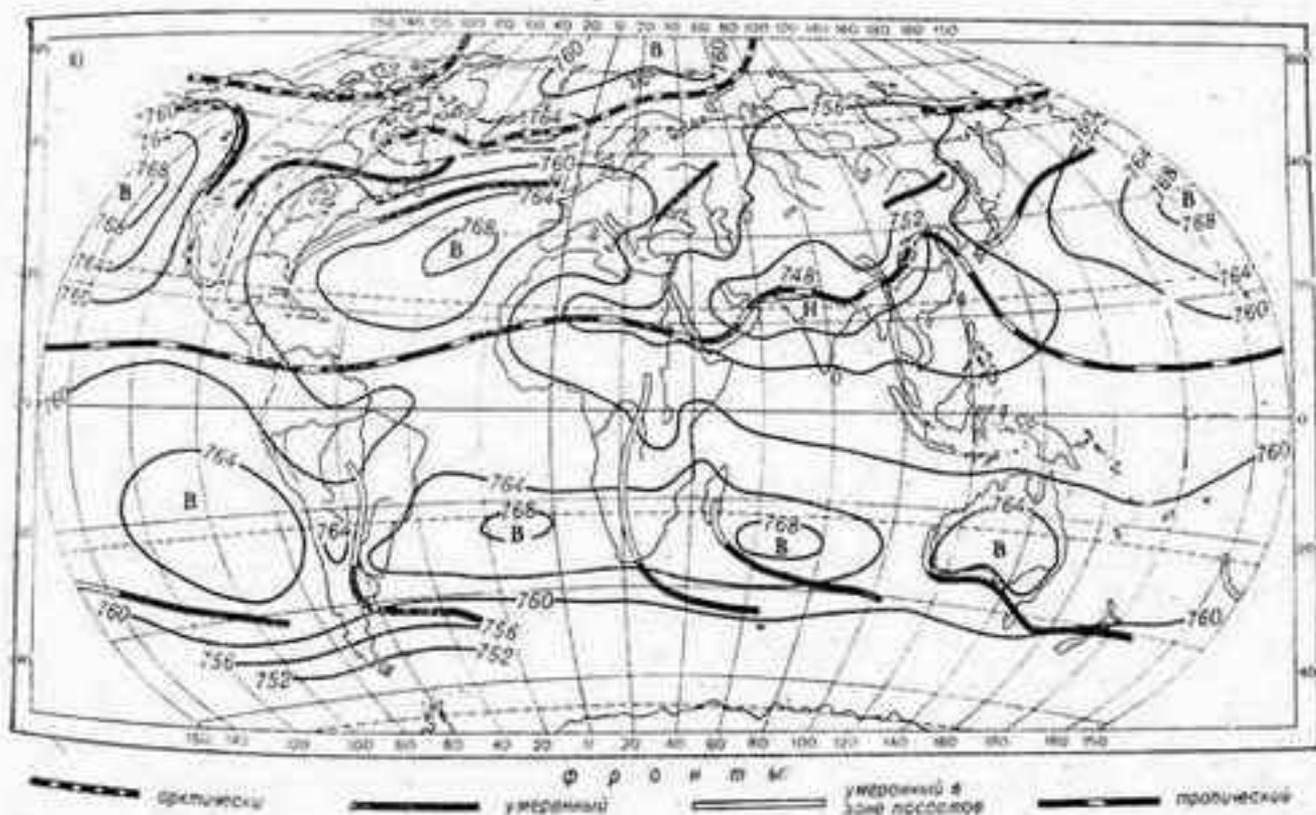
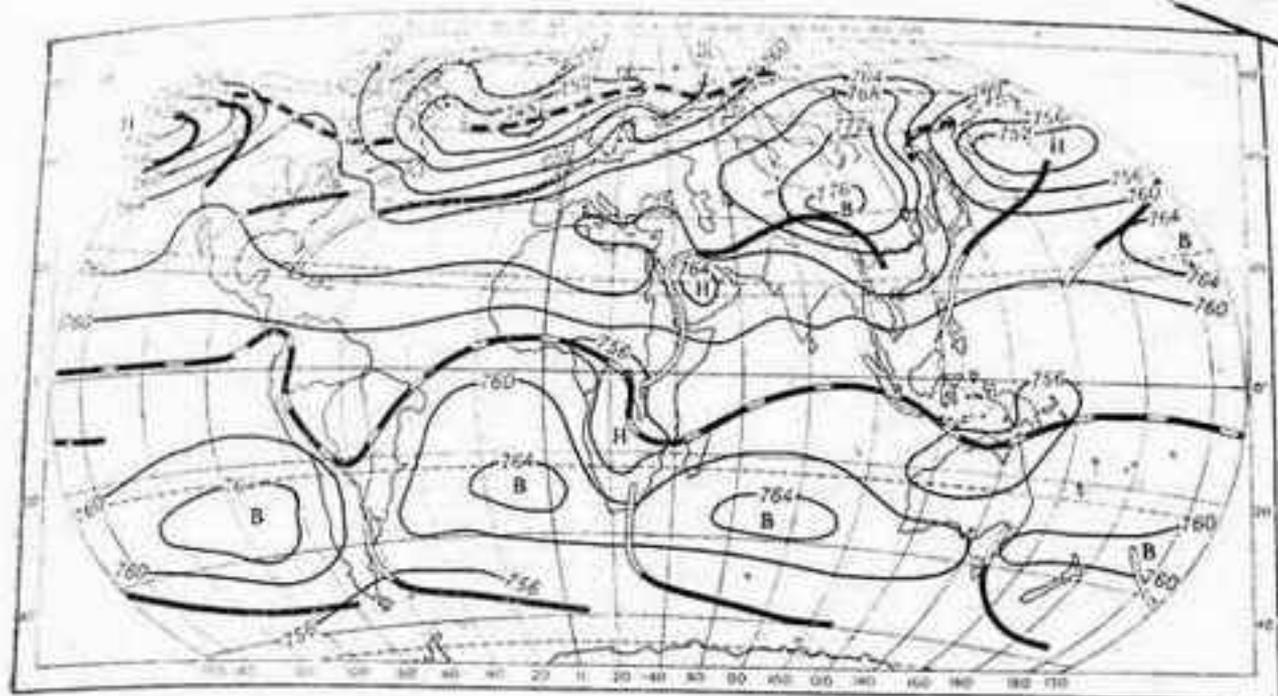


Рис. 6.4. Главные атмосферные фронты:  
 а — в январе; б — в июле

сложные атмосферные фронты, возникающие при смыкании теплого и холодного фронтов.

Атмосферные фронты классифицируются и по их вертикальной протяженности: низкие или приземные (прослеживаются только в пределах слоя трения; такие фронты называют еще вторичными); высокие (проявляются во всей толще тропосферы) и верхние (обнаруживаются только на высотах). Различают также фронты тропосферные и стратосферные.

Но на картах погоды анализируются и выделяются только тропосферные фронты, поэтому дальше мы будем рассматривать только их.

Деление фронтов на три главных в каждом полушарии — самая общая их характеристика. Деление на все остальные виды позволяет дать дополнительную, более детальную характеристику их отдельных участков, которая существенна с точки зрения оценки условий погоды и условий полета в каждом конкретном районе или на каждом конкретном маршруте, где ощущается влияние фронтов.

Рассмотрим виды фронтов, отмечаемых на картах погоды.

**Теплый фронт.** Приближение теплого фронта можно заметить по появлению на небе перистых, затем перисто-слоистых облаков, которые, постепенно уплотняясь, незаметно переходят в тонкие высокослоистые облака, а спустя несколько часов — в плотные непросвечивающиеся высоко-слоистые облака и, наконец, в слоисто-дождевые, из которых начинают выпадать осадки (дождь или снег в зависимости от времени года). По мере перехода от перистых облаков к слоисто-дождевым высота НГО все понижается, пока в осадках не появятся совсем низкие стелющиеся над самой поверхностью земли или даже касающиеся ее разорвано-слоистые или разорвано-дождевые облака. Вся облачность теплого фронта, за исключением последних, самых низких, рваных облаков находится в теплой воздушной массе над поверхностью фронта. Основу фронтальных облаков теплого фронта составляет система облаков высоко-слоистые — слоисто-дождевые, которая формируется при охлаждении поднимающегося вдоль наклонной поверхности фронта теплого воздуха. Восхождение теплой воздушной массы происходит над клином холодной воздушной массы, отступающей перед напорающей на нее и оттесняющей ее теплой массой.

Таким образом, облака теплого фронта в основном слоистообразные. Они занимают обширное пространство впереди линии фронта шириной в несколько сот километров (иногда зимой ширина зоны облачности теплого фронта может достигать 700 км). Ширина зоны осадков в теплом фронте примерно на одну треть уже. Осадки обложного типа. Зимой при сильном ветре на теплом фронте могут возникать метели. В облаках, как правило, возможно обледенение и менее часто — не очень сильная болтанка. При пробивании ЛА облачности теплого фронта сверху вниз или снизу вверх возможно зарядание ЛА зарядом статического электричества или поражение его разрядом статического электричества. Мощность, или толщина, облачности на теплом фронте может быть от несколь-

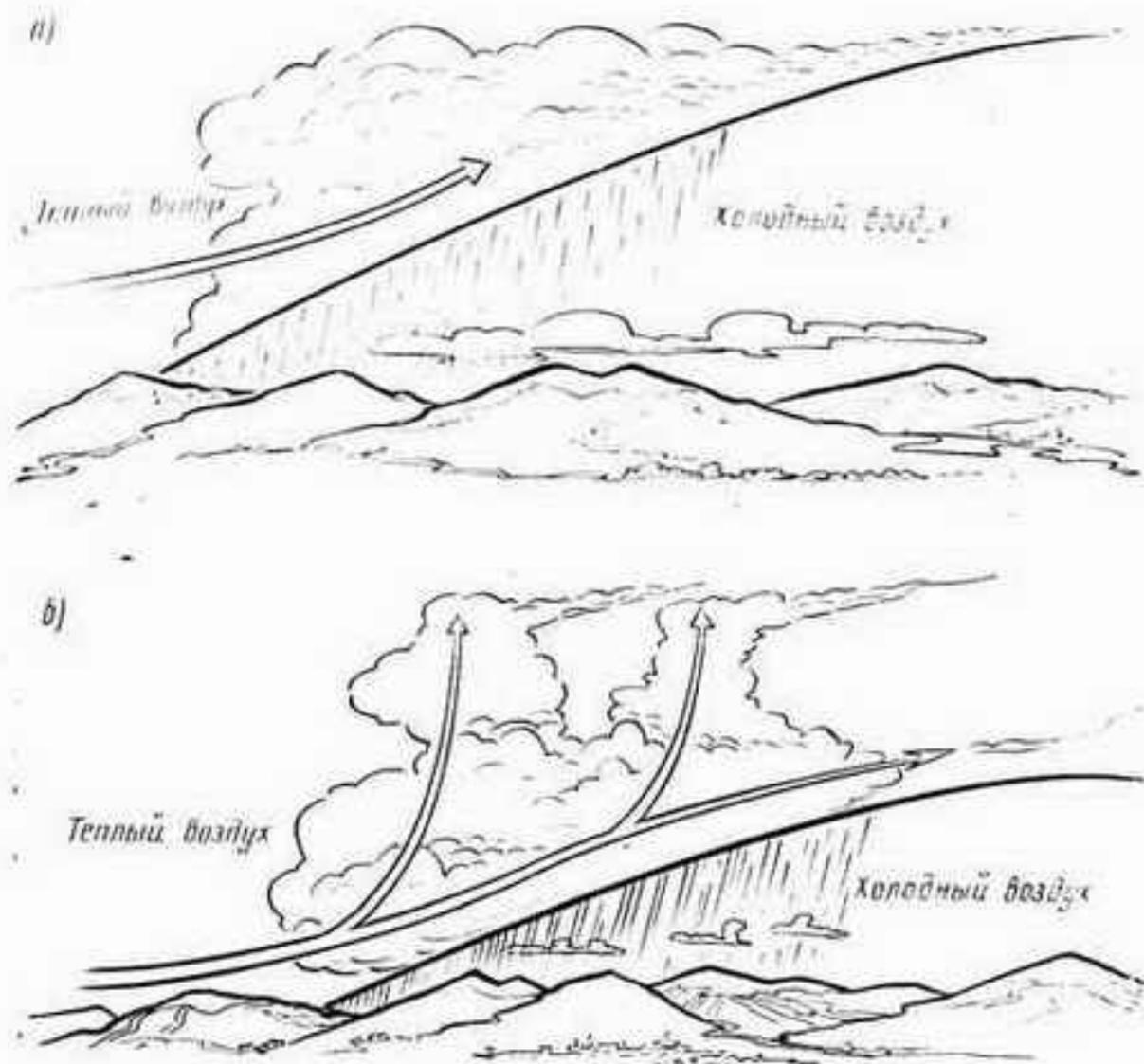


Рис. 6.5. Теплый фронт:  
 а — с устойчивой; б — с неустойчивой теплой воздушной массой

ких километров до более десяти километров в зависимости от активности фронта. Облачность может быть как сплошной до ее верхней границы, так и с безоблачными прослойками на разных уровнях. Грозы на теплом фронте над сушей бывают чаще всего ночью, когда больше проявляется неустойчивость теплой воздушной массы и в системе облаков высокослоистых — слоисто-дождевых развиваются отдельные кучево-дождевые облака. Если же теплая воздушная масса над фронтом имеет очень высокую температуру и отличается большим содержанием водяного пара (что типично для тропической воздушной массы), то неустойчивость на теплом фронте может проявляться над сушей и в дневное время, осадки могут приобретать характер ливневых и сопровождаться грозами. Над акваториями морей и океанов теплые фронты могут давать грозы днем и при других воздушных массах над поверхностью фронта. Различные варианты облачности теплого фронта показаны на рис. 6.5.

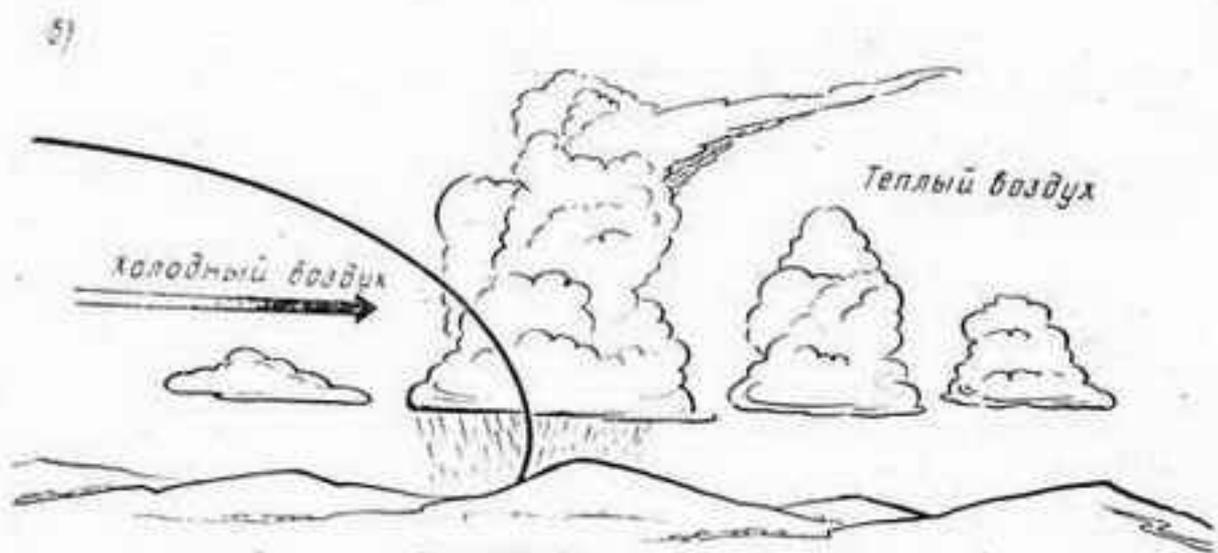
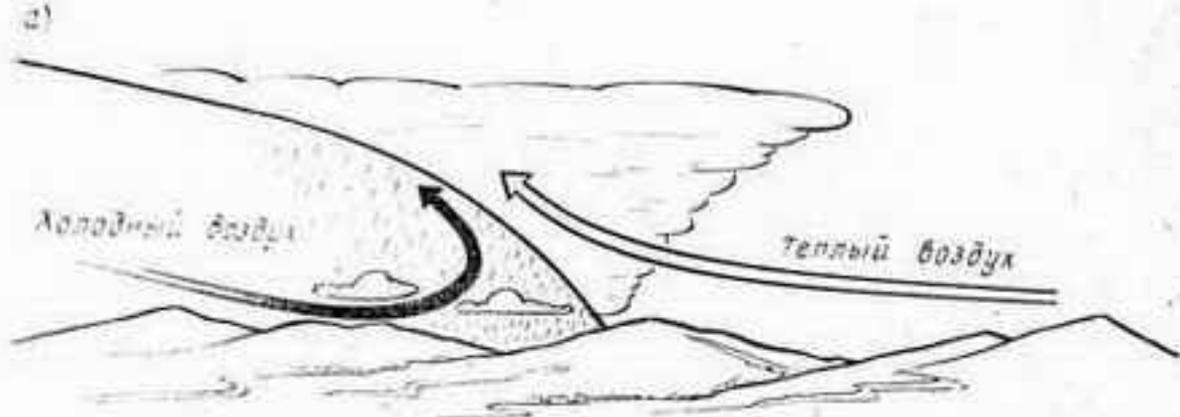


Рис. 6.6. Холодный фронт:  
 а — с устойчивой; б — с неустойчивой воздушной массой

Ширина зоны облачности и осадков теплого фронта, как и вертикальная мощность облаков, наибольшая в центральной части циклона, и она заметно уменьшается на периферии циклона и над антициклонами.

Теплые фронты по сравнению с холодными более пологи, тангенс угла наклона у них  $1/100$ — $1/150$ . Скорость перемещения у теплых фронтов также несколько меньше, чем у холодных, и редко превышает 40 км/ч.

У земли при приближении теплого фронта ветер обычно усиливается и несколько меняет направление, поворачивая влево; при прохождении фронта резко поворачивает вправо и усиливается с высотой.

#### Холодный фронт.

Общая характеристика и разновидности холодных фронтов (рис. 6.6). В отличие от теплого, приближение холодного фронта нельзя заметить с большой заблаговременностью по натеканию характерной облачности. Это происходит по-

тому, что облака холодного фронта в основном находятся за линией фронта и почти все они проходят после прохождения фронта, когда у поверхности земли уже произошла смена воздушных масс — теплой на холодную. Только у части быстро движущихся холодных фронтов есть облака — предвестники приближения фронта. Чаще всего это облака среднего яруса высококучевые линзообразные или чечевичеобразные. Они упреждают подход зоны осадков и линии фронта у поверхности земли на 1—2 ч. Ширина зоны облачности и осадков холодных фронтов обычно в 2—3 раза уже, чем теплых фронтов. Осадки, преимущественно ливневые, сопровождаются резким кратковременным ухудшением видимости и шквалистым порывистым ветром. Холодные фронты над сушей днем активнее, чем ночью, а над морем наоборот. Для холодных фронтов более характерна кучевообразная облачность и лишь для одной из трех разновидностей холодных фронтов типична та же система высокослоистых — слоисто-дождевых облаков, что и для теплого фронта.

Различают холодные фронты первого и второго рода, а также вторичные холодные фронты.

**Холодный фронт первого рода.** По формам и строению облачной системы это как бы тот же теплый фронт, но со смещением в противоположную сторону: сперва наблюдается самая низкая облачность (слоисто-дождевая и разорванно-дождевая), затем по мере удаления от линии фронта высота НГО возрастает, появляется высокослоистая облачность, а в конце на небе могут показаться облака верхнего яруса. Осадки очень сильные непосредственно за линией фронта по мере удаления фронта ослабевают и прекращаются. Ширина зоны облаков и осадков меньше, чем на теплом фронте, и редко превышает для облаков 300, а для осадков 200 км. Такая картина типична для холодного фронта первого рода в холодное время года (рис. 6.7, а). В летнюю пору в дневные часы наряду со слоисто-дождевыми облаками на холодных фронтах первого рода развиваются кучево-дождевые облака, дающие ливни и грозы (рис. 6.7, б).

Скорость перемещения холодных фронтов первого рода несколько больше, чем теплых фронтов, и чаще всего составляет 30—40 км/ч, но на периферии циклона она может заметно уменьшаться, особенно когда линия фронта оказывается расположенной параллельно изобарам на приземной карте погоды. В этом случае на таких участках холодный фронт превращается в малоподвижный или стационарный.

В облаках холодного фронта первого рода, как правило, возможно обледенение ЛА в большей степени, чем на теплых фронтах. Здесь велика опасность сильной турбулентности и болтанки. Днем в теплое время года наряду с грозами реальна опасность поражения ЛА градом не только в облаках, но и под ними. Верхняя граница облаков на таких фронтах зимой может быть сравнительно невелика: 4—5 км, редко более 6 км. Летом же она бывает и выше 10 км. Ветер у земли с приближением фронта усиливается. В момент про-

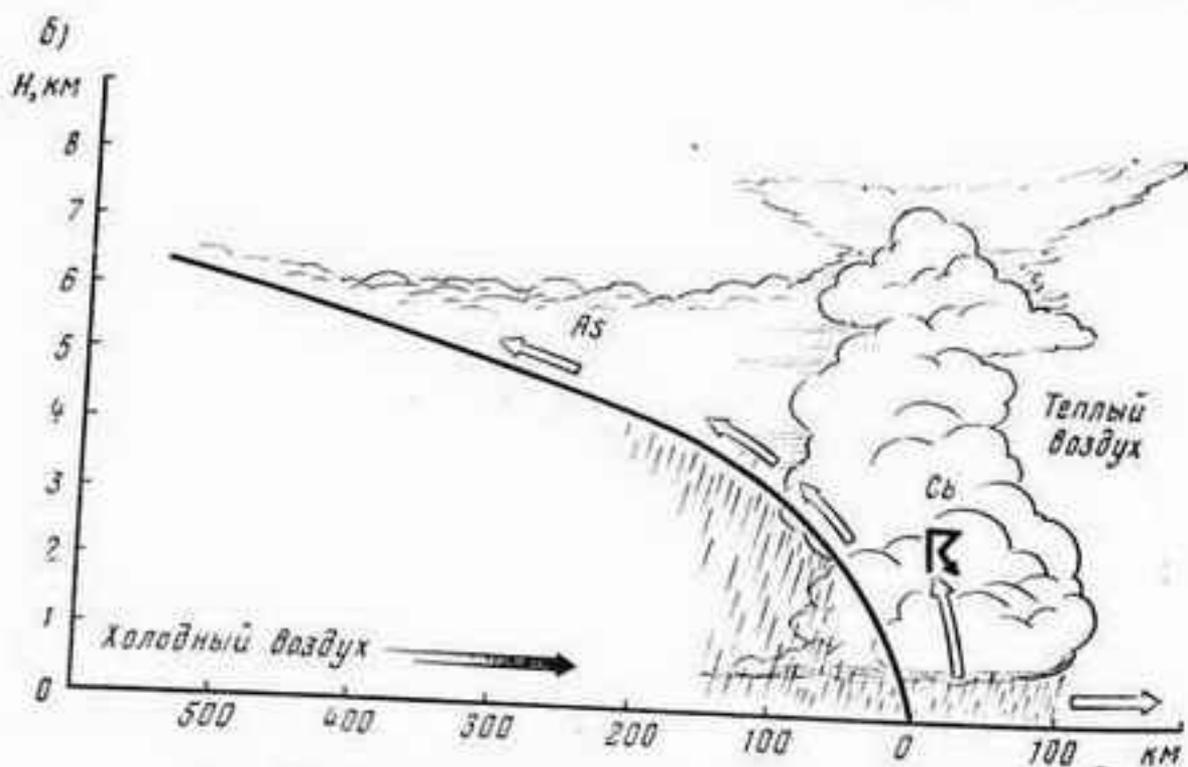
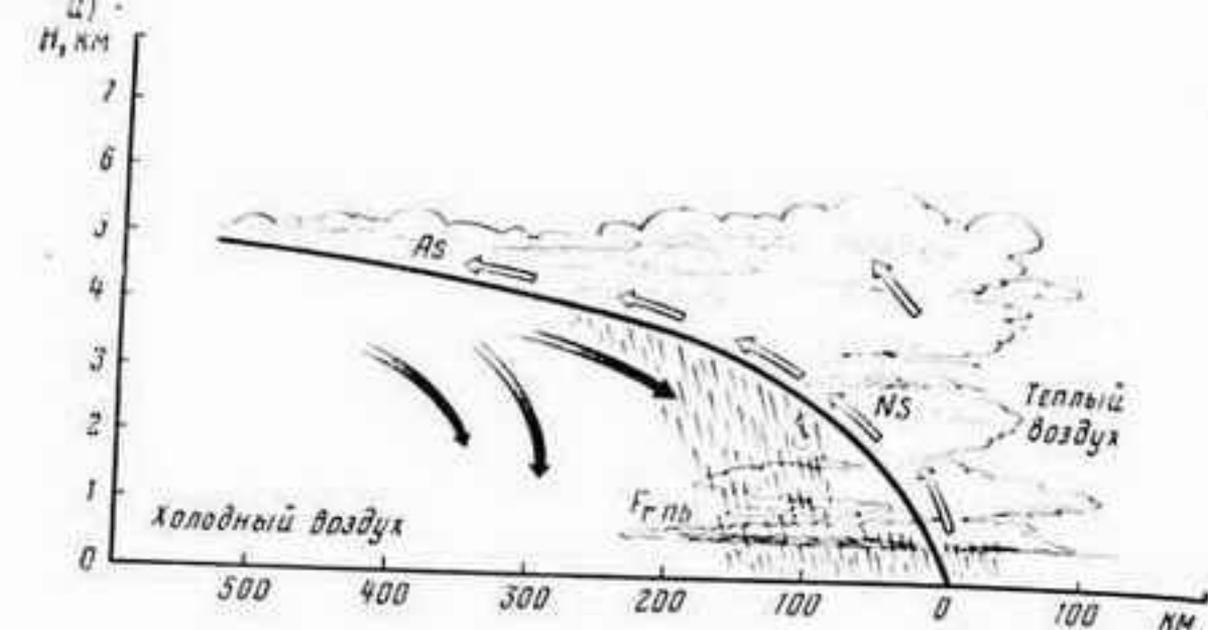


Рис. 6.7. Облачность холодного фронта первого рода:  
а — зима; б — лето

хождения он обычно сильный, порывистый и может сохраняться таким многие часы в тылу за фронтом после вторжения холодной воздушной массы. На высоте ветер за холодным фронтом усиливается, испытывая левое вращение.

Холодный фронт второго рода — это быстро смещающийся фронт, скорость его движения 50—60 км/ч (иногда более). Зона облачности и осадков на нем относительно узкая — часто всего несколько десятков километров. Обычно это очень мощные

кучево-дождевые облака с ливнями и грозами и другими опасными для полетов явлениями погоды.

Особенности погоды на холодном фронте второго рода связаны с тем, что у поверхности земли холодный воздух за фронтом движется значительно быстрее, чем теплый, но уже на высоте 1,5—2 км скорость движения теплого воздуха от фронта превышает скорость движения нижележащего клина холодного воздуха. В результате в узкой зоне в передней части фронта наблюдается очень мощный восходящий поток теплого воздуха, в котором и формируется конвективная облачность.

Непосредственно за этой узкой зоной на высоте 1,5—2 км вертикальное движение воздуха происходит в противоположном направлении — сверху вниз, что приводит к размыванию облаков и появлению прояснений.

При быстром перемещении кучево-дождевых облаков в передней части фронта под облаками и нередко несколько впереди образуется шкваловый вал, поднимающий с поверхности земли облака пыли, создающий пыльные вихри, сильный порывистый ветер и общее турбулентное состояние воздуха, очень опасное для ЛА, оказавшегося в зоне влияния фронта. Холодные фронты второго рода особенно опасны летом в дневные послеполуденные и ранние вечерние часы. Ночью над сушей они менее активны, грозами не сопровождаются. Зимой они менее опасны, чем летом, но могут давать ливневые кратковременные снегопады, кратковременные метели и снежные заряды с резким непродолжительным ухудшением видимости.

Для холодных фронтов второго рода характерны зоны прояснений, возникающих почти сразу же вслед за прекращением осадков после прохождения фронта. Через несколько часов в тылу за фронтом в холодной неустойчивой воздушной массе начинается развитие внутримассовой кучевой облачности. Типичная схема облачности данного фронта приведена на рис. 6.8.

Вторичный холодный фронт — раздел между различными порциями одной и той же холодной воздушной массы. Неравномерность трансформации вторгающегося холодного воздуха приводит к неоднородности отдельных его порций, что в сочетании со сходимостью воздушных потоков, возникающей в ложбине циклона в тыловой его части, может привести к формированию узкой зоны облаков и осадков в нижней тропосфере до высоты 2—3 км, которую называют вторичным фронтом. Зимой на вторичных фронтах наблюдаются очаги ливневых снегопадов (снежных зарядов), опасных в силу хотя и кратковременного, но очень резкого и значительного ухудшения видимости, возникающего внезапно. Летом на таких фронтах могут, кроме ливневых дождей, наблюдаться и грозы при сравнительно небольшой мощности отдельных кучево-дождевых облаков, вершины которых редко выходят за пределы средней тропосферы. Ширина зоны облачности вторичного фронта всего несколько десятков километров, а зоны осадков — обычно около 10 км.

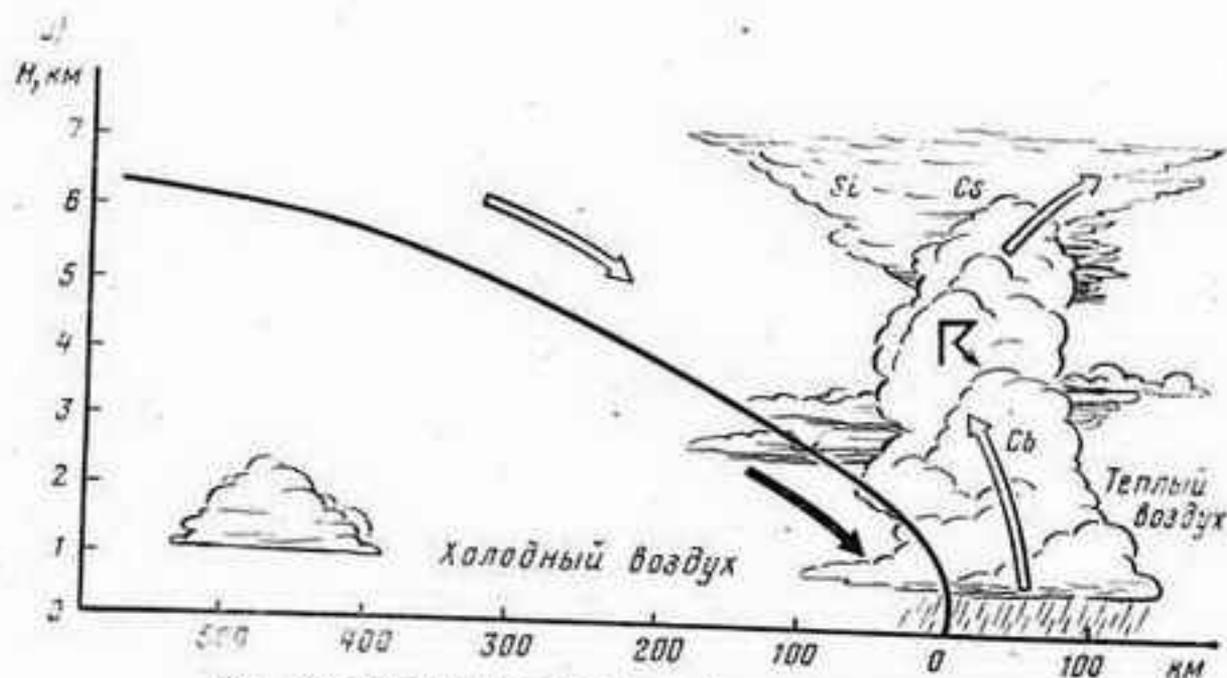
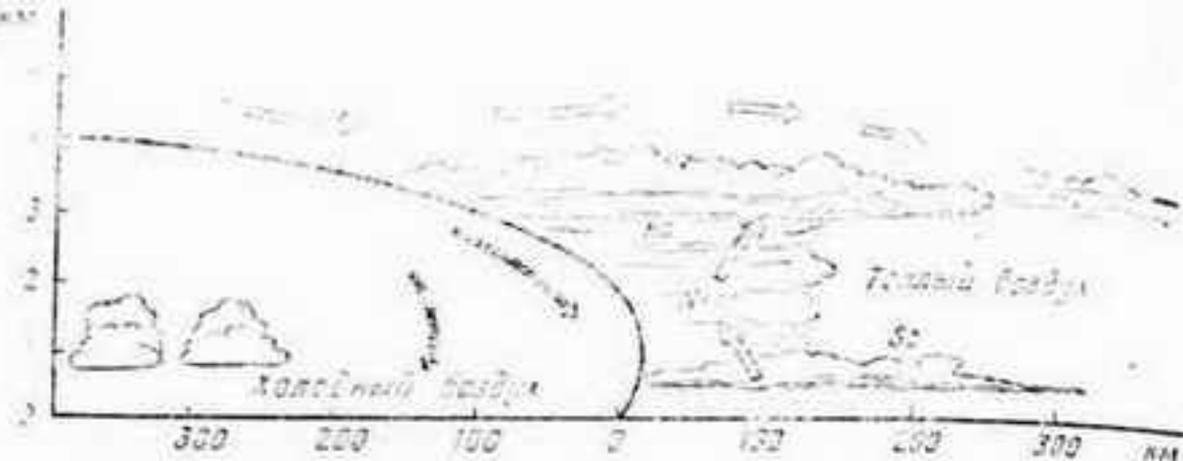


Рис. 6.8. Облачность холодного фронта второго рода:  
а — зима; б — лето

Кроме ливней и гроз, вторичные фронты опасны из-за сильной турбулентности, возникающей вблизи фронтальных облаков, а также из-за шквалистых ветров в приземном слое под облаками.

**Фронты окклюзии** — сложные атмосферные фронты, возникающие в циклонах при процессах окклюдирования — вытеснения вверх и отсечения теплого воздуха. Эти процессы связаны с различной скоростью движения теплого и холодного фронтов в циклоне: холодный фронт, двигаясь быстрее теплого, настигает последний и, смыкаясь с ним, образует новый сложный фронт с облачной системой обоих фронтов в верхней своей части, где некоторое время сохраняются верхние участки как теплого, так и холодного фронтов. В нижней части возникшего нового фронта формируется фронт

такая облачность окклюзии, как раздел между двумя холодными воздушными массами, которые раньше находились в передней и тыловых частях циклона, а с момента окклюдирования (смыкания его основных фронтов) вошли в соприкосновение друг с другом. В зависимости от того, какая из двух воздушных масс (в передней или тыловой частях циклона) окажется относительно более теплой, фронт окклюзии будет теплым или холодным. Другими словами, фронт окклюзии сформируется по типу теплого фронта или по типу холодного фронта.

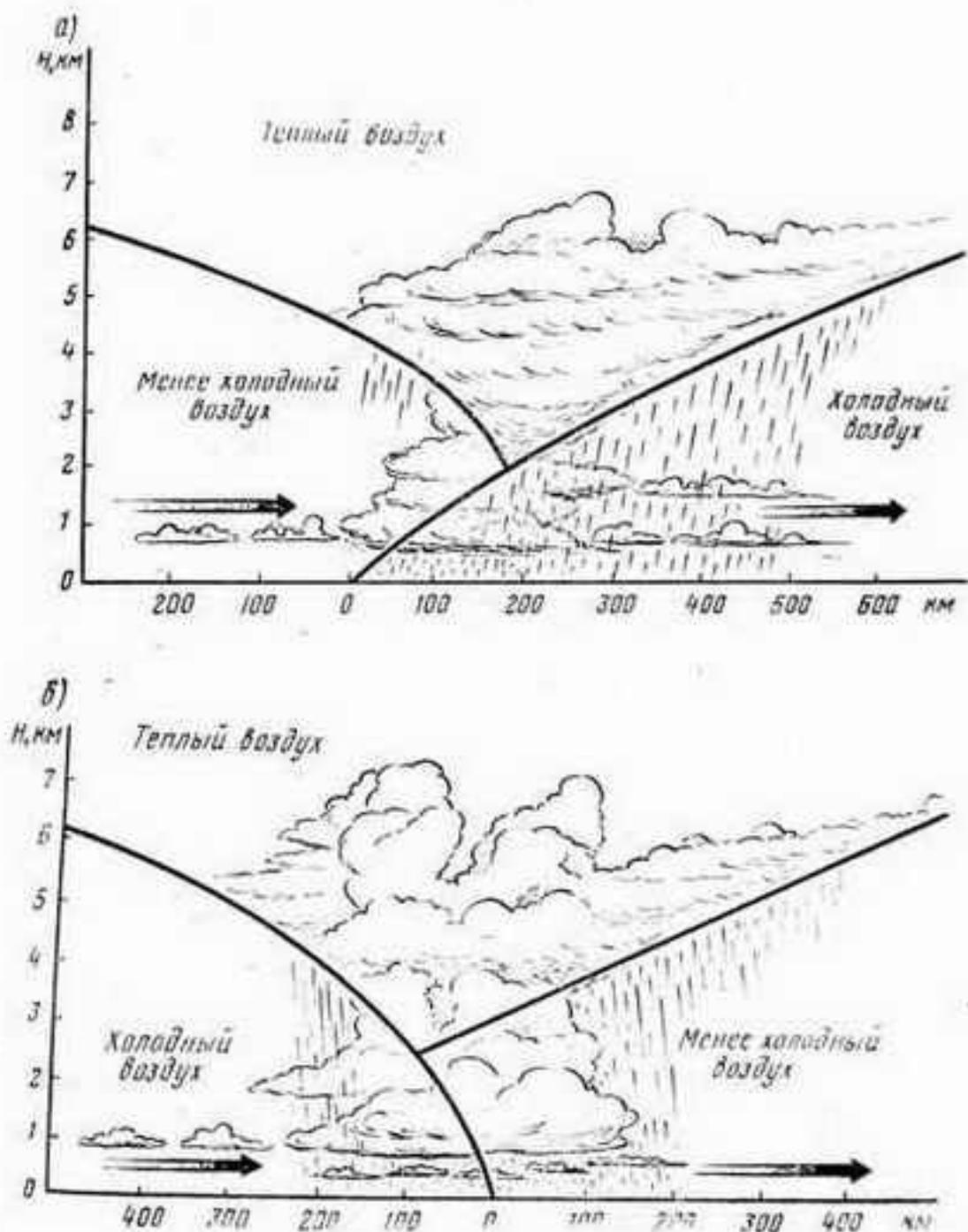


Рис. 6.9. Облачность фронта окклюзии:  
а — теплого; б — холодного

Характер погоды на фронтах окклюзии определяется взаимодействием всех трех воздушных масс, разделяемых различными участками сложной фронтальной поверхности окклюзии. Он в очень большой степени зависит от того, насколько сильно по своим свойствам отличаются эти воздушные массы одна от другой. Общие представления об условиях погоды, облачных системах и осадках, связанных с фронтами окклюзии, дают рис. 6.9 и 6.10.

В целом фронты окклюзии можно считать менее активными, чем основные атмосферные фронты — теплый и холодный. Окклюзии наблюдаются в заполняющихся циклонах, в которых постепенно разрушается облачность, ослабевают осадки. Но иногда фронты окклюзии способны приобретать на какое-то время характер основных фронтов и приносят с собой сложные условия погоды. В отличие от основных фронтов осадки на фронтах окклюзии могут выпадать по обе стороны от линии фронта окклюзии у поверхности земли. Облачные системы теплой и холодной окклюзий очень сложные, хотя чаще всего они более размыты, имеют больше просветов и меньшую вертикальную мощность, чем облака основных фронтов. Суточный ход погоды на фронтах окклюзий аналогичен суточному ходу погоды для основных фронтов, но часто бывает выражен менее четко.

**Стационарный фронт.** На периферии циклона или антициклона атмосферный фронт может оказаться расположенным параллельно изобарам. Он как бы застывает на некоторое время, замедляя продвижение вперед, а то и совсем останавливается. Иногда такой фронт может незначительно отступить назад. Такие фронты называются стационарными, они не испытывают заметного перемещения ни в сторону холодной, ни в сторону теплой воздушной массы. На стационарных фронтах могут возникнуть волны, которые перемещаются вдоль линии фронта и со временем затухают или, наоборот, продолжают развиваться.

**Высотные фронтальные зоны.** Рассмотренные атмосферные фронты наиболее четко выражены в нижней тропосфере, где их можно проследить по контрастам в значениях метеозлементов в воздушных массах, разделенных фронтами. В средней и верхней тропосфере различия между воздушными массами не всегда выражены так четко, как в слое трения. На высотах ширина переходной зоны между воздушными массами увеличивается. Здесь переход от одной воздушной массы к другой не такой резкий, он более плавный. На высотных картах погоды (картах барической топографии БТ) верхние участки часто представляют собой области со сгущением изогипс. Фронтальной облачности и других явлений, характерных для фронтов у поверхности земли, здесь может и не быть.

В верхней тропосфере сгущение изогипс и усиление ветра могут наблюдаться и без связи с атмосферными фронтами, характерными для нижней тропосферы. Такие участки атмосферы, где наличие сгущения изогипс, указывающее на повышенное значение горизонтальных градиентов геопотенциала (а, следовательно, температуры, давления) и скорости ветра, называют высотными фронт-

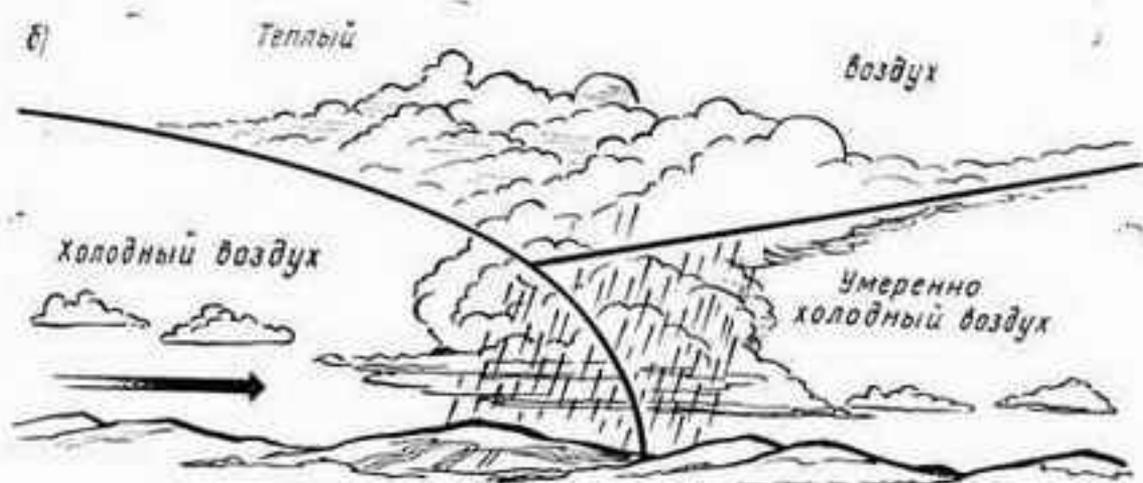
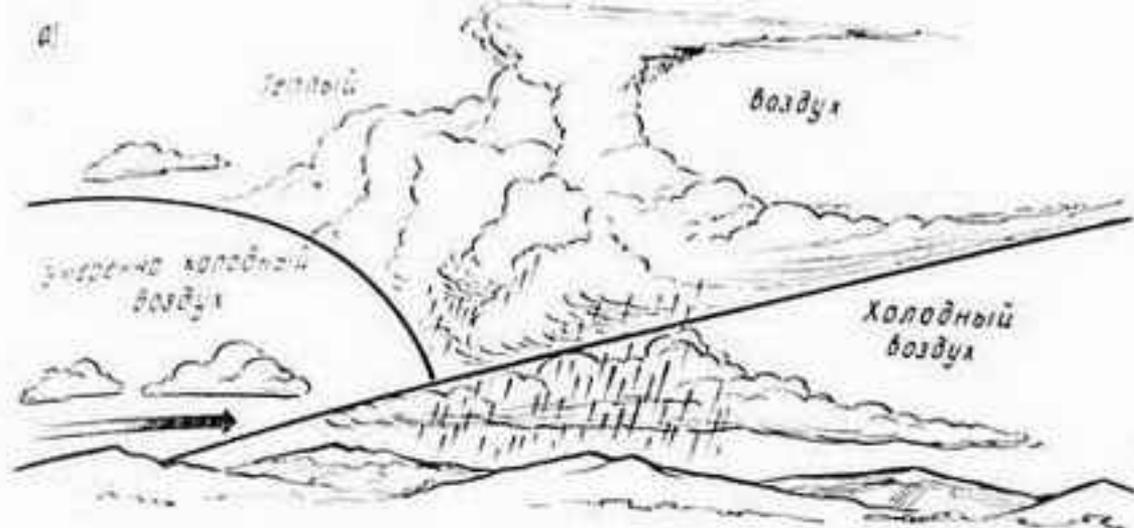


Рис. 6.10. Фронт окклюзии:

а — теплый с неустойчивой теплой воздушной массой; б — холодный с устойчивой воздушной массой

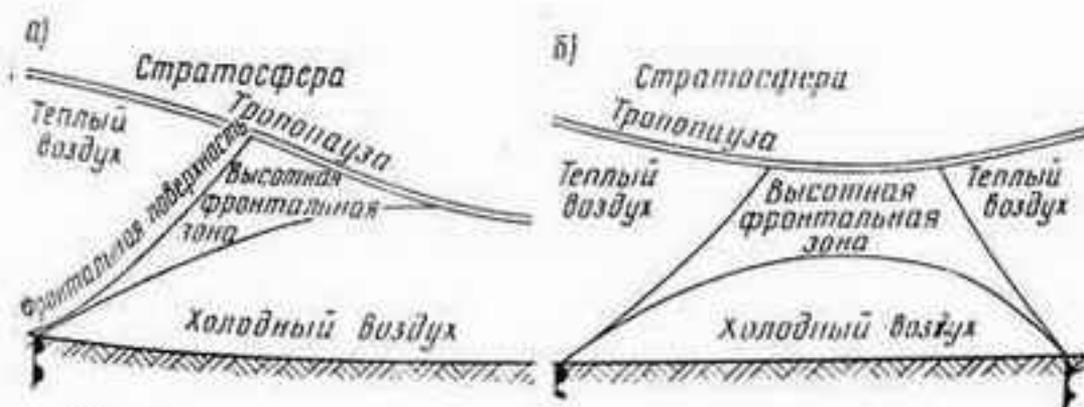


Рис. 6.11. Высотная фронтальная зона (вертикальный разрез):

а — одного атмосферного фронта; б — двух атмосферных фронтов

гальными зонами. Схема высотной фронтальной зоны и положение последней относительно обычных атмосферных фронтов и тропопаузы показаны на рис. 6.11.

С высотными фронтальными зонами связаны участки атмосферы с большими скоростями ветра, превышающими 100 км/ч — струйными течениями. Это своеобразные воздушные реки с очень большой протяженностью. Длина их может составлять тысячи и даже десятки тысяч километров, ширина — сотни километров, а толщина (вертикальная мощность) достигает нескольких сотен метров, а иногда и нескольких километров.

Скорость ветра в струйных течениях иногда достигает 700—800 км/ч. Очень часто в струйных течениях наблюдается турбулентность, вызывающая опасную для полетов болтанку самолетов. Особенностью турбулентности в струйных течениях высотных фронтальных зон является трудность ее обнаружения, так как зачастую отсутствуют какие-либо ее внешние признаки. Она может наблюдаться при ясной погоде.

#### 6.4. Циклоны и антициклоны

**Общие сведения.** С существованием атмосферных фронтов в умеренных и полярных широтах тесно связано возникновение и развитие различных барических систем. Большинство циклонов в умеренной и высокоширотной зонах обоих полушарий Земли возникает на атмосферных фронтах. Перемещение фронтов в циклонах зависит от воздушных течений в циклонах, а направление и скорость движения самого циклона зависят от расположения отдельных участков атмосферного фронта.

Антициклоны тоже являются результатом циклонической деятельности. В умеренных широтах они чаще всего возникают за холодными фронтами в тыловой части циклонов, когда происходит вторжение масс холодного воздуха. Сперва при этом формируется гребень высокого давления, при росте давления гребень усиливается, расширяется и превращается в антициклон.

И циклоны и антициклоны являются атмосферными вихрями большого масштаба с циркуляцией воздуха в циклоне против часовой стрелки, а в антициклонах — по часовой стрелке. Возникновение и развитие этих крупномасштабных вихрей в земной атмосфере составляют сложный процесс циклонической деятельности. С этим процессом связаны возникновение и активность атмосферных фронтов и все основные самые существенные изменения погоды.

подавляющее большинство циклонов и антициклонов во внетропических широтах возникает на малоподвижных или стационарных атмосферных фронтах. При перемещении воздушных масс по обе стороны от фронта образуются волны на фронте: одни участки фронта изгибаются так, что теплая воздушная масса вклинивается в сторону холодной, а на других, соседних участках фронта проис-

ходит прогиб фронта в противоположную сторону. В итоге на фронте возникают отдельные волны, пробегающие вдоль линии фронта. Возникшие таким образом в силу колебательных движений на фронте волны могут затухать, а при определенных условиях они сохраняются и начинают развиваться, формируя характерные изгибы линии фронта — участки теплого и холодного фронтов.

Развивающиеся, незатухающие волны на фронте называются неустойчивыми. В передней части такой потерявшей устойчивость волны у поверхности земли наблюдается падение давления, которое приводит в конечном счете к формированию области низкого давления. Волны на атмосферных фронтах становятся неустойчивыми и обычно развиваются в циклоны, если длина волны (расстояние между двумя впадинами на ней) превышает 1000 км (рис. 6.12). В тыловой части волны, где наблюдается заток холодного воздуха, давление у поверхности земли растет, здесь развивается гребень высокого давления, а затем — антициклон.

Затухающие, неразвивающиеся волны на атмосферных фронтах называют устойчивыми. У таких волн амплитуда не возрастает, а постепенно уменьшается. Продолжительность жизни устойчивой волны — до одних суток. Длина ее, как правило, меньше 1000 км.

Общие условия, необходимые для развития циклонической деятельности, это прежде всего наличие в атмосфере достаточных запасов потенциальной энергии и возможность перехода их в энергию кинетическую. На практике такие условия в атмосфере имеются в областях с большими энергетическими контрастами — под высотными фронтальными зонами, особенно под теми их участками, где наблюдается расходимость воздушных потоков, их нестационарность, а следовательно, и временное несоответствие полей ветра и давления, т. е. когда действительная скорость ветра во фронтальной зоне (обычно при наличии струйного течения) не соответствует значениям горизонтального градиента давления.

Механизм развития циклонической деятельности состоит из нескольких элементов или условий, благоприятствующих формированию циклонов.

К их числу относятся:

перенос с частицами воздуха, движущимися по инерции, некоторого количества движения — так называемого «вихря скорости»;

возникновение несоответствия полей ветра и давления и как следствие необходимость их взаимной адаптации (приспособленности одного поля к другому);

появление очагов роста и падения давления у земли и возникновение циркуляции, способствующей деформации линии фронта, образованию волны с возрастающей амплитудой и хорошо выраженными участками теплого и холодного фронтов;

усиление очагов роста и падения давления за счет адвекции тепла в нижних слоях атмосферы (адвекция холода вызывает рост, а адвекция тепла падение давления).

**Циклоны** — это большие вихри в атмосфере с низким давлением в центре. Большинство их развивается на атмосферных фронтах и является термически асимметричными — в их циркуляцию вовлекаются три разных воздушных массы. Однако могут существовать циклоны и без атмосферных фронтов. Это термически симметричные циклоны (термические депрессии), а также тропические циклоны (ураганы, тайфуны).

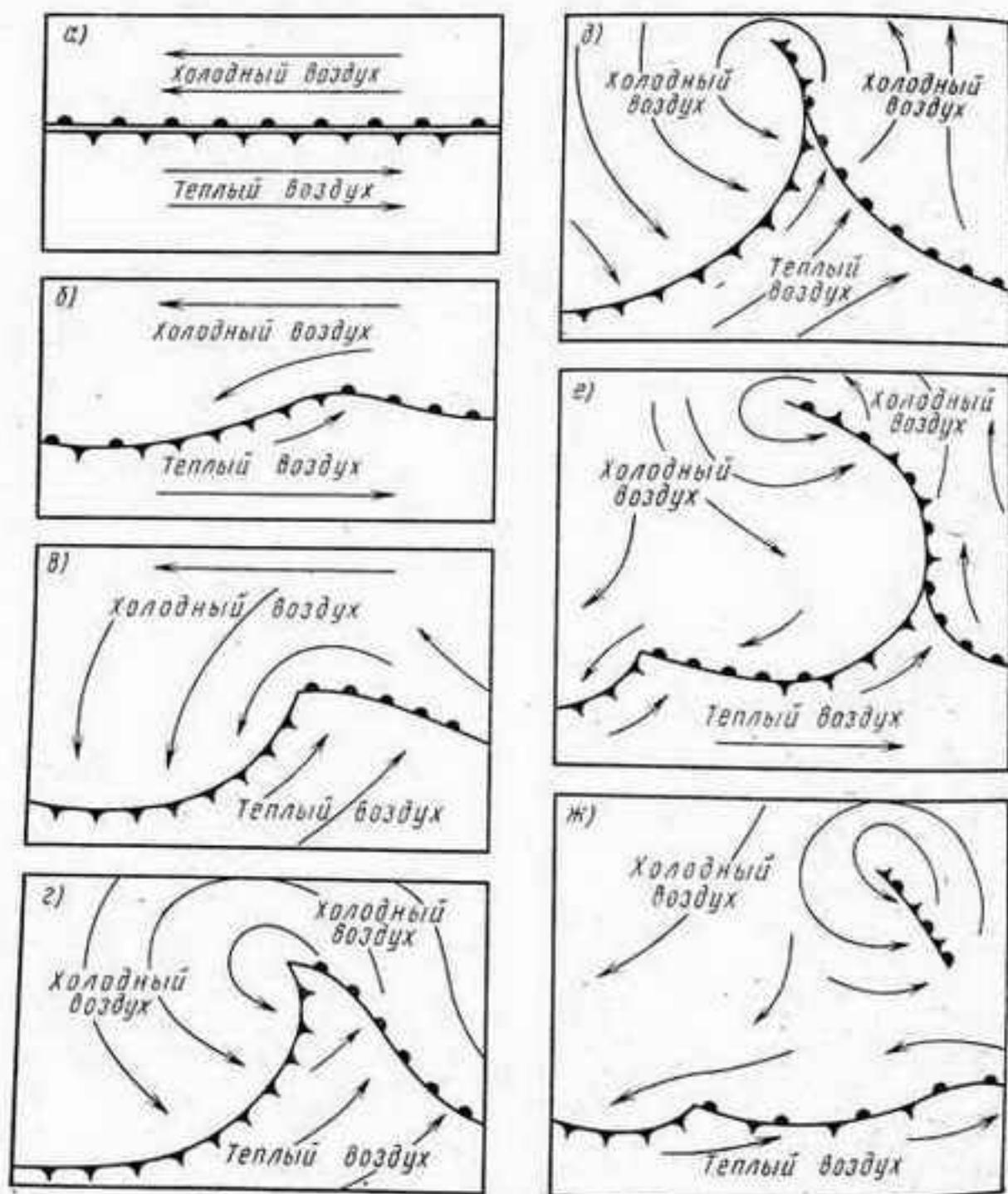


Рис. 6.12. Развитие и эволюция волны на фронте:

а — малоподвижный атмосферный фронт; б — формирование волны; в — образование молодого циклона с теплым сектором; г — максимальное развитие циклона; д, е — затухание волны и заполнение циклона; ж — заполнение циклона и возникновение новой волны

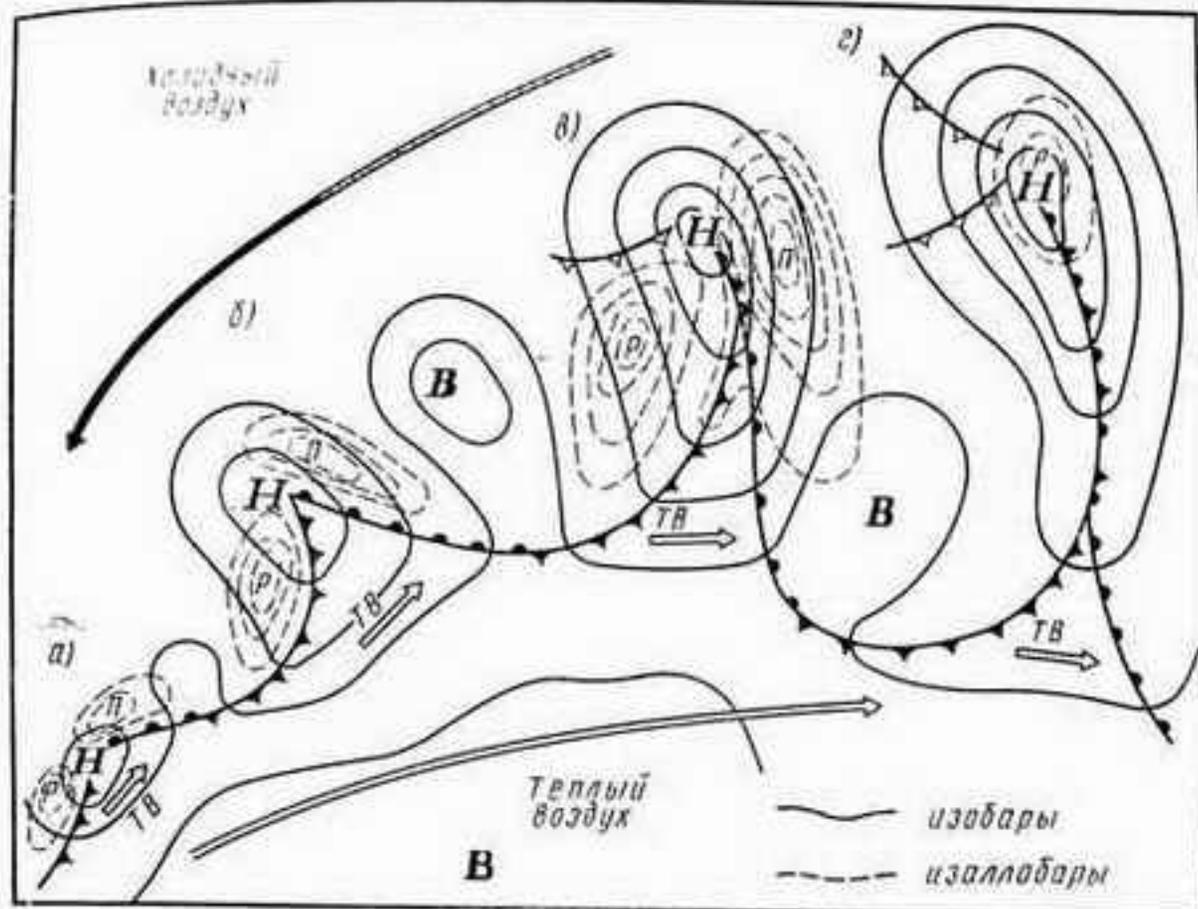


Рис. 6.13. Циклоническая серия:

а — волна; б — молодой циклон; в — максимально развитый циклон с вторичным холодным фронтом; г — заполняющийся (окклюдируемый) циклон с вторичными холодными фронтами; Р — рост давления; П — падение давления

Циклоны могут быть низкими и высокими барическими образованиями, развитыми только в нижней тропосфере (до высоты 3 км — низкие циклоны) или в нижней и средней тропосфере (до высоты 5 км — средние циклоны), или же во всей тропосфере (выше 5 км — высокие циклоны).

Не следует путать высокие циклоны с высотными циклонами. Последние представляют собой атмосферные циклонические вихри на высоте в верхней тропосфере и стратосфере, не прослеживающиеся у поверхности земли и в нижней тропосфере. Это сравнительно редкие случаи формирования циклонов не у земли, а на высоте.

В своем развитии на атмосферных фронтах внетропические циклоны могут проходить четыре стадии: волны (зарождение циклонов), молодого циклона (только что сформировавшегося циклона), максимального развития и заполнения (окклюдирования).

Стадия волны. На этой стадии (рис. 6.12, б и 6.13, а) фронт, лежащий в параллельных изобарах, испытывает искривление — прогиб в сторону холодной массы и в сторону теплой, возникает на фронте волна. У вершины ее перед теплым участком фронта давление быстро падает, а в тыловой части, за холодным участком фронта, растет. Изобары у вершины волны искривляются, образуя спер-

ва ложбину, а затем и одну замкнутую линию вблизи центра развивающегося только что создавшегося циклона, который в этом случае носит название волнового циклона или волны.

Облачная система волнового циклона вначале остается такой же, какой она была на этом участке фронта к моменту возникновения волны. Но по мере усиления циклонической циркуляции у вершины волны — все большего искривления линии фронта — формирование его теплого и холодного участков строение облачности меняется: в передней части волны происходят уплотнение и расширение по площади слоистообразной облачности, возникают слоисто-дождевая облачность и выпадающие из нее осадки; в тыловой части волны зона облаков, наоборот, несколько сужается, становится типичной для холодного участка фронта.

Циклон в стадии волны, как правило, — образование невысокое. Он прослеживается на высотных картах только самых нижних уровней. Обычно даже на изобарической поверхности 700 мбар (на высоте около 3 км) еще нет замкнутой циклонической циркуляции. Здесь бывает заметна лишь слабовыраженная высотная ложбина.

Волновой циклон перемещается в общем генеральном направлении вдоль линии фронта. Скорость перемещения циклона в стадии волны составляет примерно  $\frac{3}{4}$  скорости градиентного ветра на карте  $A_{T_{700}}$  над циклоном.

Продолжительность существования циклона в стадии волны — до одних суток.

Молодой циклон (рис. 6.12, в и 6.13, б). Дальнейшее развитие неустойчивой фронтальной волны приводит ко все большему искривлению линии фронта — проникновению языка теплой воздушной массы в сторону холодной массы, а клина холодного воздуха — в сторону теплой воздушной массы. Формируется теплый сектор циклона — широкий участок между теплым и холодным фронтами, занятый теплой воздушной массой. Давление в центральной и передней части циклона продолжает падать, при этом падение давления перед теплым фронтом оказывается более значительным, чем рост его в тылу циклона за холодным фронтом (отрицательные барические тенденции в передней части циклона по абсолютному значению превышают положительные барические тенденции в его тыловой части). Циклон углубляется. На карте приземной погоды появляются все новые и новые изобары. Одновременно идет развитие циклона вверх, он становится хорошо заметным на карте  $A_{T_{700}}$  (проникает в среднюю тропосферу). Ширина зоны облачности и осадков на фронтах в молодом циклоне быстро расширяется, особенно в передней части циклона. Циклон продолжает смещаться в общем направлении вдоль линии фронта у поверхности земли. Это направление соответствует направлению изобар в его теплом секторе и направлению ветра на высотах над циклоном (примерно на уровне  $A_{T_{500}}$  и  $A_{T_{400}}$ ). Скорость перемещения молодого циклона приблизительно равна  $\frac{2}{3}$  скорости воздушного потока над циклоном на высоте 5—6 км.

Продолжительность существования молодого циклона 1—2 сут.

Стадия максимального развития (рис. 6.12, *г* и 6.13, *в*). Давление в центре циклона на этой стадии развития достигает минимума: падение давления в передней части циклона становится равным его росту в тылу циклона, размеры пространства, занимаемого циклоном, сильно выросли и достигли максимума, как и ширина зоны облачности и осадков. Одновременно произошло сужение ширины теплого сектора в силу быстрого перемещения холодного фронта по сравнению с теплым. В центре циклона холодный участок фронта настиг его теплый участок, произошло смыкание фронтов, начался процесс формирования фронта окклюзии. На карте погоды место, где произошло смыкание фронтов у поверхности земли, называют точкой окклюзии. В дальнейшем по мере окклюдирования циклона точка окклюзии начнет смещаться от центра циклона к его периферии. От точки окклюзии в разные стороны расходятся фронты окклюзии, теплый и холодный.

Циклон в стадии максимального развития обычно прослеживается на картах АТ<sub>500</sub> и АТ<sub>400</sub>. Скорость его смещения несколько замедляется по сравнению с молодым циклоном. Направление смещения определяется воздушным потоком в верхней тропосфере. Продолжительность существования — 1—2 сут.

Заполняющийся (окклюдированный) циклон (рис. 6.12, *д—ж* и 6.13, *г*). Вытеснение теплого воздуха вверх при смыкании фронтов приводит к тому, что в окклюдированном циклоне все пространство у поверхности земли заполнено холодными воздушными массами. Наблюдается быстрый рост давления в тылу циклона, при этом положительные барические тенденции в тылу намного превосходят отрицательные в передней части циклона, где падение давления постепенно ослабевает. Циклон заполняется. Его облачные системы размываются, редеют, осадки прекращаются. Начинается общее медленное, постепенное улучшение погоды в заполняющемся циклоне.

Такой циклон малоподвижен. В начале заполнения окклюдированный циклон начинает замедлять скорость перемещения и уклоняться влево от первоначального направления движения, затем скорость его может упасть до нуля и дальнейшее заполнение может происходить практически на месте. Длительность заполнения окклюдированного циклона различна. Обычно этот процесс занимает несколько суток, если только в это время к заполняющемуся циклону не приблизится новый атмосферный фронт со свежими воздушными массами и циклон не начнет возрождаться снова, продлив этим самым свое существование на какой-то срок. Такие явления называются регенерацией циклонов.

Циклонические серии (см. рис. 6.13). Рассмотренные четыре стадии развития внетропических циклонов иногда можно выделить на картах погоды одновременно. Это бывает, когда на каком-либо фронте циклоны развиваются последовательно один за другим, образуя как бы целую серию. Первый член этой серии уже может заканчивать свое существование и, будучи окклюдирован-

ным, заполняться, а последний член только что возник как неустойчивая волна на фронте, ему предстоит еще развиваться и пройти остальные три стадии. Обычно каждый новый циклон такой серии оказывается несколько южнее своего предшественника, так как атмосферный фронт, на котором развивается серия циклонов, постепенно опускается к югу, оттесняемый массами холодного воздуха, вторгающимися в тыловые части каждого циклона. За последним членом такой циклонической серии происходит наиболее значительное вторжение холодных воздушных масс и часто в них формируется мощный заключительный антициклон, прерывающий на некоторое время циклоническую деятельность в этом географическом районе. Описанная последовательность в развитии циклонов сериями в природе наблюдается далеко не всегда. Чаще она случается над однородной подстилающей поверхностью, когда условия существования для каждого циклона одинаковые. Серии циклонов сравнительно часто можно наблюдать в северном полушарии над Атлантическим океаном, когда умеренный фронт вытягивается неровной линией с юго-запада на северо-восток почти от побережья Америки до островов Британии. Хорошо видны циклонические вихри такой серии на фотографиях, полученных из космоса МИСЗ, где каждый циклон и отдельные участки фронтов на нем выделяются характерными скоплениями облаков.

Однако над сушей, особенно над участками ее, имеющими горные хребты, развитие циклонов редко происходит в такой строгой последовательности. Здесь серии циклонов могут быть из двух или трех циклонов, а иногда циклоны развиваются, возникая на фронте изолированно, по одному. Некоторые циклоны не проходят всех четырех стадий развития, например, волновой циклон, возникнув, через сутки может заполниться.

Термические депрессии. Летом над сушей, а зимой над обширными теплыми водоемами могут возникать не связанные с атмосферными фронтами и фронтальными зонами области пониженного давления, называемые термическими депрессиями. Образование над сильно прогретой подстилающей поверхностью устойчивых восходящих движений воздуха является причиной формирования таких депрессий, типичных летом, например, для Средней Азии, а зимой — для акватории Черного моря. В термических депрессиях горизонтальные градиенты давления невелики, поэтому и ветры слабые, облака наблюдаются не фронтального типа, а часто и вообще отсутствуют. Весь характер погоды отличен от погоды в обычных циклонах.

Тропические циклоны. Над теплой поверхностью океанов с температурой воды около  $28^{\circ}\text{C}$  и выше в низких широтах обоих полушарий Земли, между широтами  $5\text{--}20^{\circ}$  ежегодно (главным образом в конце лета и осенью) образуется около ста тропических циклонов, называемых в разных районах земного шара по-разному (ураганы Карибского моря и Атлантики, тайфуны Тихого океана, циклоны Индийского океана и Бенгальского залива и т. п.). Природа тропических циклонов совсем иная, чем циклонов умеренных

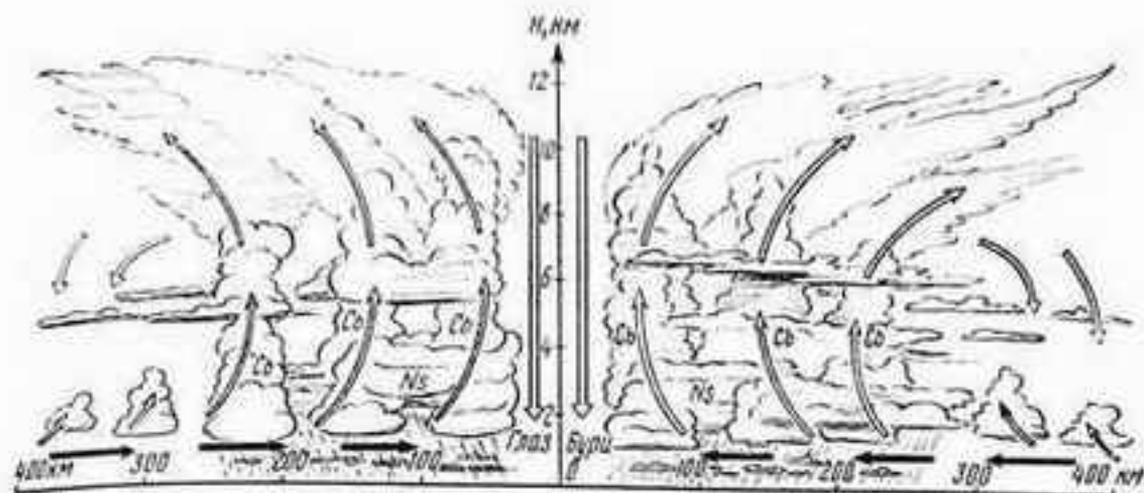


Рис. 6.14. Тропический циклон

и высоких широт. Источником энергии их служит скрытая теплота водяного пара, в огромных количествах выделяемая в кучево-дождевых облаках, стеной окружающих центр тропического циклона — «глаз бури» (рис. 6.14). Вертикальная мощность облаков в тропических циклонах около 18 км. Давление в центре тропического циклона чаще всего ниже 980 мбар, а может быть и на 100 мбар ниже (зарегистрирован случай с давлением в циклоне 885 мбар). При относительно небольших горизонтальных размерах этих циклонов градиенты давления в них оказываются очень значительными, в связи с чем и скорость ветра может достигнуть более 100 м/с, а следовательно, они вызывают сильное волнение моря, что в сочетании с ливнями катастрофической интенсивности и грозами делает тропические циклоны очень опасными не только для ЛА, но и для морских судов.

Характерной особенностью тропических циклонов является их перемещение сперва с востока на запад, а затем, после некоторого подъема в более высокие широты, изменение направления движения на северо-восток (рис. 6.15). Скорость движения этих циклонов невелика — около 20 км/ч. Поднимаясь в более высокие широты, тропические циклоны могут регенерировать — превращаться в обычные, но очень глубокие фронтальные циклоны умеренных широт, что и наблюдается время от времени у тихоокеанского побережья советского Дальнего Востока, где ощущается влияние на погоду тайфунов Филиппинских островов и Южно-Китайского моря.

Антициклоны — барические образования, возникающие при развитии циклонической деятельности как атмосферные вихри с циркуляцией, противоположной по направлению той, что наблюдается в циклонах, и с высоким атмосферным давлением в своих центральных частях. По аналогии с циклонами антициклоны могут быть низкими, средними и высокими барическими системами, а также высотными образованиями, не прослеживающимися совсем у поверхности земли. Они могут быть подвижными и стационарными,

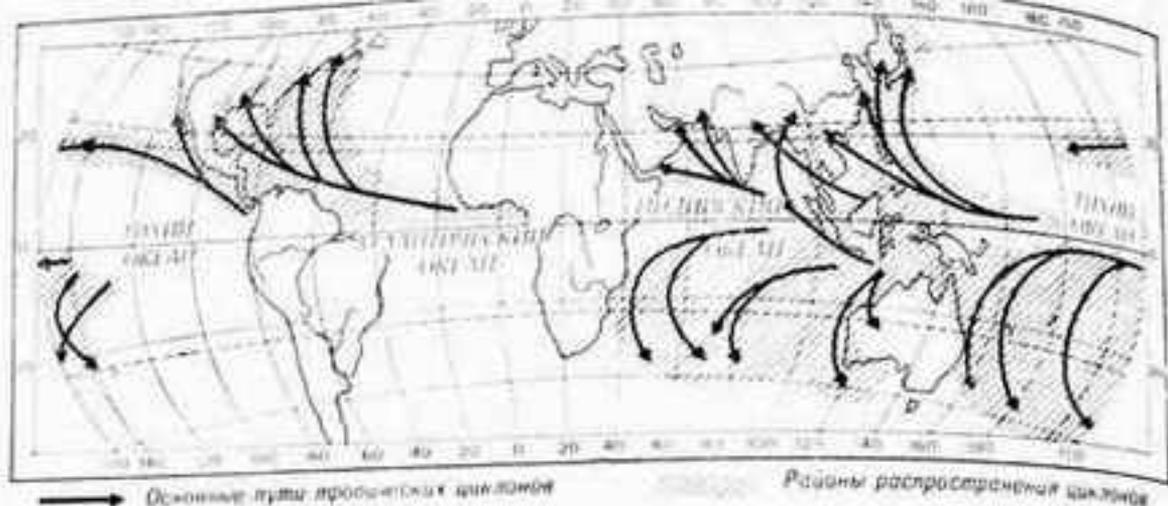


Рис. 6.15. Траектории движения тропических циклонов

сформированными в холодной или в относительно теплой воздушной массе.

В отличие от циклонов антициклоны не возникают из волны на атмосферном фронте и в своем развитии проходят не четыре, а три стадии: молодой антициклон, максимально развитый и разрушающийся.

Молодой антициклон — образование низкое, не прослеживающееся на уровне поверхности 700 мбар. Возникает он обычно в холодном воздухе из гребня высокого давления в тылу циклона и перемещается примерно с той же скоростью, что и находящийся впереди него циклон. Давление в нем быстро растет, погода преобладает малооблачная, без осадков и туманов.

Максимально развитый антициклон отличается относительной стабильностью давления в его центральной части. Он простирается вверх до высоты не менее 3—4 км, а иногда прослеживается и в верхней тропосфере. В отдельных случаях их высота может достигать более 12 км, когда они распространяются до пределов нижней стратосферы. Горизонтальные размеры такого антициклона значительны — протяженность его длинной оси бывает несколько тысяч километров. Скорость перемещения заметно убывает по сравнению с молодым антициклоном. В центральной части максимально развитого антициклона формируется приземная и высотная инверсии (радиационная инверсия и инверсия сжатия<sup>1</sup>). Могут появляться туманы и инверсионная облачность, хотя в целом преобладает малооблачная погода без осадков.

Разрушающийся антициклон характеризуется устойчивым повсеместным падением давления, развитием сперва на его периферии, а затем и в центральной области облачности, общим постепенным ухудшением погоды.

<sup>1</sup> Инверсия сжатия — повышение температуры воздуха с высотой, вызванное опусканием и динамическим нагреванием воздуха.

Продолжительность существования антициклонов в различных стадиях развития колеблется в широких пределах. Самый короткий срок существования молодого антициклона обычно несколько суток, самый длинный (у разрушающегося) может длиться неделями и в отдельных случаях даже месяцами. Очень устойчивы и длительно существуют зимние холодные континентальные антициклоны над Сибирью и Канадой, а также летом теплые субтропические антициклоны над океанами — Азорский в Атлантике и Гонолульский в Тихом океане.

### 6.5. Некоторые особенности погоды и условия полетов при различных синоптических процессах

Условия погоды могут сильно отличаться в зависимости от синоптической обстановки и характера развития синоптических процессов. Хотя все изменения погоды связаны с временем суток, сезоном года, однако наибольший практический интерес представляют неперiodические колебания в состоянии метеорологических элементов и явлений. Именно неперiodические изменения погоды бывают очень значительными, часто происходят резко, их труднее предвидеть, а поэтому они могут возникать неожиданно и серьезно сказываться на условиях полетов, затрудняя их выполнение, или быть причиной вынужденного их прекращения.

Для правильной оценки метеорологических условий полетов надо прежде всего уметь разбираться в причинах неперiodических изменений погоды, верно определять синоптические условия, под влиянием которых складывается тот или иной характер погоды. Прежде всего следует определить самый общий характер погоды, которая может быть двух типов: внутримассовой (развивающейся внутри одной какой-либо воздушной массы вне связи с атмосферными фронтами) и фронтальной (определяемой влиянием того или иного атмосферного фронта).

**Внутримассовая погода** менее изменчивая, относительно однородная и отличается хорошо выраженным суточным ходом. Она не всегда более благоприятная для выполнения полетов, чем фронтальная, но, как правило, она устойчивее фронтальной, легче поддается оценке. Конечно, многое зависит от того, какая именно воздушная масса занимает интересующий нас район: теплая или холодная, устойчивая или неустойчивая. В зависимости от сезона года и времени суток можно определить, какая облачность будет в этой воздушной массе — слоистообразная или кучевообразная, будет ли она уплотняться или растекаться ночью или же, наоборот, днем. В зависимости от температуры воздуха, его влажности, а следовательно, от высоты уровня конденсации, характерной для данной воздушной массы, можно определить высоту НГО и ее соответствие установленным минимумам полетов.

Рассмотрение данных радиозондирования атмосферы в интересующей нас воздушной массе, построение на бланке аэрологиче-

ской диаграммы кривых стратификации и состояния позволит оценить вертикальную структуру облачности, ее верхнюю границу, наличие или отсутствие облачных и безоблачных прослоек на разных высотах, а также возможность обледенения и болтанки в облаках, выпадения из облаков ливневых или обложных осадков, мороси, града, развития грозových явлений и т. д.

В зависимости от формы и высоты облаков, от характера и интенсивности осадков, температуры и влажности воздуха, степени его запыленности и других данных о состоянии воздушной массы можно определить условия видимости и соответствия их установленным минимумам для полетов.

По всему комплексу данных о воздушной массе, занимающей интересующий нас район, можно определить и возможность возникновения в ней различных метеорологических явлений, опасных для полетов. Но ее правильная оценка не может быть сделана исходя только из определения типа воздушной массы. Требуется рассмотреть конкретные данные о ее состоянии и самое главное — условия циркуляции этой массы: в ложбине циклона или в гребне антициклона; в седловине или в центре антициклона, в тылу; в теплом секторе или в передней части циклона; на подветренном или наветренном склоне горной возвышенности; на равнине, над лесом или над водной поверхностью и т. д. В каждом отдельном случае погода в данной воздушной массе может быть разной, детальную оценку ее может дать только метеоспециалист, но общий характер ее будет вполне определенным, стабильным, с известным для данной массы характерным суточным ходом. С течением времени под влиянием взаимодействия с подстилающей поверхностью по мере трансформации воздушной массы условия погоды в ней будут постепенно изменяться, но эти изменения будут вполне закономерными, последовательными и протекать они будут плавно, без резких скачков, пока не произойдет смена воздушных масс, т. е. пока не подойдет фронт, когда характер погоды резко изменится и погода перестанет быть внутримассовой, а станет фронтальной.

В целом условия полетов при внутримассовой погоде проще, чем при фронтальной. Наиболее простыми они обычно бывают в теплое время года в антициклонах и в гребнях антициклонов, где нет условий для развития конвективной облачности и всех явлений, с нею связанных. Но зимой в центральной части антициклонов и на их гребнях при длительных прояснениях метеорологические условия полетов могут становиться неблагоприятными из-за возникновения радиационных туманов, дымок и низкой слоистой облачности приподнятых туманов. Внутримассовая погода в ложбинах циклонов и в седловинах менее благоприятна для полетов, чем в областях высокого давления: здесь в летнее время больше облаков, особенно конвективных форм, а следовательно, чаще наблюдаются дожди, случаи выпадения града и грозových явлений. В зимний период здесь также больше облаков, но преимущественно слоистообразной формы. Нередки хотя и слабые, но ухудшающие видимость осадки. В ложбинах могут быть при ветре и метели, а в седловинах — ту-

маны или низкая слоистая облачность приподнятого тумана. Указанные ухудшения метеорологических условий полетов для внутримассовой погоды характерны главным образом для приземных слоев воздуха при визуальных полетах на самых нижних эшелонах. В средней тропосфере при полетах по маршрутам метеорологические условия значительно лучше, особенно для ситуаций, когда нет развития конвективной облачности. При внутримассовой погоде опасные для полетов явления погоды, как правило, носят локальный характер. Распространение их по площади ограничено. Такие явления возникают отдельными очагами, и их легче обходить.

Внутримассовая погода в разных барических системах в разной степени однородна. Так, она наиболее однородная, ровная в теплых секторах циклонов, формируемых теплой воздушной массой. Здесь различия в характере погоды наблюдаются главным образом по мере удаления от центра циклона к его периферии: чем дальше от центра циклона, тем меньше вероятность облачности и тем тоньше слой облаков, а также лучше видимость. В ложбинах циклонов вне фронтов характер внутримассовой погоды резко различен для тыловой части ложбины, где преобладает неустойчивая погода с кратковременными осадками ливневого типа, и для передней части ложбины, которая может оказаться или теплым сектором или периферийной (опять-таки передней) частью циклона с относительной устойчивой погодой без мощных облаков и существенных осадков. В антициклонах заметна разница в условиях внутримассовой погоды на периферии и в центре барической системы. На периферии антициклона чаще наблюдается облачность, хотя, как правило, и небольшой мощности. Кроме того, здесь нередки сильные ветры, способные зимой вызывать низовые метели, а летом — пыльные бури (при сухой и рыхлой поверхности почвы).

Различны также метеорологические условия в передней и в тыловой частях антициклона: в передней части погода более неустойчива и характерна для вторгающейся относительно холодной воздушной массы, а в тыловой — погода более устойчивая, теплая, спокойная, иногда с облаками только верхнего и среднего ярусов.

Помимо вида барических систем, в которых может быть тот или иной характер внутримассовой погоды, последняя зависит от стадии развития барической системы и интенсивности процесса трансформации воздушной массы. В барических системах, находящихся в начальной стадии развития, погода менее устойчива и более значительно изменяется на протяжении суток: заметнее бывает суточный ход внутримассовой погоды; в барических системах, находящихся в стадии максимального развития и в начале заключительных этапов развития, внутримассовая погода более стабильная, в ней меньше заметны изменения, связанные с суточным ходом. Чем интенсивнее развивается процесс трансформации воздушной массы, тем большие изменения в ее погоде возможны в связи с приобретением ею новых свойств. При завершении процесса трансформации интенсивность этого процесса уменьшается, погода становится стабильной. Одним из показателей стадии развития барических систем

и интенсивности процесса трансформации воздушной массы является значение барических тенденций: при стабильном состоянии атмосферного давления (при величинах трехчасовых барических тенденций, близких к нулю и по знаку разных) погода устойчивая, изменяется малосущественно. При значительных барических тенденциях (превышающих 3 мбар за 3 ч) в погоде более вероятны изменения: при положительных тенденциях — в сторону ее улучшения, а при отрицательных — в сторону ухудшения<sup>1</sup>.

**Фронтальная погода** отличается от внутримассовой большей изменчивостью во времени, большим разнообразием и в целом более сложными метеорологическими условиями полетов. Самые сложные метеорологические условия наблюдаются на активных атмосферных фронтах, которые возможны в ложбинах циклонов как молодых развивающихся, так и достигших стадии максимального развития и начинающих заполняться. Для всех случаев фронтальной погоды характерно наличие облачности атмосферных фронтов, основу которых в подавляющем большинстве случаев составляет система облаков высокослоистых и слоисто-дождевых, с которой может быть связана еще и кучево-дождевая облачность холодных фронтов (особенно летом и в дневные часы) и в меньшей степени теплых фронтов (преимущественно в ночные часы и в теплое время года), а также перисто-слоистые облака верхнего яруса и разорванно-слоистые или разорванно-дождевые облака в зоне осадков под основной массой фронтальной облачности. Указанные формы облачности располагаются и перемещаются в строго определенных системах и последовательности в соответствии с типом фронта, его активностью, временем года и суток. Ширина зоны фронтальной облачности, как и зоны ее осадков, а следовательно, продолжительность связанного с фронтом ненастья также целиком определяются перечисленными факторами и, кроме того, еще и скоростью перемещения фронта.

На периферии антициклона может быть погода фронтального типа, но, как правило, в силу слабой активности фронта в условиях антициклонной циркуляции, метеорологические условия в этом случае будут значительно проще, чем в циклоне: облака менее плотные, меньшей вертикальной мощности и горизонтальной протяженности, осадки слабые или могут совсем отсутствовать и т. д.

Ухудшения погоды, вызванные влиянием фронтов, обычно длительны, иногда они длятся по нескольку суток, а то и неделю. Фронтальная погода может затруднять полеты или быть причиной их прекращения в силу неблагоприятных условий полетов не только на аэродромах взлета и посадки, но и на маршруте, как при визуальных полетах, так и при полетах на эшелонах. Помимо ограни-

<sup>1</sup> Рассмотренные тенденции изменений внутримассовой погоды и ее сохранения должны способствовать облегчению понимания метеорологических условий полетов, правильности их оценки, но не могут служить основой для решения задач прогноза погоды, решаемых метеоспециалистами на основе особых методик и расчетов, а также целого комплекса более сложных местных признаков изменений погоды.

ченых условий видимости и высоты ПГО, на атмосферных фронтах могут наблюдаться различные метеорологические явления, опасные для полетов.

Значительная вертикальная и горизонтальная протяженность зон фронтальной погоды, которая нередко оказывается ниже установленного для экипажей аэродрома или данного ЛА минимума, затрудняет обход таких зон стороной или вёрхом. На каждом конкретном фронте могут наблюдаться свои метеорологические условия полета, но в целом эти условия типичны для определенных фронтов и распределены в пространстве в определенной системе, перемещаются они с определенной скоростью, присущей данному фронту. Это облегчает возможность выбора времени и участков маршрутов, иногда условия погоды благоприятны полетам, а иногда, наоборот, неблагоприятны для них.

При оценке условий полетов в зонах фронтов следует учитывать перемещение фронтов, эволюцию самих фронтов, суточный ход погоды на них, а также характер подстилающей поверхности, особенно в случае, когда фронты перемещаются с моря на сушу или наоборот. Одни фронты обостряются и становятся активнее днем (холодные над сушей и теплые над морем), а другие, наоборот, отличаются более сложными условиями погоды ночью (теплые над сушей и холодные над морем). Над горными районами изменяется скорость перемещения фронтов и характер связанной с фронтами погоды. В горах на атмосферных фронтах могут возникать свои местные особенности в погоде, которых не существовало на равнинной местности. Значительно различны условия фронтальной погоды на наветренной и подветренной стороне горного хребта, через который проходит атмосферный фронт. На наветренной стороне условия погоды обычно на фронте устойчиво плохие, с интенсивным выпадением осадков и сплошной облачностью. На подветренной они могут быть значительно лучше, особенно у подошвы хребта при теплых фронтах. Вблизи вершины хребта на его подветренной стороне и при холодных фронтах условия погоды часто сохраняются сложными, так как в этом случае здесь могут возникать опасные для полетов явления погоды, в том числе вызывающие болтанку самолетов.

Детальное определение действительно наблюдавшихся на фронтах условий погоды и оценка возможных их изменений делаются метеоспециалистами.

## 6.6. Аэросиноптический анализ

**Задачи и средства анализа.** Для принятия решения на вылет ЛА нужна оценка метеорологических условий, возможности выполнения полета и требований обеспечения его безопасности в метеорологическом отношении. Чтобы правильно сделать такую оценку необходимо проанализировать все имеющиеся данные о состоянии погоды, определить характер и направление развития атмосферных

процессов, вызывающих изменение метеорологических условий в период полета.

Таким образом, требуется разобратся не только в том, какие условия погоды наблюдаются в районе или на маршруте планируемого полета, но и определить, с чем связаны эти условия и как они могут в дальнейшем измениться — представить и будущее их состояние. Это можно сделать, произведя аэросиноптический анализ метеорологической обстановки. Такой анализ делается метеоспециалистами. С его результатами экипажи ЛА, руководящий летный и диспетчерский состав знакомятся, получая консультацию метеорологов, изучая аэросиноптические материалы и метеодокументацию, подготовленные ими.

Аэросиноптический анализ производится путем составления и обработки целого комплекса материалов — результатов инструментальных измерений и визуальных наблюдений за погодой в приземном слое и на высотах, в свободной атмосфере, данных аэрологических и синоптических наблюдений.

В первую очередь это карты фактической погоды (приземные и высотные), аэрологические диаграммы, вертикальные разрезы атмосферы, авиационные карты погоды (АКП) особых или опасных для полетов явлений погоды, максимальных ветров, тропопаузы, карты-схемы радиолокационных наблюдений, фотомонтаж спутниковой информации, карты облаков по наблюдениям спутников (карты нефанализа), сводки погоды аэродромов, данные бортовой погоды, прогностические карты — приземные, высотные, АКП и другие материалы, в том числе телеграммы штормовых оповещений и предупреждений, данные разведки погоды и т. д.

**Анализ приземных синоптических карт погоды.** Авиационные метеорологи (дежурные синоптики АМСГ и АМЦ), анализируя синоптические карты, расчерчивают (обрабатывают) их таким образом, чтобы легче было оценивать метеорологическую обстановку, не прибегая к рассматриванию данных каждой отдельной метеостанции, нанесенной на карту. Обработанная метеоспециалистом синоптическая карта легко читается и неметеоспециалистами. На ней выделены все самые существенные особенности погоды и видна их связь с атмосферными процессами, обуславливающими зафиксированное на карте состояние погоды и возможные ее изменения.

На синоптической карте выделяются цветными карандашами или только черным цветом стандартными условными обозначениями зоны обложных, ливневых и морозящих осадков, районы грозовой деятельности и развития кучево-дождевой облачности, районы с туманами, метелями, пыльными и песчаными бурями, смерчами, гололедом и другими опасными для полетов метеорологическими явлениями. Проводятся пунктирные линии значений барических тенденций (изаллобары) и отмечаются очаги роста и падения давления и их цифровые характеристики. Расчерчиваются сплошными линиями изобары и отмечаются центры циклонов и антициклонов. Проводятся атмосферные фронты.

Путем сопоставления анализируемой синоптической карты с другими, ранее составленными аналогичными картами и с последними, самыми свежими высотными картами погоды оценивается развитие атмосферных процессов, определяется характер эволюции барических систем и атмосферных фронтов, трансформации воздушных масс, изменения состояния метеорологических элементов и явлений погоды. Определяются направление и скорость перемещения различных синоптических объектов, обуславливающих те или иные условия погоды.

**Анализ высотных карт погоды** (карт БТ) производится в комплексе с приземными картами погоды. Они дают много дополнительной информации, облегчая решение задачи по оценке метеорологической обстановки, в особенности об условиях погоды на высотах (на эшелоне).

Анализ этих карт заключается не только в проведении изогипс, выделении и обозначении центров барических систем на высотах, но и в обнаружении участков турбулентного состояния атмосферы, струйных течений, высотных фронтальных зон, облачных и безоблачных прослоек, а также районов с возможным обледенением самолетов в облаках.

Зная положение центра барической системы у земли и на всех изобарических поверхностях (850, 700, 500, 300 мбар), нетрудно определить пространственное положение оси этой барической системы — направление, куда она наклонена, и угол ее наклона. Чем больше угол наклона к горизонту оси барической системы, тем старше эта система и больше развита вверх, а следовательно, тем скорее можно ждать ее заполнения (для циклонов) или разрушения (для антициклонов).

Направление, перпендикулярное к проекции оси барической системы на горизонтальную плоскость, соответствует направлению перемещения этой системы (при расположении области с более низкими температурами слева, а с более высокими — справа от направления движения).

Участки с турбулентностью воздуха на картах АТ обнаруживаются по конфигурации изогипс, а также по большим горизонтальным сдвигам ветра (более 3 м/с на 100 км) и резким изменениям направления ветра, которые обычно приходятся на районы с хорошо выраженной расходимостью воздушных потоков — дельты выхода высотных фронтальных зон.

Высотные фронтальные зоны соответствуют сгущению изогипс с большими скоростями ветра (участками со струйными течениями, где скорость ветра превышает 100 км/ч).

В гл. 5 говорилось о том, что по дефициту точки росы на картах АТ в значительной части случаев можно определить наличие или отсутствие облачности на данном уровне; кроме того, по дефициту точки росы можно определить возможность обледенения в облаках, которая существует при температуре наружного облачного воздуха ниже температуры насыщения над льдом, т. е. когда

$$t_{\text{обл. воздуха}} < t_{\text{насыщ. над льдом}} = -8 \Delta t_d.$$

Кроме карт АТ анализируются еще и карты ОТ, которые позволяют получить характеристику температурного режима нижней тропосферы и определить интенсивность и положение фронтальных разрезов по величине горизонтального градиента температуры. Проводя изогипсы на картах ОТ, метеорологи получают положение изотерм средней температуры соответствующих слоев воздуха. На картах ОТ можно также получить данные о термическом ветре, который направлен перпендикулярно к горизонтальному градиенту температуры и скорость которого пропорциональна значению этого градиента. Термический ветер характеризует изменение ветра с высотой под влиянием горизонтального распределения температуры.

**Анализ аэрологических диаграмм и вертикальных разрезов атмосферы.** Результаты радиозондирования атмосферы удобно анализировать при построении кривых стратификации и состояния на бланках аэрологической диаграммы. По взаимному расположению этих кривых определяются устойчивость стратификации воздушной массы, запасы энергии в атмосфере в районе зондирования, уровни конденсации и конвекции, оценивается возможность развития конвективной облачности, ее предполагаемая мощность и высота верхней границы, возможность выпадения ливневых осадков и развития гроз.

Такая оценка производится по размерам площади между кривыми стратификации и состояния, по мощности слоя неустойчиво стратифицированного воздуха и значениям дефицита точки росы на различных уровнях в атмосфере. Синоптики для каждого географического района располагают экспериментальным путем полученными количественными характеристиками значений метеозаэментов, определяющих те или иные условия погоды. Например, образование конвективной облачности в нижнем 800 м слое тропосферы происходит, если дефицит точки росы в этом слое не превышает  $2^{\circ}\text{C}$ ; конвективные облака в дневные часы дают ливневые осадки, если их вершины превышают в умеренных широтах уровень изотермы  $-10^{\circ}\text{C}$ . Конвективные грозы развиваются при достижении вершинами кучево-дождевых облаков уровня изотермы  $-23^{\circ}\text{C}$ , что примерно соответствует мощности слоя неустойчивой стратификации 400 мбар (4—5 км) или высоте верхней границы облаков, достигающей 7 км.

Анализ аэрологической диаграммы, составленной по данным утреннего зондирования атмосферы, позволяет рассчитать максимальную температуру воздуха у поверхности земли днем, определить возможность обледенения ЛА в воздухе и решать в соответствии с существующими методиками, известными метеоспециалистам, ряд других задач по оценке метеорологических условий.

При наличии данных нескольких пунктов радиозондирования, помимо аэрологических диаграмм, составляются вертикальные разрезы атмосферы. На разрезах графически изображаются профили атмосферных фронтов и состояние облачности, видимости, осадков, опасных для полетов явлений погоды, направление и скорость вет-

ра, температура воздуха на различных высотах. Анализ вертикальных разрезов облегчает изучение состояния атмосферы, он дает полную пространственную характеристику погоды по маршруту полета или в интересующем направлении.

Анализ АКП и других аэросиноптических материалов. На АКП в наглядной форме представляются метеорологические условия полетов, в том числе облачность, осадки, видимость, опасные для полетов явления погоды. Анализ АКП сводится к выделению участков авиатрасс и районов с различными более или менее однородными метеорологическими условиями. Кроме того, при анализе АКП определяются основные синоптические объекты, обуславливающие изменение погоды, указываются направление и скорость их перемещения. Особое внимание при анализе АКП уделяется опасным для полетов явлениям погоды.

АКП составляются для различных уровней на высотах. Анализ высотных карт АКП позволяет представить прежде всего режим ветра и некоторые другие условия погоды на соответствующих уровнях.

## 7. ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

### 7.1. Общие положения

Прогноз погоды (ее предсказание) — научно обоснованное предположение о ее будущем состоянии. В зависимости от того, для каких целей составляются прогнозы погоды и кем они используются в практической деятельности, прогнозы различаются по методам их составления, срокам, содержанию и формам представления.

Различают прогнозы, составленные количественными методами (путем предвычисления, точного расчета — это численные прогнозы погоды) и качественными методами путем предвидения общего характера изменений погоды, без их количественной оценки, без конкретных цифровых показателей (при качественном методе указывается ожидаемое потепление или похолодание без конкретизации на сколько градусов или же ожидаемое ослабление или усиление ветра без указания до каких пределов).

Такого рода прогнозы могут составляться для широкого круга потребителей, которые не нуждаются в конкретных цифровых характеристиках погоды.

На практике прогнозы погоды составляются с использованием всего комплекса методов, с применением самых различных приемов — от непосредственных вычислений будущего состояния метеоэлементов до оценки их возможных изменений физико-статистическими методами, а также и чисто качественным путем.

Наибольшую известность и распространение получил синоптический метод, предусматривающий составление прогноза погоды на основе прогноза синоптической ситуации. Это метод комплексный, в котором широко используются все возможности

предвидения будущего состояния погоды, в том числе и с применением прямых математических расчетов.

В зависимости от заблаговременности составления и сроков действия прогнозы погоды делятся на долгосрочные (от нескольких дней до месяца или даже целый сезон года) и краткосрочные (до трех суток — не более чем на 72 ч).

По своему содержанию прогнозы могут быть общего пользования и специальные. Прогнозы общего пользования, рассчитанные на самый широкий круг потребителей, распространяются обычно средствами массовой информации — по радио, телевидению, через газеты и телефонную службу. Специальные прогнозы составляются для обеспечения нужд различных отраслей народного хозяйства и обороны страны, в том числе для нужд сельского хозяйства, строительной индустрии, различных видов транспорта, а также для ГА. Прогнозы для ГА называются еще авиационными прогнозами погоды. Все специальные прогнозы погоды отличаются от прогнозов общего пользования большей детализацией и конкретизацией состояния метеоэлементов и явлений погоды, решающим образом влияющих на условия работы в данной отрасли народного хозяйства или вида транспорта (например: температура, влажность, ветер, осадки — для сельского хозяйства и для строительной индустрии; осадки, ветер, видимость — для морского и речного судоходства и автомобильного транспорта; облака, видимость и все явления, опасные для полетов, — для авиации).

Формы представления прогнозов очень разнообразны и так же, как содержание их, зависят от назначения прогноза, его потребителя.

Следует выделить две основные формы прогнозов погоды: альтернативную и вероятностную, из которых первая получила широкое распространение и до последнего времени была господствующей, а вторая — значительно реже находит применение и лишь в последние годы получила признание и может рассматриваться как имеющая перспективу все большего распространения.

Прогноз в альтернативной форме предусматривает лишь две возможности осуществления любого явления погоды: или это явление будет, либо его не будет независимо от вероятности оправданности (обеспеченности) этого прогноза.

Прогноз в вероятностной форме позволяет определить, с какой вероятностью можно ожидать предусмотренного прогнозом (или не предусмотренного) явления. Такая форма прогноза облегчает потребителю принятие решений, связанных с учетом условий погоды. Особенно удобна она там, где требуется точная количественная оценка влияния условий погоды на планируемую работу.

Помимо указанных двух основных форм, прогнозы погоды могут быть представлены следующими способами: текстовым (по установленной терминологии), цифровым (с использованием соответствующих цифровых кодов), картографическим (в виде прогнозных карт погоды) и графическим — в виде вертикальных

размерах объектов погоды как пространственных (для трассы, маршрута), так и временных (для географического пункта).

Методика составления, содержание, терминология и способы представления прогнозов погоды регламентируются руководствами органов Госкомгидромета и наставлениями соответствующих ведомств.

Прогнозы погоды для ГА могут составляться в каждой из форм, перечисленных выше, и каждым из указанных способов (иногда одновременно двумя или даже тремя способами). Например, текстовый прогноз по авиатрассе иллюстрируется вертикальным разрезом атмосферы для всей трассы или отдельных ее участков с приложением прогностической карты погоды или же текстовой прогноз погоды по аэродрому посадки и запасным аэродромам дополняется прогностической картой погоды соответствующего уровня (эшелона полета).

Для передачи авиационных прогнозов погоды потребителям средствами связи в интересах экономии времени используются цифровые коды.

Авиационный метеорологический код для передачи прогнозов погоды по аэродрому в нашей стране носит сокращенное трехбуквенное название «АПП», которое ставится в начале цифрового текста такого прогноза. В тексте прогноза предусмотрена возможность использовать и несколько буквенных уточнений характера прогноза (для случаев прогноза опасных явлений, корректировки прогноза, переданного ранее, прогноза простых метеоусловий, не ограничивающих возможность полетов и т. д.). Цифровое обозначение метеоэлементов в коде АПП аналогично принятому и в коде для передачи фактической погоды. Ожидаемое в прогнозах значение метеоэлементов подразумевается как наиболее вероятное среднее значение в пределах колебаний, установленных для каждого элемента. Кроме цифровых групп для метеоэлементов в коде предусмотрены группы, указывающие аэропорт, для которого составлен прогноз, и время действия прогноза.

Каждый прогноз погоды для ГА составляется на основе прогноза синоптической обстановки.

## 7.2. Прогноз синоптической обстановки

Прогноз будущего положения и состояния основных синоптических объектов, определяющих изменение всех метеоэлементов и развитие во времени всех явлений погоды, называется прогнозом синоптической обстановки. Такими синоптическими объектами являются барические системы, атмосферные фронты и разделяемые ими воздушные массы. Будущее положение и состояние всех синоптических объектов можно определить лишь в результате анализа синоптической обстановки, осуществляемого, как мы уже знаем, метеоспециалистом комплексно, путем тщательного изучения развития атмосферных процессов с помощью при-

земных и высотных карт погоды, аэрологических диаграмм, данных бортовой погоды, погоды аэродромов и других аэроосновных материалов.

Одним из самых важных элементов прогноза погоды является определение направления и скорости перемещения синоптических объектов. Дело в том, что циклоны и антициклоны, равно как и их отдельные участки (ложбины, гребни, а следовательно, как и атмосферные фронты и зоны с разными условиями погоды, им присущими), смещаются не только с различной скоростью, но и со скоростью не постоянной во времени, т. е. движение их неравномерное. Оно может быть ускоренным или замедленным, или же какое-то время сохраняться постоянным. Кроме того, не остается постоянным и направление этого движения. Все эти изменения в движении синоптических объектов связаны с их эволюцией, стадиями развития, влиянием местности, над которой они перемещаются и т. д. Таким образом, нельзя просто, определив перемещение какого-либо синоптического объекта за некий отрезок времени в прошлом (за 24, 12 или 6 ч, например), вычислить среднечасовую скорость и считать, что с этой скоростью и в том же направлении этот объект будет смещаться и впредь. Такой прием простейшего расчета (экстраполяции) не будет давать существенных ошибок только на ближайшие несколько часов. Если же принять во внимание, что оценивать перемещение циклона или фронта приходится по картам погоды, составленным по данным трех-, четырехчасовой давности (с учетом времени, затрачиваемого на сбор данных, на нанесение, обработку, анализ), то практическая ценность приемов простейшей экстраполяции ничтожна.

Несколько лучшие результаты может дать прием усложненной экстраполяции, когда учитывается не только скорость движения, но определяется и ускорение, фиксируемое по последнему трех- или шестичасовому периоду движения синоптического объекта, т. е. вычисляется изменение скорости, которое и принимается за основу расчета. Такой прием в большинстве не очень сложных синоптических ситуаций обеспечивает практически достаточную точность расчетов в пределах от 6 до 12 ч, что на практике и приводит к широкому использованию этого приема для прогноза синоптической обстановки на большие сроки. Особенно широко такое прогнозирование применялось до внедрения ЭВМ и численных методов прогноза.

Описанные приемы прогноза синоптической обстановки можно объединить, назвав их методом экстраполяции.

В синоптической метеорологии используется также метод ведущего потока. Суть метода в определении уровня на высотах, на котором производится оценка направления и скорости ведущего потока, для каждого синоптического объекта в отдельности. При этом большое значение приобретает правильный выбор коэффициента, связывающего величины скорости ветра на высотах и скорости движения синоптического объекта. Руководства по прогнозам погоды содержат подробные справочные данные, которые ис-

пользуются метеоспециалистами при выполнении необходимых расчетов перемещений барических систем и атмосферных фронтов.

Метеоспециалисты при прогнозе синоптической обстановки обычно не ограничиваются расчетами по какому-либо одному методу. Чаще всего расчеты производятся разными способами, и их результаты сопоставляются между собой. Если они совпадают, общий вывод не вызывает затруднений. Если же данные, полученные разными методами, оказываются несходными, предпочтение отдается тому из расчетов, который лучше других зарекомендовал себя для данной или аналогичной синоптической ситуации в прошлом.

Помимо экстраполяции и ведущего потока, метеоспециалисты пользуются рядом других приемов и правил, выработанных практикой, найденных эмпирическим путем. Наиболее известны следующие правила перемещения барических систем и фронтов.

1. Циклон перемещается в направлении изобар его теплого сектора, оставляя теплый воздух справа. Это направление соответствует направлению ведущего потока на высотах, так как над теплым сектором направление ветра с высотой не изменяется (рис. 7.1, а). Рост атмосферного давления за последние 3 часа на рисунке указан буквой *P* с числом величины роста, падение давления — буквой *П* с числом величины падения.

2. Циклон движется в направлении очага наибольшего падения давления таким образом, что его центр движется параллельно линии, соединяющей очаги падения и роста давления в его передней и тыловой частях (рис. 7.1, б).

3. Два циклона, имеющие общие замкнутые изобары, совершают вращательное движение друг относительно друга против часовой стрелки (рис. 7.1, в).

4. Ложбина перемещается вместе с циклоном, с которым она связана, и одновременно вращается вокруг центра циклона, как бы обегая его против часовой стрелки.

5. Антициклон перемещается в направлении очага роста давления таким образом, что его центр движется параллельно линии, соединяющей очаги роста и падения давления в его передней и тыловой частях (рис. 7.1, г).

6. Антициклоны с формой изобар, напоминающей эллипс, перемещаются в направлении длинной оси эллипса в сторону очага роста давления (см. рис. 7.1, з).

7. Приземные центры барических систем смещаются в направлении воздушных течений (ведущего потока):

над низкими системами (вдоль изогипс) на карте  $AT_{850}$  со скоростью  $0,8-0,9 v$  (здесь  $v$  — скорость ветра) на этом уровне;

над средними системами (вдоль изогипс) на карте  $AT_{700}$  и  $AT_{600}$  со скоростью  $0,7-0,8 v$  на этом уровне;

над высокими системами (но не развитыми выше уровня  $AT_{400}$ ) на карте  $AT_{500}$  и  $AT_{400}$  со скоростью  $0,5-0,6 v$  на этом уровне (рис. 7.1, д).

Если расчет перемещения делается на сроки, выходящие за пределы 12 ч после данных наблюдений, по которым составлена вы-

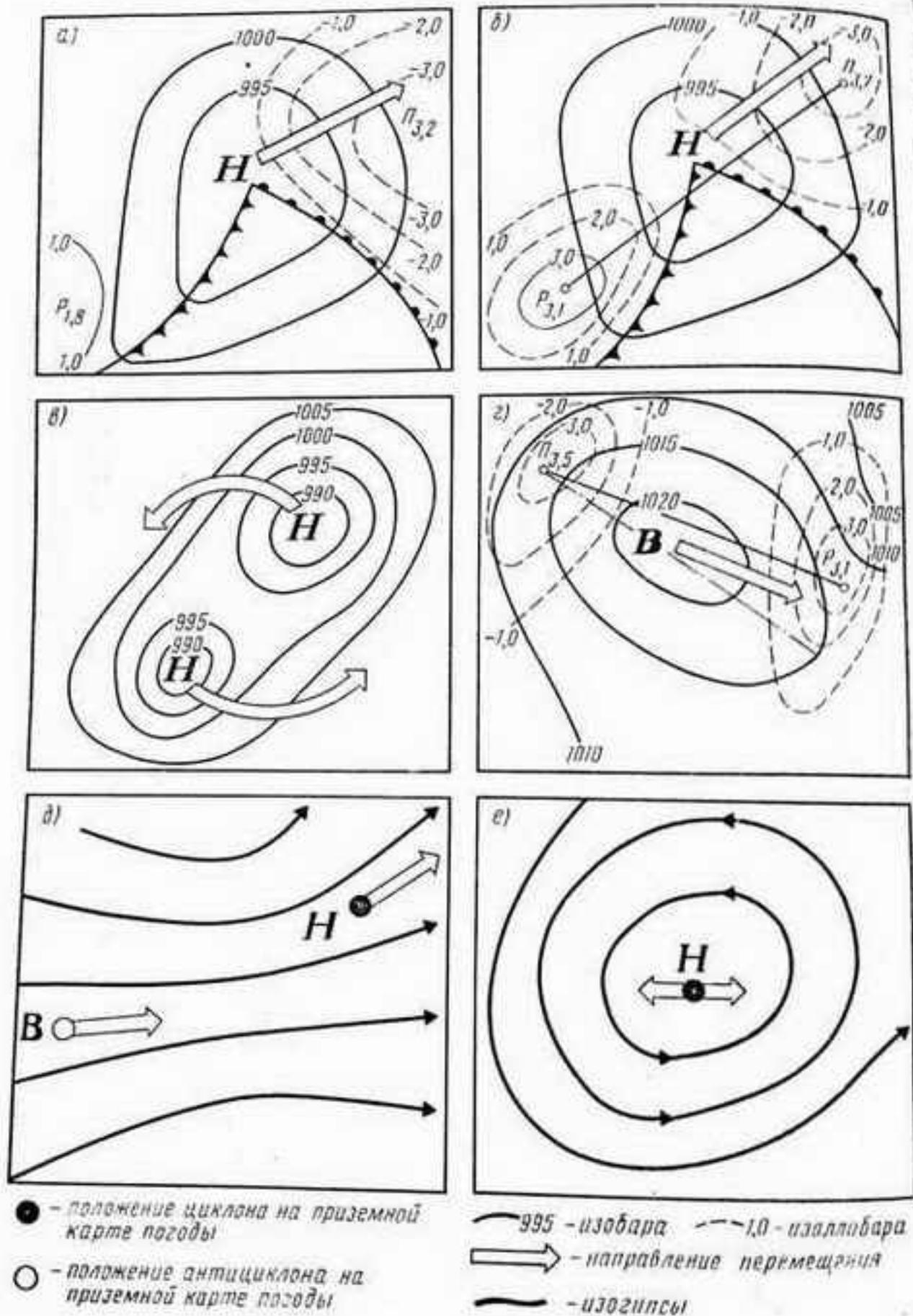


Рис. 7.1. Направления перемещения циклонов и антициклонов

состав карты, следует пользоваться прогностической картой АТ.

8. Высокие барические системы, развитые выше поверхности 300 мбар, малоподвижны.

9. Чем меньше развита барическая система по высоте и чем положе (меньше наклонена) ее пространственная ось, тем система подвижнее (рис. 7.1, с).

10. Наличие хорошо выраженных очагов падения и роста давления в противоположных частях барической системы — свидетельство подвижности последней.

11. Атмосферные фронты перемещаются вместе с ложбинами циклонов в направлении, соответствующем нормальной составляющей ветра в холодной воздушной массе, и со скоростью, приблизительно равной 0,7—0,8 скорости этого ветра.

12. Участки атмосферных фронтов в V-образных ложбинах при возникновении волн на фронте становятся малоподвижными.

В настоящее время указанные методы и приемы прогноза скорости перемещения синоптических объектов все еще находят применение, но не являются основными, поскольку будущее синоптическое положение на сроки от 12 до 72 ч вычисляется с помощью ЭВМ, т. е. прогнозируется численными методами, как правило, с составлением прогностических карт. Численные методы прогноза мы рассмотрим ниже.

Опираясь на прогностические карты, составленные на 24 или 36 ч, метеоспециалисты имеют возможности предсказать погоду на любые промежуточные сроки, при этом они часто прибегают ко всем другим описанным методам и приемам прогноза, которые фактически уже стали вспомогательными средствами прогноза перемещения синоптических объектов.

Не менее важным элементом прогноза синоптической обстановки является прогноз эволюции синоптических объектов, которые, перемещаясь, одновременно испытывают изменения в соответствии с законами развития каждого объекта в отдельности и в целом всей системы, к которой объекты принадлежат: циклоны и антициклоны проходят стадии развития от зарождения до заполнения или разрушения, атмосферные фронты возникают, обостряются, развиваются и т. д.

Так же как с определением скорости перемещения синоптических объектов, для решения задачи оценки их эволюции практика выработала ряд приемов, которые позволяют успешно справляться с качественной стороной задачи — правильно предвидеть направление эволюции, но без достаточно точных количественных характеристик ее интенсивности. Другими словами, эмпирические правила обеспечивают правильность оценки того, что будет происходить с циклоном (будет ли он углубляться или заполняться), но без количественной конкретизации, насколько именно изменится давление в его центре. То же можно сказать о других формах барического рельефа и атмосферных фронтах, располагающихся в барических ложбинах.

В основе многократно проверенных эмпирических правил оценки эволюции синоптических объектов лежит тоже прием экстраполяции, а также некоторые закономерности, обнаруженные при комплексном анализе аэросиноптических материалов в различных синоптических ситуациях.

Укажем наиболее известные из правил, характеризующих эволюцию синоптических объектов.

1. Если отрицательные барические тенденции наблюдаются вблизи центра циклона и в его теплом секторе, циклон будет углубляться, а его фронты обостряться, т. е. на них будет возрастать мощность и ширина зоны облачности и осадков (рис. 7.2, а).

2. Рост давления в центре циклона (рис. 7.2, б) свидетельствует о предстоящем его быстром заполнении; развитие циклона в верхнюю тропосферу также зачастую является признаком его последующего заполнения.

3. Циклоны чаще углубляются, если над ними на картах  $AT_{700}$ ,  $AT_{500}$  и  $AT_{400}$  наблюдается расходимость потоков (рис. 7.1, в), и заполняются, если имеется сходимость потоков (рис. 7.1, г).

4. Антициклоны и гребни усиливаются, если над ними на картах  $AT_{700}$ ,  $AT_{500}$  и  $AT_{400}$  наблюдается сходимость потоков, и разрушаются, если есть расходимость потоков.

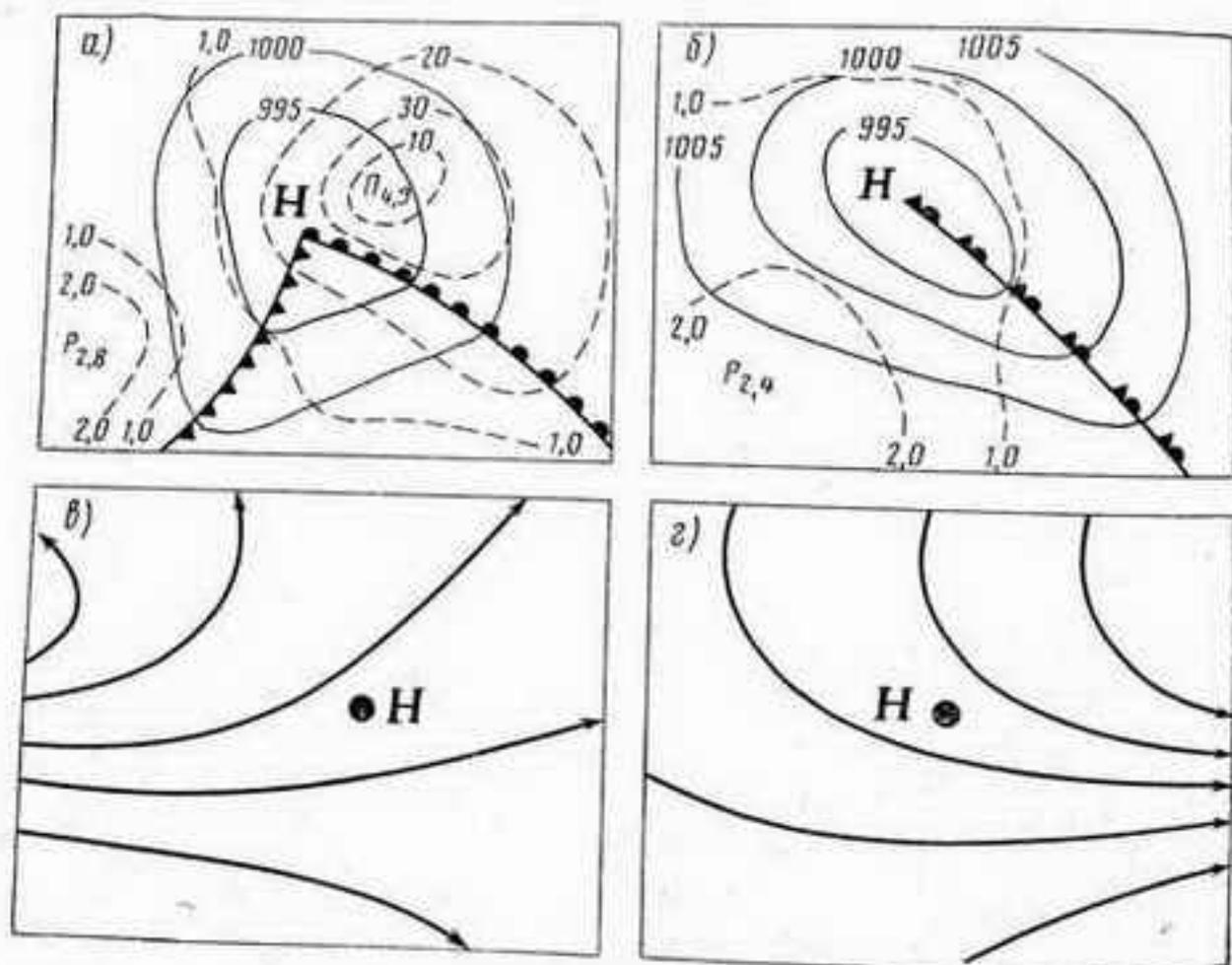


Рис. 7.2. Эволюция циклона

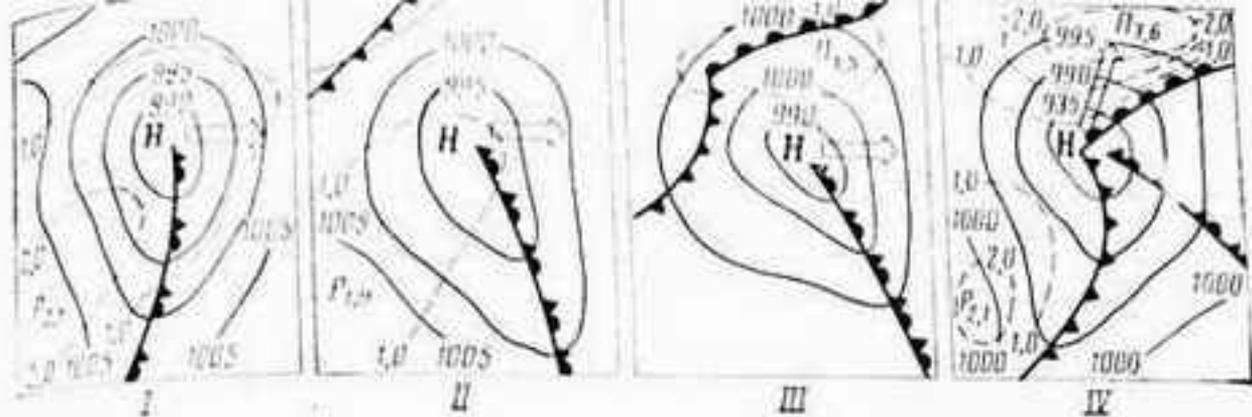


Рис. 7.3. Регенерация циклона на новом атмосферном фронте

5. Заполняющийся циклон при приближении к нему нового фронта, за которым происходит вторжение более холодных масс воздуха, может начать углубляться вновь, регенерируя на вовлекаемом в его циркуляцию новом атмосферном фронте. Стадии регенерации I—IV иллюстрируются рис. 7.3.

6. Характер суточной эволюции атмосферных фронтов над сушей и над морем (океаном) прямо противоположный.

7. Атмосферные фронты обостряются при условии адвекции (переноса) тепла и холода, увеличивающей контраст между воздушными массами, разделяющими фронты. При ослаблении адвекции и уменьшении контрастов между воздушными массами фронты размываются.

8. Атмосферные фронты обостряются, если эффект увеличения контрастов между различными массами достигается за счет перехода фронта с одной подстилающей поверхности на резко отличную другую (например, с суши на море или наоборот).

Не каждый прогноз синоптического положения обязательно оформляется в виде карт будущего синоптического положения. Практически в настоящее время такие прогностические карты составляются только численным методом, а в остальных случаях для решения частных задач прогноза погоды (для отдельного района, трассы на промежуточный срок между прогностическими картами) прогноз синоптической обстановки делается метеоспециалистом мысленно, без фиксирования результатов на бланке географической карты.

В целом в основе прогноза синоптической обстановки лежит численный метод прогноза как главный метод, а остальные — вспомогательные.

### 7.3. Численные методы прогноза погоды

Количественные методы, позволяющие выразить будущее состояние отдельных метеорологических элементов числом, точным цифровым выражением в отличие от синоптических прогнозов по-

годы, в основном качественных, называются численными методами прогноза погоды.

Численные прогнозы отличаются объективностью. Их качество не зависит от субъективных факторов (например, квалификации специалиста — автора синоптических прогнозов), они рассчитываются ЭВМ и при одинаковых исходных данных всегда должны быть одинаковыми.

Будущее состояние поля давления (а следовательно, и ветра) ЭВМ вычисляет по исходному значению поля давления в начальный момент составления прогноза. ЭВМ в соответствии с программой не учитывает «предысторию» (предшествующее развитие синоптических процессов). Ей не нужны предыдущие комплекты карт погоды, а нужен лишь один комплект, самый последний.

Численный прогноз пока не распространяется на большинство важных для ГА метеоэлементов и явлений погоды, но он способствует лучшему решению прогностических задач синоптиком в интересах авиации. Численный прогноз в чистом виде возможен пока только для свободной атмосферы: чем ниже уровень, тем больше влияние приземного слоя и тем менее надежен численный прогноз.

В основе численных методов лежит возможность рассчитывать основные, крупномасштабные черты будущего поля давления, ветра, температуры без большой детализации. Это связано с неизбежностью упрощения расчетов и исходной обстановки, учитываемой в прогнозе.

Известны две основные группы численных методов прогнозов погоды: группа физико-статистических методов и группа гидродинамических методов.

В физико-статистических методах широко используются математическая статистика и теория вероятностей, с помощью которых на массовом материале наблюдений выявляются опытным путем взаимосвязи между атмосферными процессами, явлениями погоды и состоянием отдельных метеоэлементов; прогноз погоды, составленный этим методом, представляет собой определение наиболее вероятного состояния погоды из всех возможных ее состояний при данной исходной ситуации. Методы этой группы со временем получают более широкое применение, поскольку они удобны для представления прогнозов в вероятностной форме, наилучшим образом отвечающей требованиям автоматизации обеспечения полетов.

Пока в повседневной практике методов численных прогнозов значительно чаще используется группа гидродинамических методов. Теоретической основой повседневно составляемых в настоящее время численных прогнозов погоды является описание взаимодействия факторов, определяющих изменения погоды, системой уравнений гидромеханики и термодинамики и решение этих уравнений. Обычно используются шесть уравнений (состояния атмосферы, потока тепла, неразрывности атмосферы и три уравнения движения по осям координат  $X, Y, Z$ ) и вычисляются шесть искомых величин (три составляющие ветра, давление, температура, плотность воз-

духа). Точное решение этих уравнений затруднительно, да оно и не обязательно. Теоретически доказано и подтверждено практикой, что можно ограничиться приближенным решением. При этом величина погрешностей вычислений не будет выходить за пределы точности измерений вычисленных элементов и будет вполне достаточной для практических целей.

Приближенные решения стали возможны благодаря внесению в задачу ряда теоретически обоснованных упрощений и использования при расчетах некоторых технических приемов. Укажем лишь на некоторые из наиболее существенных упрощений, явившихся своего рода ключом всей проблемы предвычисления гидродинамическими методами.

Для успешного решения задач предвычисления, помимо начальных условий (состояния полей метеоэлементов в исходный момент), нужно еще знать граничные условия, т. е. точно представлять себе закономерности элементов на границах рассматриваемого пространства на все время прогноза.

Начиная решать уравнение, описывающее состояние атмосферы в исследуемой области, нужно заранее знать ее будущее состояние на границах. В действительности же это неизвестно. Выход найден в том, что граничные условия берутся фиктивными: считается, что на границе рассматриваемой очень большой области (полушарие, ЕТС) давление в течение периода прогноза останется неизменным, но вычисленные прогностические значения давления признаются верными только для воображаемой территории в середине избранной большой области. Это поясняется рис. 7.4, где 1 — прямоугольник, по периметру которого давление на период прогноза принимается неизменным; 2 — прямоугольник, в пределах которого вычисляется прогнозируемое значение давления с требуемой точностью.

Целесообразно введение еще трех допущений, облегчивших вычисление будущего состояния поля атмосферного давления, хотя одновременно суживающих возможности расчетов, которые оказались доступны и выполнимы только для одного определенного уровня. Эти допущения следующие:

1. Вместо уравнения движения по вертикальной оси используется уравнение статики (в упрощенном виде оно выглядит так:  $\Delta p = -\rho g \Delta H$ , где  $p$  — давление;  $g$  — ускорение силы тяжести или ускорение свободного падения;  $\rho$  — массовая плотность воздуха;  $H$  — высота).

2. Процессы, происходящие в свободной атмосфере выше слоя трения, приближенно принимаются за происходящие без притока и отдачи тепла, т. е. за «почти адиабатические.»

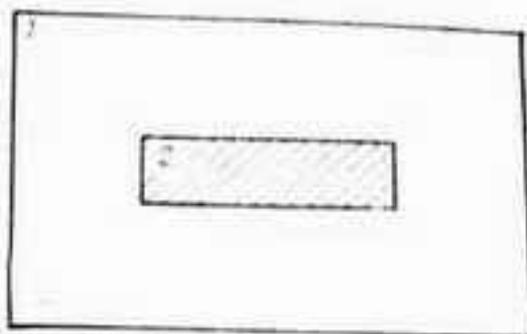


Рис. 7.4. К понятию упрощения при численном прогнозировании

3. Ускорения движения воздуха (отклонения скорости ветра от теоретического значения градиентного ветра) можно вычислять не непосредственно из общих уравнений движения, а из их следствия (из уравнения вихря скорости).

Делаются и другие допущения и упрощения. В частности, точность решения уравнения вихря скорости удается сохранить, решая его не прямо относительно давления, а относительно барической тенденции.

Получив таким путем поле барической тенденции на среднем уровне, необходимо, применяя способ «шаг за шагом», вычислить и само поле давления (принимая вновь полученное поле давления за исходное, вычисляется снова поле тенденции, а по нему новое поле давления и т. д., пока не будет получен прогноз давления на сутки).

Поля тенденции и давления вычисляют для системы точек — «регулярной сетки» с шагом в 250—350 км.

Для прогноза давления на карте в 500 узлов сетки, взяв 24 временных шага, приходится производить 360 тыс. вычислений.

Описанная одноуровневая баротропная схема — только начало предвычислений. От одного уровня предстоит перейти к нескольким уровням — многоуровневой бароклинической схеме. В конечном итоге получается прогноз давления для всей свободной атмосферы плюс прогноз температуры и вертикальных движений с вполне удовлетворительной точностью на срок до 72 ч.

Окончательное решение проблемы численного прогноза погоды заключается в создании схемы перехода от поля давления в свободной атмосфере к полю давления у поверхности Земли. Это делается полуэмпирическим путем с погрешностями, оказавшимися меньше тех, которые характерны для синоптического метода. Чем ниже уровень, тем прогноз менее точен, но он все же вполне удовлетворительного качества, что позволяет использовать его для составления АКП.

В дальнейшем будут вычисляться не только метеозакономерности, но и такие явления погоды, как грозы, туманы, турбулентность, осадки и т. д.

#### 7.4. Авиационный прогноз погоды и штормовое предупреждение

Авиационный прогноз погоды относится к краткосрочному специальному прогнозу, составляемому для обеспечения ГА. Он используется как для планирования летной работы, так и непосредственно для обеспечения полетов на сроки от нескольких часов до полутора суток и редко (по специальным запросам) на 2 или 3 сут.

Авиационные прогнозы погоды могут составляться по аэродрому, району аэродрома, по трассам и районам полетов. В них дается характеристика облачности (количество, форма, высота ниж-

ней границы и верхней границы), осадков, опасных явлений погоды, дальности горизонтальной видимости, направления и скорости ветра, температуры воздуха, высоты изотермы 0° С, положения тропопаузы, закрытия гор и искусственных препятствий облаками.

Содержание всех видов авиационных прогнозов погоды, формы и способы их представления, терминология определяются «Наставлением по метеорологическому обеспечению гражданской авиации» (НМО ГА), а методика их составления — «Руководством по краткосрочным прогнозам Госкомгидромета СССР». Эти документы регламентируют последовательность и перечень всех метеоэлементов, явлений погоды, которые указываются в каждом виде прогноза для ГА; они также регламентируют допустимые границы таких количественных характеристик метеоэлементов, как количество и высота облаков, видимость, скорость и направление ветра и т. д.

Кроме того, регламентируются и употребление различных терминов, формулировки текста прогноза. Все это делается, чтобы каждый авиационный прогноз облегчал принятие правильного решения, был ясным, четким, кратким и не допускал двойственного толкования или неопределенности при оценке метеорологических условий полета.

Метеоспециалисты при составлении авиационных прогнозов погоды опираются на анализ всего комплекса аэросиноптических материалов о фактическом и ожидаемом состоянии погоды. К материалам о фактической погоде относятся:

- приземные карты (синоптические) погоды;
- карты барической топографии различных уровней;
- карты максимальных ветров и струйных течений;
- карты тропопаузы;
- вертикальные разрезы атмосферы, аэрологические диаграммы;
- карты радиолокационной информации;
- фотомонтажи, фотосхемы и карты нефанализа по данным метеорологических ИСЗ;
- штормовые оповещения;
- фактическая погода аэродромов;
- бортовая погода.

Материалы об ожидаемом состоянии погоды, получаемые численным методом с использованием ЭВМ:

- приземные прогностические карты;
- высотные прогностические карты АТ;
- высотные прогностические карты максимальных ветров;
- высотные прогностические карты тропопаузы.

Изучение всех этих материалов, выполнение необходимых расчетов позволяют определить, чем будет обуславливаться и какая конкретно ожидается погода в интересующее время и в интересующем месте, т. е. каковы ожидаются метеорологические условия для планируемой летной работы или выполнения того или иного вида полетов.

Метеоспециалисты составляют также авиационные прогностические карты погоды АКП особых явлений, на которых указываются все влияющие на полет явления погоды и метеорологические элементы и границы их распространения в течение периода действия прогноза.

**Штормовое предупреждение.** Наряду с составлением авиационных прогнозов погоды метеоподразделения на аэродромах при возникновении угрозы появления опасных для полетов явлений погоды или связанных с погодой стихийных бедствий дают штормовые предупреждения, являющиеся внеочередными прогнозами опасных для ГА явлений погоды. Это особый вид прогнозов, призванных содействовать безопасности полетов в сохранении людей и техники на аэродромах. Штормовые прогностические предупреждения составляются также для уточнения интенсивности или времени ожидаемого возникновения опасных явлений погоды, указанных в ранее составленных прогнозах и предупреждениях, если в этом есть необходимость (интенсивность явления, например, оказывается большей, чем ожидалось первоначально, или изменяется время его возникновения).

Каждое штормовое прогностическое предупреждение должно содержать указание о месте, времени возникновения, продолжительности, интенсивности и направлении перемещения ожидаемого опасного явления погоды, а также когда и кем предупреждение составлено, кому оно адресуется.

Если ожидается несколько опасных явлений одновременно, в штормовом предупреждении указываются все ожидаемые опасные явления. Например: «В районе аэродрома Энска 28 июля от 14 до 16 ч ожидаются грозы на холодном фронте, движущемся с северо-запада со скоростью 40 км/ч, ливневыми дождями и кратковременными ухудшениями видимости до 500 м, усилением ветра порывами до 22 м/с АМСГ ЭНСКА. Синоптик Иняроков, 28 июля 11 ч 30 м».

Штормовые предупреждения всеми средствами связи передаются вне очереди. Они требуют безотлагательного принятия мер по предотвращению ущерба, который может быть нанесен безопасности полетов или сохранности людей и техники на земле.

Составляются штормовые прогностические предупреждения в соответствии с методикой, изложенной в руководстве по краткосрочным прогнозам погоды. В основе этой методики лежат прогностические разработки по отдельным явлениям погоды, эмпирические правила и способы расчетов времени и интенсивности возникновения опасных для полетов явлений погоды, а также информация о фактической погоде аэродромов, данные бортовой погоды и штормовых оповещений.

При составлении таких предупреждений используются приемы экстраполяции, учитываются ведущий поток, данные вертикального зондирования атмосферы, разведки погоды, а также суточный ход развития каждого опасного явления.

## 7.5. Оценка оправдываемости авиационных прогнозов погоды и штормовых предупреждений

Существует несколько способов оценки авиационных прогнозов погоды, которые условно можно разбить на две основные группы: оперативная оценка и полная (академическая оценка).

Оперативная оценка делается для выяснения, в какой мере прогнозы погоды в целом способствуют обеспечению безопасности и регулярности полетов. Полная оценка призвана определить успешность прогноза по той или иной методике каждого из метеосъемщиков и явлений погоды при различных синоптических ситуациях, а в отдельные периоды суток — какова оправдываемость прогнозов, например видимости, при осадках фронтальных и внутримассовых или при туманах адвективных и радиационных, днем и ночью, зимой и летом и т. д.

Оперативная оценка прогнозов производится обычно совместно составителями и потребителями.

Оперативная оценка, как правило, упрощенная. Она носит альтернативный характер. Каждый прогноз оценивается только в его главных чертах: оправдался или нет (без конкретизации, насколько прогноз оправдался или в какой части оправдался, в какой нет). Критерии оперативной оправдываемости прогнозов и штормовых предупреждений устанавливаются НМО ГА. Этим же документом определены и периоды, по которым оценивается каждый вид прогноза. Как правило, прогнозы на срок до полусуток оцениваются по каждому трехчасовому периоду, а прогнозы на 12 ч и более — по каждому шестичасовому периоду.

Основным критерием для положительной оценки прогноза погоды является условие: прогноз не должен препятствовать летной работе, когда она возможна по условиям погоды. Если это условие выполняется, прогноз признается оправдавшимся, как бы ни отличалась ожидаемая по прогнозу погода от наблюдавшейся в действительности. Прогноз считается неоправдавшимся, если он был причиной необоснованных нарушений регулярности полетов или же если из-за прогноза погоды были при выполнении полетов летные происшествия или же предпосылки к ним (например, возврат самолетов, вынужденные посадки не на аэродромах назначения).

Для штормовых прогностических предупреждений критерием оценки является условие: предупреждение считается оправдавшимся, если предусмотренное им опасное явление имело место не раньше чем через полчаса после подачи предупреждения. Предупреждение считается неоправдавшимся, если оно подано менее чем за полчаса до начала опасного явления или если вместо указанного в предупреждении опасного явления наблюдалось другое опасное явление.

Для обеспечения и достижения однообразия оценки оправдываемости авиационных прогнозов погоды и штормовых предупреждений в НМО ГА наряду с общими критериями оценки оправдываемости приводится шкала оценок, детализирующая критерии