

Какое влияние на погоду и климат оказывает Солнце (солнечная радиация)? Говорят, что погода является самым величественным спектаклем на Земле, в котором участвуют только три актера: солнечная радиация, влага и воздух. Солнце (солнечная радиация) определяет участие остальных двух, так как неравномерное нагревание земной поверхности создает различия в атмосферном давлении, в результате чего возникают ветры, переносящие на сушу водяной пар, образующийся от испарения поверхности океанов и озер. Как это происходит?

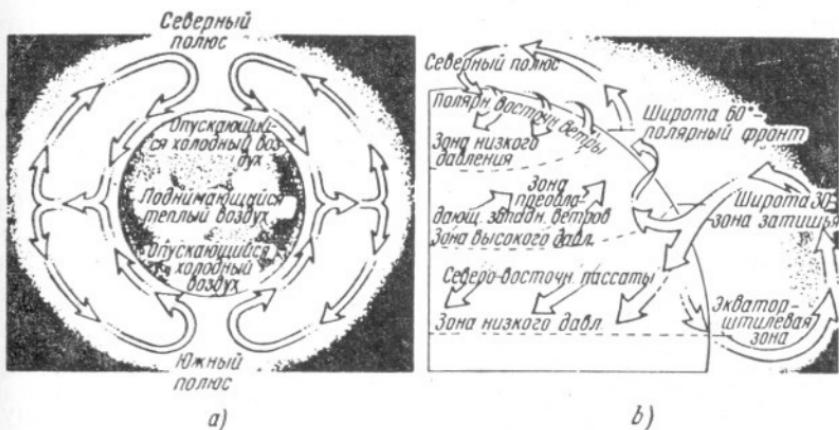


Рис. 27.3. Если бы Земля не вращалась вокруг своей оси, то нагретый воздух вызвал бы равномерную циркуляцию (а), но вращение Земли отклоняет ветры в восточном направлении (б).

Если бы Земля не вращалась, то циркуляция земной атмосферы (ветры) происходила бы в основном так, как изображено на рис. 27.3,а. Так как воздух сильнее всего нагревается вблизи экватора, то он начал бы здесь расширяться, сделался бы менее плотным и стал бы вытесняться вверх более холодным воздухом из полярных областей, устремившимся сюда для уравнивания давления. Поднимающийся вверх воздух стал бы продвигаться от экватора по направлению к полюсам, создавая постоянную область низкого давления у экватора. У полюсов воздух был бы холодным и плотным, так что здесь было бы высокое атмосферное давление.

Однако, по мере того как «растекающийся» — движущийся в верхних слоях воздух удаляется от экватора к полюсам, он, вследствие вращения Земли с запада на восток, отклоняется к востоку, и, когда этот воздух достигает приблизительно 30-й параллели, он движется почти точно на восток. Таким образом, на

этих широтах происходит накопление воздуха, в результате чего здесь образуются зоны высокого давления, которые окружают Землю к югу и к северу от экватора (рис. 27.3, б).

От каждой зоны высокого давления часть воздуха в нижних слоях атмосферы направляется к полюсу, порождая ветры, известные под названием «преобладающих западных ветров». Другая часть направляется к экватору, образуя северо-восточные и юго-восточные пассаты. Эти пассаты сталкиваются у экватора, в значительной степени взаимно уничтожаются и создают экваториальную штилевую зону.

Часть воздуха верхних слоев атмосферы на широте 30° вытесняется к полюсам, но не опускается к земной поверхности. В результате, когда этот воздух достигает полярных областей, он оказывается очень холодным и тяжелым (плотным). Здесь он оседает, образуя большие массы воздуха высокого давления. По мере накопления этого холодного воздуха в нижних слоях атмосферы он устремляется по направлению к экватору. На широте приблизительно 60° (рис. 27.3, б) фронт этой массы полярного воздуха, так называемый *полярный фронт*, встречается со значительно более теплым и менее плотным воздухом западных ветров, опускается под него и заставляет его подниматься. Этот поднимающийся, относительно теплый, легкий воздух образует зоны низкого давления по обе стороны от экватора на широте около 60° .

Однако время от времени большая масса полярного воздуха высокого давления прорывается к экватору. Передняя граница этой массы, обращенная к экватору, называется *холодным фронтом*. Эти центры высокого давления и холодные фронты играют огромную роль в формировании погоды и климата. Но прежде, чем мы сможем закончить рассмотрение этих факторов, необходимо обратить внимание на другие признаки погоды.

Образование облаков и вертикальный градиент температуры. Мы уже видели, что у экватора воздух нижних слоев атмосферы нагревается вследствие того, что он соприкасается с теплой почвой или водой. Большой частью он соприкасается с теплой водой, что делает его очень влажным. По мере того как этот очень влажный воздух оттесняется более холодным воздухом вверх к северу и к югу, он расширяется. Но при расширении и преодолении давления, как бы мало оно ни было, совершается работа. Поэтому, поскольку работа совершается за счет тепловой энергии расширяющегося воздуха, воздух охлаждается. При этом, если поднимающийся воздух охлаждается до точки росы, то образуются облака и могут выпасть осадки в виде дождя. Можно ли этим объяснить сильные ливни в большей части экваториальной зоны?

Если восходящий воздух не насыщен (т. е. не достиг своей точки росы), то он будет охлаждаться приблизительно на 1° на

каждые 100 м подъема. Изменение температуры воздуха с его поднятием называется *вертикальным градиентом температуры* восходящего потока. По мере того как поднимающийся воздух достигает своей точки росы, вертикальный градиент уменьшается до $\sim 0,6^\circ$ на 100 м. При конденсации водяного пара выделяется теплота. Это и уменьшает вертикальный градиент (см. стр. 314).

Следует иметь в виду, что указанные вертикальные градиенты температуры относятся только к таким поднимающимся или опускающимся потокам воздуха, которые не получают и не отдают тепла окружающему воздуху.

В спокойном воздухе (т. е. не поднимающемся и не опускающемся) обычно температура также уменьшается с высотой. Однако вертикальный градиент в спокойном воздухе редко совпадает с вертикальным градиентом восходящего или нисходящего воздушного потока.

Задача 1. Если температура восходящего ненасыщенного воздуха на уровне земной поверхности равна 25°C , то какова будет его температура на высоте 1000 м? 2000 м?

Задача 2. Если воздух на вершине горы имеет температуру -5°C , то какова будет его температура после того, как он опустится на 2500 м? на 500 м?

Другой существенный момент состоит в том, что, поскольку поднимающийся воздух расширяется, его абсолютная влажность (в g/m^3) уменьшается. Объясните это явление. По этой причине точка росы восходящего ненасыщенного воздуха снижается приблизительно на $0,2^\circ\text{C}$ на каждые 100 м. Иначе говоря, температура восходящего ненасыщенного воздуха падает на каждые 100 м подъема не на 1°C , а на $0,8^\circ\text{C}$. Температура восходящего насыщенного воздуха уменьшается на $0,4^\circ\text{C}$ на каждые 100 м.

Задача 3. Температура воздуха у земной поверхности равна 27°C . Его точка росы 12°C . Насколько должна подняться масса такого воздуха, чтобы начали образовываться облака, т. е. чтобы была достигнута точка росы? Ответ: ~ 1800 м.

Другие факторы, влияющие на образование облаков. Мы уже говорили о том, что облака образуются в неустойчивом воздухе, когда достигается точка росы. Но это только часть тех явлений, которые происходят при образовании облаков. Для того чтобы водяной пар сконденсировался, необходимы ядра конденсации в виде пылинок или других частиц. В качестве ядер могут служить также споры растений, бактерии и кристаллики соли.

Обледенение и образование снега. Как оказывается, облака, состоящие из водяных капелек, *переохлаждены*, т. е. они продолжают существовать в жидкой форме ниже точки замерзания. Исследователи военно-воздушной базы Эглин во Флориде сообщают о наблюдении ими незамерзших водяных капель при температуре

до -50° С . Однако, как только такие облака соприкасаются с некоторой поверхностью, например с необогреваемой поверхностью летящего самолета, водяные капельки мгновенно превращаются в лед и могут быстро покрыть самолет слоем льда, вызывающим перегрузку его. Такое явление называется *обледенением*.



Рис. 27.4. Какая погода связана с изображенными здесь типами облаков?

Обычно переохлажденные водяные капельки в облаке превращаются в маленькие гексагональные кристаллы льда при температуре приблизительно -30° С . На больших высотах образуются пежные нитевидные облака, так называемые *перистые*. Эти облака состоят из кристаллов льда, которые при определенных условиях становятся зародышами снежных хлопьев. Эти кристаллы падают вниз сквозь переохлажденные водяные капельки, и, поскольку давление пара над водой больше, чем надо льдом, влага испаряется из капель и конденсируется на льде. Таким образом кристаллы растут и превращаются в гексагональные снежинки. Но хотя все снежинки гексагональны, нельзя обнаружить среди них двух совершенно подобных, несмотря на то что тысячи снежинок подвергались исследованию и фотографированию (рис. 27.5).

Когда дождь проходит сквозь приземный слой воздуха, находящийся при температуре ниже точки замерзания, капли, перехлаждаясь при прохождении сквозь этот слой, замерзают при соприкосновении с холодными поверхностями растений, почвы, зданий, проводов, покрывая их все льдом. Такое явление может причинить большой ущерб.

Местные грозы Одним из наиболее обычных видов шторма в густо населенных районах мира являются местные грозы. В отличие от большинства штормов, они происходят только в некоторой

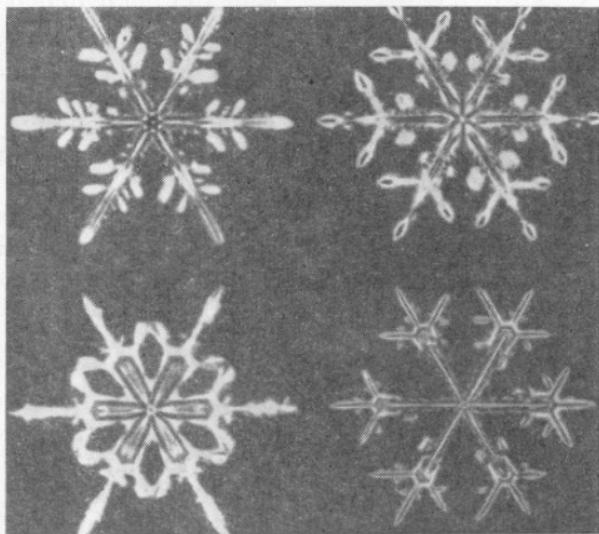


Рис. 27.5. Микрофотографии кристаллов снега.

изолированной массе воздуха. Кроме того, они обычно имеют место в теплые, душные, влажные летние дни, когда почва и воздух над ней очень сильно нагреты солнцем и в то же время воздух в верхних слоях атмосферы неустойчив. Нагревание влажного приземного воздуха вызывает вертикальные потоки воздуха, на вершине которых образуются *кучевые* (грибоподобные, хлопьевидные, волнистые) облака. Эти облака превращаются в грозовые (рис. 27.6).

Освобождающееся в результате этого тепло конденсации уменьшает степень охлаждения поднимающегося воздуха и способствует повышению и интенсификации поднимающихся конвекционных токов до достижения устойчивости. Таким образом, вершины облаков вытесняются еще выше в зону ледяных кристаллов холодным

воздухом, притекающим со всех сторон. Кристаллы льда становятся зародышами снегопада в верхней части облака, и снегопад действительно начинается.

В центральной части поднимающегося вверх потока воздуха имеется движущийся вниз противоток, такой же сильный, как и направленные вверх токи (рис. 27.6). Этот опускающийся поток увлекает с собой снежинки, которые тают и превращаются в дождь. Направленные вверх потоки могут удерживать дождь в течение некоторого времени, но затем дождь прорывается ливнем. Иногда капли дождя могут повторно подниматься вверх, в область температур ниже нуля, и там замерзать, превращаясь в град.

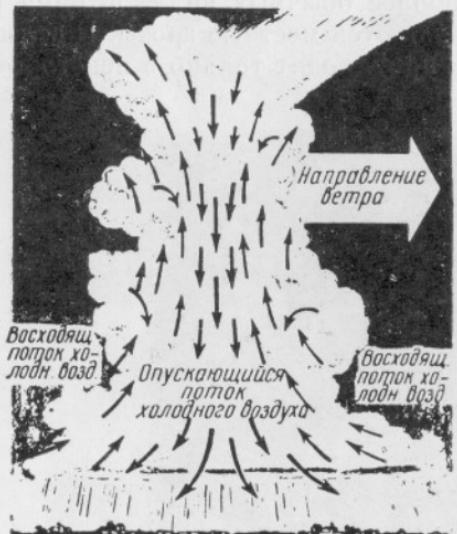


Рис. 27.6. Разрез грозового шквала. Конвекционные токи заставляют теплый воздух подниматься до такой высоты, на которой водяной пар, содержащийся в воздухе, конденсируется.

зона затишья в течение всего года, а в средних широтах ($30-60^{\circ}$) в течение лета. Зимой почва редко достаточно нагревается для того, чтобы вызывать местные грозы.

Грозы имеют различную длительность — от 5 минут приблизительно до часу, в зависимости от места и размеров. К востоку от Миссисипи средняя продолжительность грозы составляет около 25 минут, и здесь одна гроза может следовать за другой. Направление движения гроз большей частью совпадает с направлением западных ветров.

Орографические осадки. Большинство штормов, при которых происходят осадки, характеризуются одной общей особенностью — приземный воздух обычно вытесняется вверх до тех пор, пока не достигается точка росы. Одним из простейших примеров этого является горизонтально направленный поток воздуха, который выталкивается через вершину горы. Повышение земной поверх-

У земной поверхности опускающийся холодный воздух растекается горизонтально под теплым воздухом, который вытесняется и поднимается вверх. Растекающийся воздух вызывает то, что называется *холодным шквалом*, часто понижающим температуру приземного слоя воздуха на 10 градусов за несколько минут.

Условия, необходимые для местных гроз, встречаются в

ности заставляет воздух подниматься. В результате, если воздух достаточно влажен, а гора достаточно высока, достигается точка росы воздуха, образуются облака и выпадают осадки. Осадки, вызываемые вынужденным подъемом воздуха на горы или переходом через другие топографические барьеры, называются *орографическими осадками*. В Соединенных Штатах орографические осадки наблюдаются очень часто в западных частях штатов Орегон и Вашингтон. Поясните географическую ситуацию, которая там имеет место.

Шквалы, связанные с холодным фронтом. Мы уже видели, что над полярными областями образуются большие

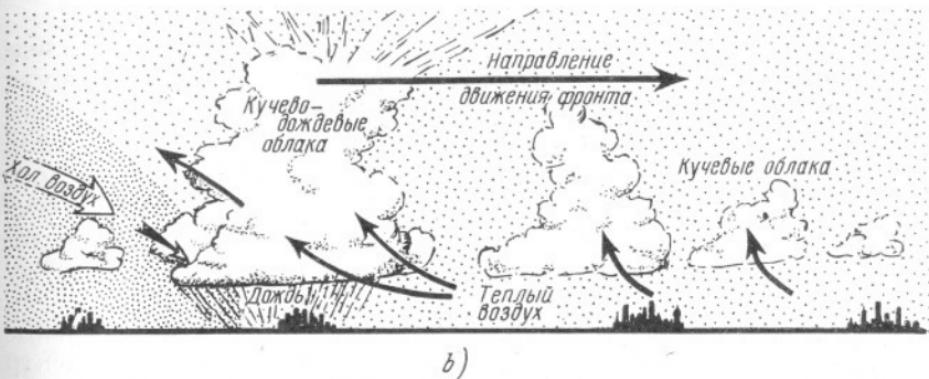
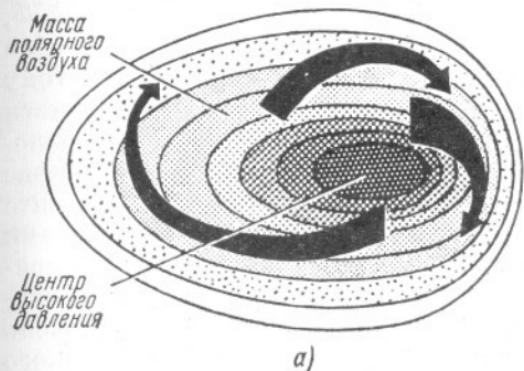


Рис. 27.7. a) Вращение ветра вокруг центра высокого давления по часовой стрелке; b) разрез шквала перед холодным фронтом.

массы воздуха, сухие, холодные, плотные, высокого давления. И мы знаем, что спорадически большая масса полярного воздуха при высоком давлении прорывается из полярной области в зону преобладающих западных ветров. Граница этой массы воздуха со стороны экватора образует холодный фронт (рис. 27.7, b). Самое высокое атмосферное давление наблюдается в центре. Следовательно, ветры дуют от центра к периферии. А вследствие вращения Земли в северном полушарии направление ветров изменяется по часовой стрелке вокруг центра повышенного давления (рис. 27.7, a). В южном полушарии ветры направлены против часовой стрелки.

В качестве примера предположим, что масса холодного воздуха на северо-западе Канады устремляется на юг, в зону преобладающих западных ветров. Как показано на рис. 27.7, *b*, холодный воздух устремляется под более теплый в направлении на юг. И если теплый воздух влажен и вытесняется вверх достаточно высоко, так что он достигает точки росы, то выпадают осадки. В случае, когда фронт движется по пересеченной местности, нижний слой воздуха может замедляться вследствие трения, и благодаря этому выше расположенные слои могут прорваться вперед и очутиться выше теплого воздуха. Таким образом, конвекционные токи теплого воздуха должны прорываться вверх сквозь расположенный выше их слой холодного воздуха, вызывая вдоль холодного фронта быструю конденсацию и дождь, часто сопровождающийся грозами даже зимой. Холодный фронт в течение нескольких часов продвигается дальше, и холодная воздушная масса тогда сменяется спокойным воздухом и ясной погодой. Летом такая погода очень приятна, но зимой температура может очень низко упасть. Какого рода облака появляются на небе прежде всего при приближении холодного фронта? Какая погода наблюдается до шквала? после шквала?

Торнадо. Если масса полярного воздуха, образующая холодный фронт, не очень холодна, то верхний слой холодного воздуха может вырваться вперед над ниже расположенным теплым слоем на расстояние 80—150 км. В результате этого, когда нижний слой воздуха прорывается через расположенный выше слой тяжелого холодного воздуха, скорость вертикального подъема воздуха может стать колоссальной, и воздух начнет вращаться. Образуется облако, имеющее форму воронки; такой шквал называется торнадо (рис. 27.8).

Вследствие большой скорости и вращения воздуха давление в центре торнадо резко понижается. В результате этого, если центр торнадо проходит над домом с закрытыми окнами и дверьми, то такой дом может в буквальном смысле слова «взорваться», так что стены будут выдавлены наружу. Но хотя торнадо очень разрушителен, продолжительность его очень коротка, а захватываемая площадь обычно мала. Поэтому в большинстве районов вероятность разрушения дома из-за торнадо достаточно мала.

Ураганы. Из всех видов штормов наиболее широко известен и привлекает наибольшее внимание ураган. Одной из причин этого то, что ураган является «зачинщиком» штормов. Как выразился один видный специалист по погоде, «атомная бомба по сравнению с ураганом приблизительно то же, что муха по сравнению со слоном».

Ураганы возникают над поверхностью океана в зоне затишья, где солнечная радиация интенсивна, влажность высока и испаре-

ние воды с поверхности океана огромно. В районах Тихого океана ураганы обычно называются *тайфунами*.

Очевидно, некоторая часть большой массы тропического воздуха нагревается сильнее окружающего воздуха и начинает двигаться вверх естественным потоком; по мере подъема она охлаждается и находящаяся в ней влага конденсируется в виде дождя. Образуются тысячи тонн воды, и освобождается огромное количество теплоты конденсации, что усиливает движение вверх. Это

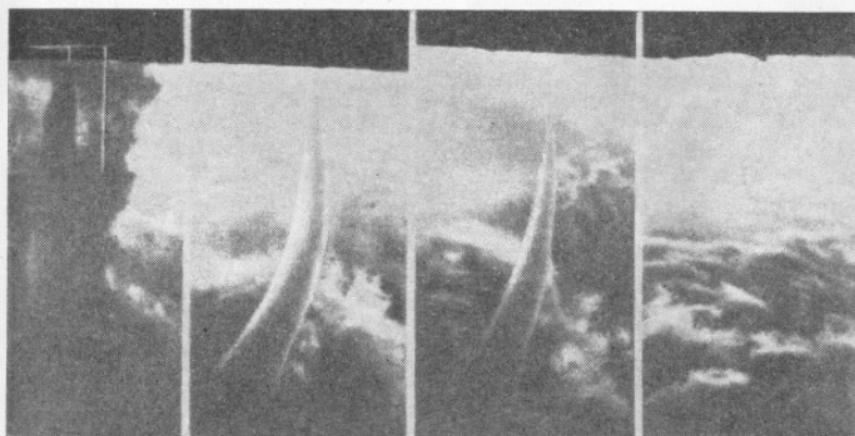


Рис. 27.8. Стадии развития торнадо с характерным воронкообразным облаком, движущимся в пределах узкой полосы на расстояния до 150 км.

тепло конденсации является одним из основных источников энергии урагана.

По мере того как воздух, завихряясь, движется вверх, давление у поверхности океана под ним понижается, и сюда устремляется еще большее количество окружающего теплого влажного воздуха, который продолжает движение вверх. Эти притекающие потоки воздуха врачаются против часовой стрелки к северу от экватора и по часовой стрелке к югу от экватора. Почему? Вихревое движение быстро усиливается, создавая значительную разность давлений между периферией и центром урагана; в центре имеется область затишья, ширина которой приблизительно от 5 до 75 километров. Ветры, связанные с ураганом, могут захватывать полосу шириной от 50 до 150 километров и более. Ураган движется вперед в среднем со скоростью около 15 километров в час.

В течение августа, сентября и октября Карибское море является источником ураганов, но большинство их не достигает суши. Некоторые из этих ураганов достигают берега в Мексиканском заливе,

а другие — где-нибудь между Флоридой и Новой Англией. Как только ураган переходит на сушу, он начинает ослабевать. Объясните.

При появлении урагана начинают дуть ветры, резко падает давление и начинаются сильные ливни. Внезапно подходит центр шторма, ветры могут совершенно затихнуть и даже может засиять

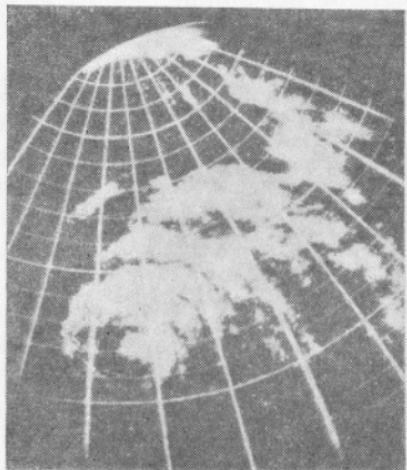


Рис. 27.9. Изображение урагана, полученное на экране радара самолета военно-морского флота США во время полета в центре урагана (слева), и типичные разрушения, причиненные ураганом на Род-Айленде в сентябре 1954 г. (справа).

солнце, и неискушенный человек может подумать, что шторм прекратился. И тогда вдруг шторм подходит с противоположного направления. Почему? Но на этот раз давление быстро возрастает, ветры затихают, дождь уменьшается и скоро шторм прекращается.

О приближении урагана можно судить заранее по определенной форме последовательности образующихся облаков или по его действию на морские волны, которые движутся на расстоянии 700—1500 километров впереди урагана. Но самые надежные предсказания ураганов даются Объединенной службой предупреждения об ураганах в Миами, штат Флорида. Каким образом получается необходимая информация — было бы очень интересно рассказать, но это слишком длинная история и выходит за рамки этой книги. Во всяком случае со временем создания сети метеорологических станций количество жертв и разрушения, вызываемые ураганами, значительно уменьшились.

Циклоны. В зонах преобладающих западных ветров, куда входят и Соединенные Штаты, большая часть осадков вызывается

циклонами. Однако циклон — это не торнадо, как думают очень многие.

Циклон образуется тогда, когда масса полярного воздуха движется в область западных ветров, встречает массу теплого влажного воздуха и теплый воздух устремляется в холодную массу, образуя «язык» в холодном фронте. Это и служит началом циклона.

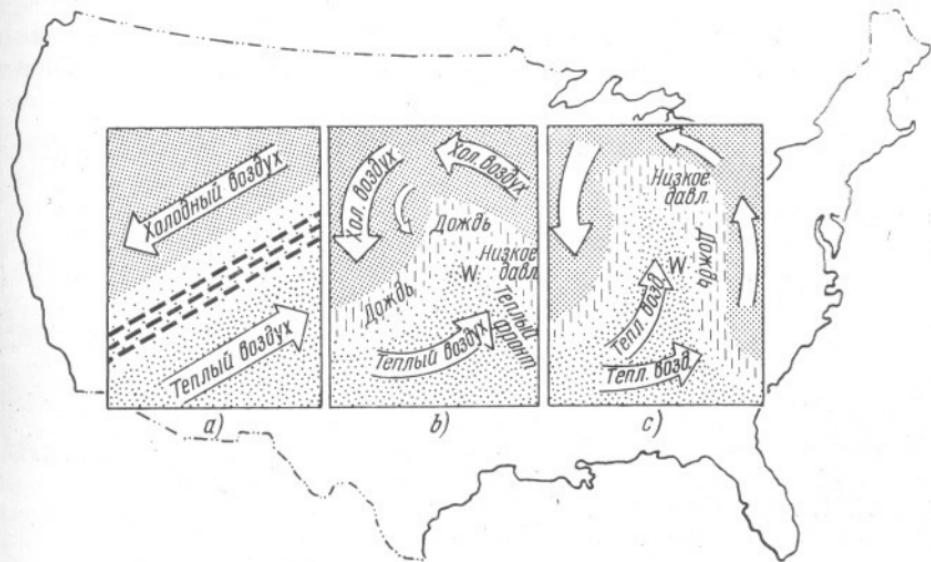


Рис. 27.10. Стадии развития движущегося в восточном направлении циклона: а) холодный фронт встречает теплый воздух; б) теплый воздух вторгается в массу холодного воздуха; при этом образуются холодный фронт, теплый фронт и область низкого давления; с) дальнейшая стадия развития циклона.

Там, где фронты сталкиваются впервые, холодные ветры могут дуть с северо-востока, а теплые ветры — с юго-запада. Однако вторжение теплого воздуха в массу холодного поворачивает движущиеся на запад ветры на северо-восток (рис. 27.10, б).

Но по мере того, как «язык» в массе холодного воздуха углубляется в горизонтальном направлении и теплый воздух, проникающий все дальше на север, оказывается все более и более окруженным холодным воздухом, этот, почти окруженный теплый воздух вытесняется вверх. Это создает область пониженного давления, называемую *областью депрессии*, куда и устремляется окружающий воздух, имеющий, в общем, направление вращения против часовой стрелки (рис. 27.10, с). В южном полушарии циркуляция имеет направление по часовой стрелке.

По мере того как теплый воздух в центре поднимается, он может достичь точки росы, и в результате могут образоваться облака и

выпасть осадки. Таким образом, в области низкого давления циклона можно ожидать дождя или снега.

Как правило, центр циклона движется на восток. Западный край «языка» также движется на восток и на юг. По мере того как холодный воздух сзади продвигается вперед, он устремляется под теплый воздух «языка» и образует холодный фронт, который мы уже рассмотрели (рис. 27.7, б).

Передний край «языка» также движется на восток, однако здесь более легкий теплый воздух «языка» устремляется вверх

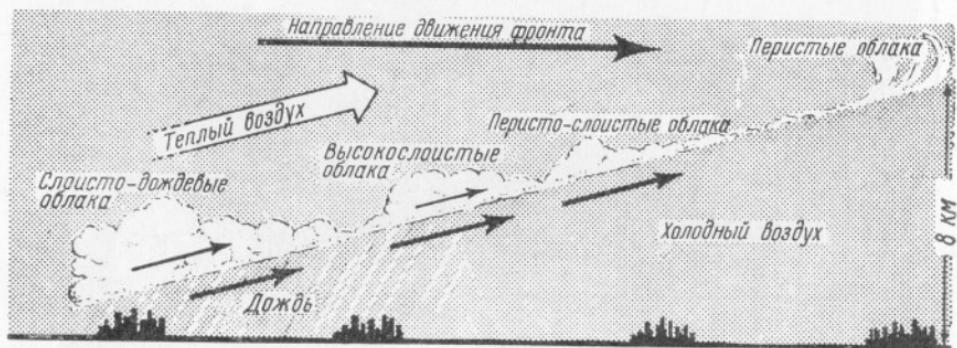


Рис. 27.11. Вертикальный разрез теплого фронта; показаны различные массы воздуха и связанные с ними системы облаков.

над холодным, более плотным воздухом к востоку от него. Так образуется теплый фронт (рис. 27.11).

Если теплый воздух влажен, то, в то время как он поднимается над холодным воздухом, он достигает точки росы, и могут образоваться облака и осадки. Поскольку подъем происходит постепенно и относительно медленно (сравните с подъемом воздуха в холодном фронте), выпадающий дождь или снег обычно не обильный, но мелкий, моросящий и устойчивый по характеру. При этом осадки могут распространяться на 300—500 километров вперед от теплого фронта.

На расстоянии нескольких сотен километров вперед от фронта у земной поверхности восходящий воздух достигает высоты до 10 тысяч метров и более, на которой влага конденсируется, образуя ледяные кристаллы (см. стр. 360), и тогда образуются ряды белых перистых облаков, часто называемые *барашками*. В каком порядке будут появляться облака на западе при приближении теплого фронта?

Итак, полностью сформировавшийся циклон состоит из «языка» — массы теплого воздуха в массе холодного, в результате чего образуются: а) центр низкого давления, б) теплый фронт и в) хо-

лодный фронт. Тёплый воздух находится между холодным фронтом и теплым фронтом. В северном полушарии приземные ветры движутся по направлению к центру низкого давления и при этом вращаются против часовой стрелки (рис. 27.12).

Обычно за циклоном полярного фронта следует область высокого давления, называемая антициклоном. Циркуляция воздуха здесь типична для всех центров высокого давления (см. рис. 27.7, а). Антициклоны являются результатом спорадического проникновения масс полярного воздуха в зону преобладающих западных

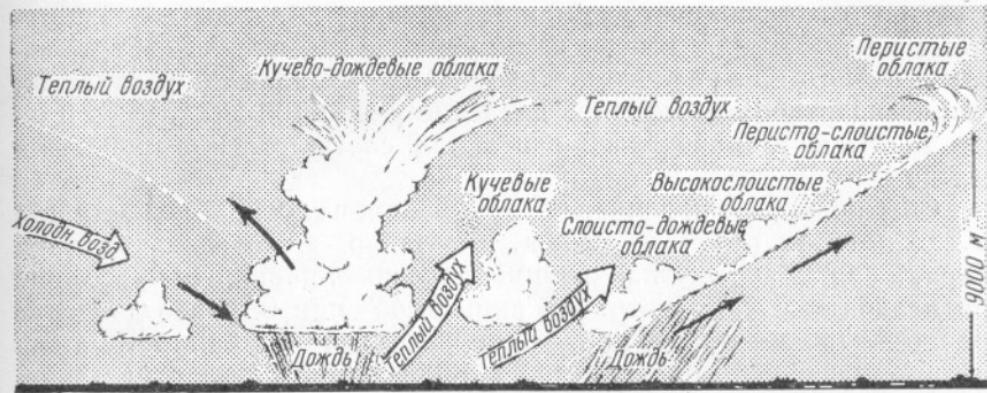


Рис. 27.12. Вертикальный разрез шквала перед холодным фронтом; показаны фронты, осадки и характерное для каждого фронта образование облаков.

ветров, через которую попеременно проходят циклоны и антициклоны, движущиеся в восточном направлении.