

амфора атлас



Сторм Данлоп

АТЛАС ПОГОДЫ

атмосферные явления и прогнозы



УДК 551
ББК 26.23
Д 17

STORM DUNLOP
Philip's Guide to Weather Forecasting
(All the information you need to make your own weather forecast)

Проект В. Б. Назарова

Научный консультант серии В. М. Храбрый

Перевел с английского Д. С. Курдыбайло

*Издательство выражает благодарность
Philip's (an imprint of Octopus Publishing Group Ltd)
за содействие в приобретении прав*

*Защиту интеллектуальной собственности и прав
издательской группы «Амфора»
осуществляет юридическая компания
«Усков и Партнеры»*



Данлоп С.

Д 17 Атлас погоды: Атмосферные явления и прогнозы / Сторм Данлоп ;
[пер. с англ. Д. Курдыбайло]. — СПб. : Амфора. ТИД Амфора, 2010. —
191 с. : ил. — (Серия «Амфора-Атлас»).

ISBN 978-5-367-01242-2

Современный атлас погоды, созданный известным английским ученым С. Данлопом, не только дает достаточно полное и, благодаря многочисленным иллюстрациям, наглядное представление о строении атмосферы и различных явлениях в ней, но и может служить пособием для самостоятельного составления прогнозов.

УДК 551
ББК 26.23

© Philip's, 2008
© Издание на русском языке,
перевод на русский язык, оформление.
ЗАО ТИД «Амфора», 2010

ISBN 978-5-367-01242-2

СОДЕРЖАНИЕ

Происхождение погоды	6
Атмосфера: ее структура и циркуляция	6
Ветры и эффект Кориолиса	15
Облака	26
Формы облаков	31
Оптические явления	60
Цвета неба и облаков	69
Погодные условия	72
Местная погода	98
Погода в Северной Америке	122
Погода в Европе и странах Средиземноморья	124
Погода над Австралией и Новой Зеландией	126
Наблюдение погоды	128
Инструменты и методы наблюдения погоды и отображение их результатов на картах	136
Прочие наблюдения	157
Синоптические карты	162
Профессиональные прогнозы погоды	172
Составление прогноза	175
Наблюдение и фотографирование неба	184
Глоссарий	186
Указатель иноязычных и русских терминов	189

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОГОДЫ

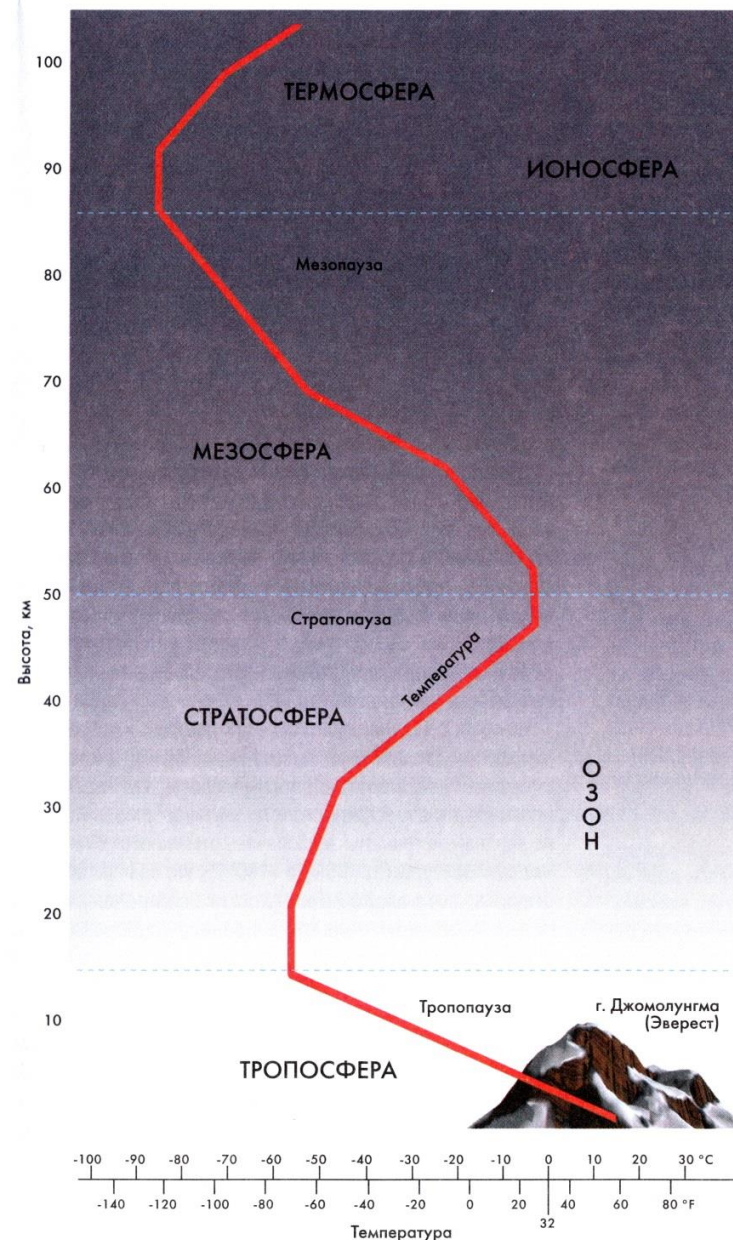
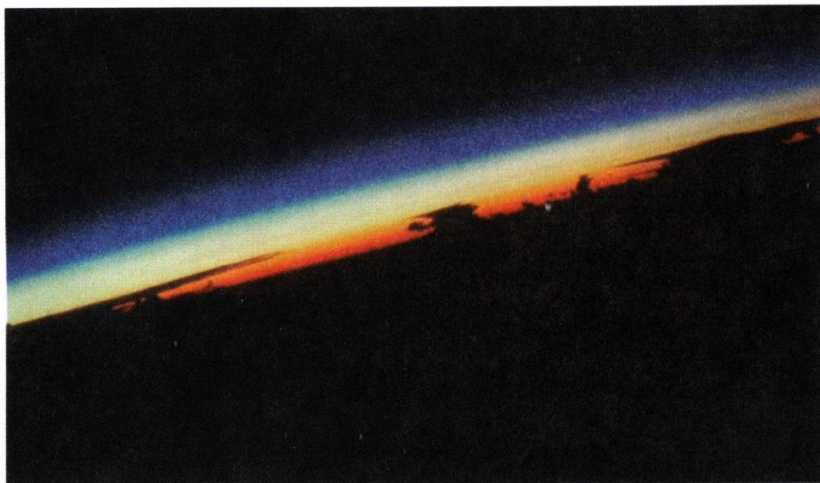
Атмосфера: ее структура и циркуляция

Может показаться странным, что речь о прогнозе погоды начинается с описания климатической ситуации по всей Земле, однако это неслучайно. Прежде всего, чтобы дать верный прогноз, необходимо иметь представление о значительных областях пространства с «наветренной» стороны от того места, погода в районе которого нас интересует. Например, чтобы предсказать погоду в Европе на завтра, профессиональному синоптику необходимо знать, что происходит по другую сторону Атлантики, равно как и на западном побережье Северной Америки требуется подробная информация о погодной ситуации над Тихим океаном, вплоть до Японии. Для прогноза на три дня вперед необходимы точные сведения уже со всей Земли, включая Южное полушарие и Антарктику. В целом, понимание основных закономерностей формирования погоды чрезвычайно полезно для ее прогнозирования даже над самыми небольшими территориями.

Вершины этих ▼
кучево-дождевых
облаков в виде
накавален лежат
у тропопаузы,
высота которой над
экватором составляет
около 15 км

Строение атмосферы

Большинство атмосферных явлений, равно как и почти все типы облаков, возникают и наблюдаются в самом нижнем слое атмосферы — тропосфере. Толщина ее очень мала в сравнении с размерами Земли, диаметр которой по экватору составляет 12 756 км, а расстояние между полюсами — 12 714 км. В экваториальной области толщина



▲ Типичный температурный профиль атмосферы. Высота тропопаузы составляет от 18–20 км над экватором до менее чем 7 км над полюсами. Высота тропопаузы меняется в течение года

Озоновые дыры

Озон, содержащийся в стратосфере, поглощает ультрафиолет, защищая Землю от его вредного воздействия. Озоновый слой повреждается неразлагающимися промышленными выбросами, прежде всего фреонами. Попадание их в атмосферу привело к уменьшению концентрации атмосферного озона на несколько процентов по всей планете, с наибольшим истощением озонового слоя в полярных областях. Происходит это потому, что в облаках полярной стратосферы (включая перламутровые, см. стр. 57–58) на поверхностях составляющих их микрочастиц происходит наиболее интенсивное разложение озона, особенно когда Солнце возвращается на небосвод после полярной ночи.

Самые большие размеры имеет озоновая дыра над Антарктикой, где сильные полярные ветры (так называемый полярный вихрь) изолируют воздух от общей циркуляции атмосферы. После принятия международных соглашений 1987 года о запрете на выброс в атмосферу фреонов и ряда других веществ, появились признаки уменьшения озоновых дыр, но для полного восстановления озонового слоя потребуются, вероятно, десятилетия.

тропосферы достигает 18–20 км над поверхностью земли, постепенно уменьшаясь до 7 км над полюсами. Для верхней границы тропосферы, называемой тропопаузой, свойственно резкое изменение характера зависимости температуры воздуха от высоты. Вообще говоря, по мере подъема от поверхности земли к тропопаузе температура уменьшается, хотя зачастую и неравномерно, что играет существенную роль в образовании облаков, как это мы подробнее увидим ниже (см. стр. 28).

По достижении тропопаузы падение температуры прекращается, и она принимает постоянное значение, более или менее неизменное на протяжении нижней части следующего атмосферного слоя — стратосферы (см. рис. на стр. 7). Высшие слои стратосферы прогреваются сильнее с ростом высоты, и их температура достигает максимума на уровне около 50 км, причиной чему служит поглощение ультрафиолетового излучения солнца молекулами озона (O_3), наибольшая концентрация которого достигается на высоте 20–25 км. Необходимо отметить, что химические вещества, выбрасываемые человеком в атмосферу, разрушают озон, и над Арктикой и Антарктикой возникают сезонные «озоновые дыры». В стратосфере почти нет облаков, лишь иногда встречаются скопления мельчайших кристалликов льда в самом нижнем ее слое, которые образуют красивые, но редко наблюдаемые перламутровые облака (см. рис. на стр. 57).

Начиная с верхней границы стратосферы — стратопаузы, располагающейся на высоте около 50 км, температура снова начинает падать с ростом высоты, что характерно для третьего атмосферного слоя — мезосферы. На уровне верхней ее границы, мезопаузы, отмечаются очень низкие температуры (от -163 до -100°C), что обычно соответствует высоте около 86 км (достигая, впрочем, 100 км летом в полярных областях). Процессы, происходящие в мезосфере, не оказывают прямого влияния на погоду у поверхности Земли, но вблизи мезопаузы можно наблюдать самые высокие облака — серебристые, видимые изредка и только на высоких широтах в середине ночи летом.

Над мезосферой пролегает крайний, самый удаленный от поверхности Земли атмосферный слой — термосфера. Отдельно выделяют еще ионосферу, охватывающую высшие слои мезосферы и нижние — термосферы (на высотах начиная с 60 и до 1000 км), и хотя эта область непосредственно не влияет на земную погоду, от ее состояния зависит распространение электромагнитных волн, огибающих земной шар, что важно для радиосвязи. Кроме того, именно в ионосфере возникает полярное сияние.



◀ Бледные серебристые облака с синеватым оттенком лежат высоко над слоем тропосферы оранжевой окраски и темными низкими облаками. Атмосфера простирается и дальше в высоту, о чем можно судить по размытым очертаниям нижнего края полумесяца

Химический состав атмосферы

Химический состав атмосферы остается почти неизменным вплоть до высоты примерно в 85 км, то есть до верхней границы мезосферы. Основные составляющие воздуха:

азот	78,09%,
кислород	20,95%,
аргон	0,94%,
углекислый газ	0,03%,

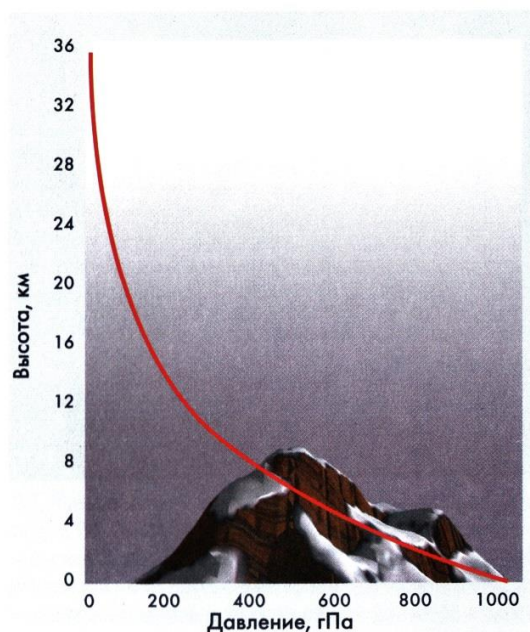
а также незначительные количества неона, гелия, метана, криптона, водорода, оксида азота и ксенона. Концентрация паров воды меняется от 0 до 4%, и влажность воздуха, как будет описано ниже, имеет большое значение для формирования погоды.

Та область, в которой все эти газы, будучи равномерно перемешаны, и составляют воздух, называется гомосферой, а на высотах более 85 км начинается гетеросфера, где газы разделяются на слои пропорционально своей плотности, так что самые легкие из них (водород и гелий) поднимаются выше всего и могут уходить из атмосферы в открытый космос.

Движение атмосферного воздуха

Циркуляция атмосферы и перемена погоды в конечном счете обусловлены количеством тепла, приходящего от Солнца, и различием температур между областями, получающими наибольшую долю тепла и менее прогреваемыми. Ветры и океанические течения переносят тепло из самых жарких мест (преимущественно из тропических областей) к полюсам. Неравномерный прогрев планеты обуславливает разность значений атмосферного давления, вызывающую появление ветров, которые, в свою очередь, приводят в движение водные массы, хотя, разумеется, направление и скорость течений зависят также от глубины, рельефа океанического дна, формы и размеров подводных горных образований.

Упрощенная модель ►
падения атмосферного
давления по мере
увеличения высоты



Давление

Атмосферное давление — исключительный по важности фактор, наиболее сильно влияющий на погоду, дающий возможность предсказать ее изменения. В каждой точке атмосферы давление воздуха создается весом вышележащего воздушного столба, поэтому с высотой давление уменьшается. Поскольку воздух легко сжимается, его плотность наиболее велика у поверхности земли. На давление и плотность влияет также температура воздуха: нагретые молекулы газа движутся с большей скоростью, и если в закрытом объеме это приводит к росту давления, то в атмосфере, напротив, воздушная масса расширяется и давление падает. Охлаждение, очевидно, приводит к сжатию воздуха, и его давление увеличивается. По этим причинам неравномерный прогрев атмосферы в разных участках планеты создает различие давлений. В разные времена года распределение областей высокого и низкого давления, разумеется, различно: на диаграммах показано среднее атмосферное давление в разных частях земного шара в январе и в июле (см. рис. на стр. 11). На этой иллюстрации области высокого и низкого давления отмечены различными цветами, тогда как на синоптических картах (о них будет рассказано на стр. 162) строятся изобары — линии, соединяющие точки с равным значением атмосферного давления.

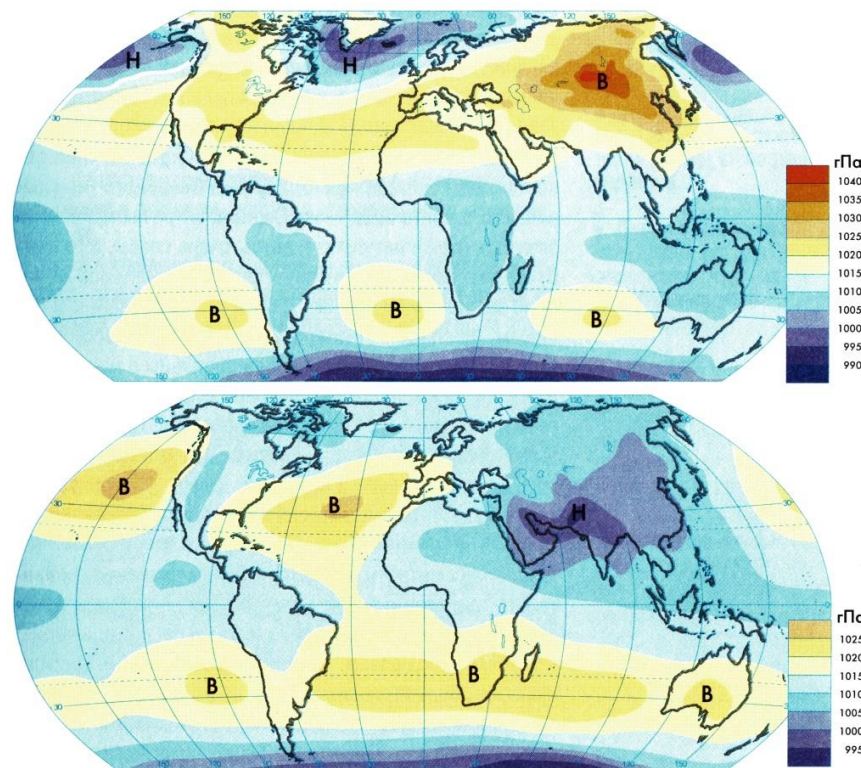
Самые резкие различия между зимним и летним распределением давления наблюдаются над Сибирью, где повышенное давление зимой (Сибирский максимум) сменяется пониженным — летом; а также над северными областями Атлантического и Тихого океанов, где зимой давление, напротив, снижается (соответственно — Исландский и Алеутский минимумы). Мы еще обратимся к ним немного ниже.

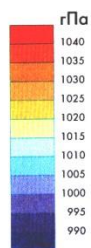
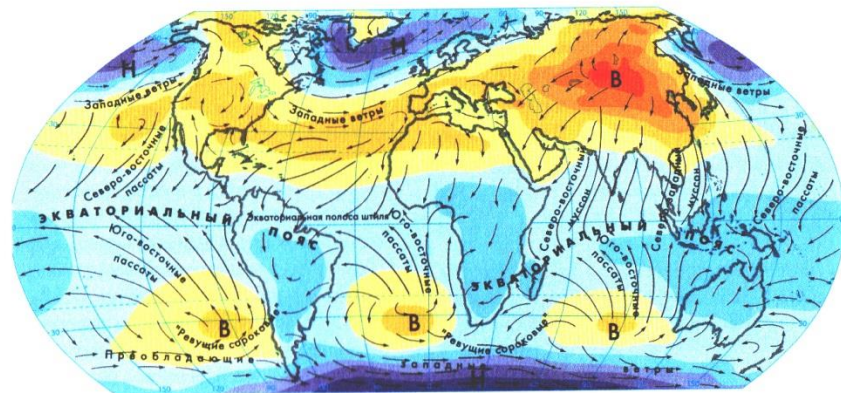
Различие давлений в разных областях Земли, характеризующееся их градиентом, приводит в движение воздух, покидающий области повышенного давления и устремляющийся туда, где оно ниже. Так возникают ветры, направление и сила которых зависит от времени года и меняется с течением лет.

▼ Типичное распределение атмосферного давления на уровне моря в январе (сверху), видны Сибирский максимум (крупный антициклон), Исландский и Алеутский минимумы (крупные циклоны или депрессии); и в июле (снизу), когда юго-западный Азиатский минимум приводит к возникновению муссонов. Давление в зонах высокого давления Южного полушария никогда не поднимается до таких высоких значений, как в Северном полушарии
В — область высокого давления
Н — область низкого давления

Измерение давления

Атмосферное давление измеряется с помощью барометра (см. рис. на стр. 146) и первоначально исчислялось в дюймах ртутного столба (inHg). Такие величины приводятся иногда в прогнозах погоды (преимущественно в США). Но чаще используется другая единица — миллибар (мбар), одна тысячная бара (усредненное значение давления на уровне моря). Впрочем, точное значение этой величины на уровне моря — 1013,2 мбара. Техническое устройство барометров позволяет измерять давление в паскалях (Па) или килопаскалях (кПа), но для удобства и во избежание путаницы многие метеорологи пользуются другой единицей: гектопаскалем (гПа), причем 1 гектопаскаль (1 гПа) равен 1 миллибару (1 мбар).





Типичное распределение ▲
атмосферного давления
и ветров на уровне моря
в январе

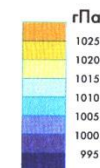
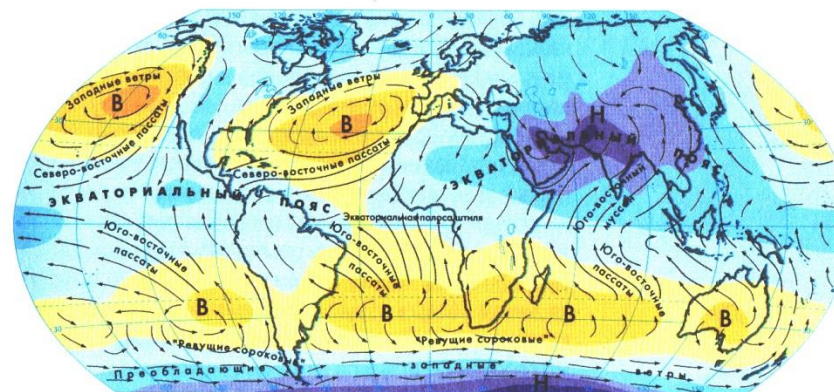
Зимой в Южном ▼
полушарии
единственный
Континентальный
максимум образуется
над Австралией



Общая циркуляция атмосферы

Прежде считалось, что в каждом полушарии имеется по одной большой области циркуляции, в которой нагретый воздух поднимается в экваториальной области и опускается у полюсов. На сегодняшний день, однако, обнаружены три такие области в каждом полушарии.

Одного взгляда на карту распределения ветров на планете (см. иллюстрации) довольно, чтобы увидеть по две из трех таких систем в каждом полушарии. Северо-восточные пассаты, приходящие из Северного полушария, и юго-восточные — из Южного, встречаются вблизи экватора (где, в результате, ветры очень слабы, а то и отсутствуют вовсе, что именуется экваториальной областью затишья или штиля). Далее, по направлению к полюсам, со спадом температуры начинают преобладать западные ветры, которые особенно сильны в Южном полушарии, где меньше материковой суши, затрудняющей свободное движение воздушных потоков. Сила этих ветров в средних широтах так велика, что за ними закрепилось широко известное название: «ревущие сороковые»; также известны «зловещие пятидесятые» и «пронизывающие шестидесятые». Еще ближе к полюсам (что трудно рассмотреть на картах с типом проекции, принятой на приведенных нами иллюстрациях) располагается полоса восточных ветров, дующих по направлению к умеренным широтам. Три главные системы Южного полушария просматриваются гораздо отчетливее, чем в полушарии Северном, где неровности ландшафта искажают подобную картину, что особенно заметно зимой.



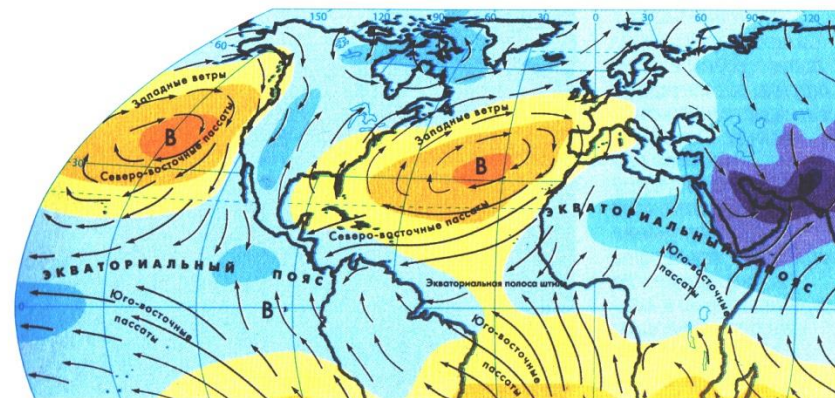
Области циркуляции

Воздушные массы, разогретые на экваторе, поднимаются (создавая приповерхностную область низкого давления) и переносятся к северу или к югу, снова опускаясь затем к поверхности Земли около 30° северной или южной широты. Так образуются квазиустойчивые области повышенного давления, называемые субтропическими антициклонами или субтропическими максимумами, откуда часть воздушных масс переносится обратно к экватору уже на малых высотах, замыкая круговорот, тогда как другая часть теплого воздуха движется (также в приповерхностных слоях) к полюсам, достигая средних широт обоих полушарий.

В то же время воздух, охлаждающийся в полярных областях, становится плотнее и переносится от полюсов к средним широтам, где, сталкиваясь со встречным пото-

▲ Типичное
распределение
атмосферного давления
и ветров на уровне моря
в июле

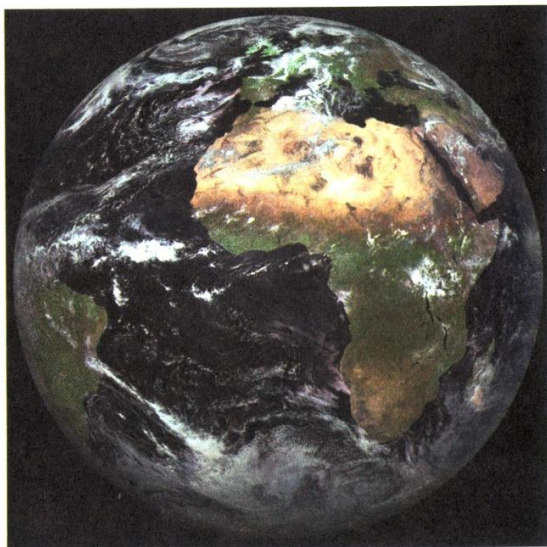
▼ Летом в Северном
полушарии погода
определяется двумя
преобладающими
антициклонами



ком, образует особые пограничные области в атмосфере, называемые полярными фронтами и имеющиеся по одному в каждом полушарии. Именно к полярным фронтам приурочены области возникновения большинства погодных систем, влияющих на климат умеренных широт. Вдоль определенных участков обоих полярных фронтов теплый воздух поднимается над холодным, и поток разделяется так, что одна его часть продолжает движение к полюсам, а другая возвращается к субтропическому максимуму. Таким образом в каждом из полушарий формируется по три области общей циркуляции атмосферы, между которыми также происходит некоторый обмен воздушными потоками.

Тропопауза, разделяющая тропосферу и стратосферу, не является ровной и гладкой границей. В ней могут быть определенного рода разрывы и относительно резкие изменения уровня, особенно вблизи областей субтропических максимумов и полярных фронтов. В отдельных случаях тропопауза может даже расщепляться на два слоя, разнесенных по высоте. Через такие разрывы может происходить обмен воздухом между тропосферой и стратосферой, и тогда рядом с ними часто образуются струйные течения (речь о них пойдет ниже).

На этом снимке, ► сделанном спутником *Meteosat*, северный полярный фронт отмечен линией облаков к западу от Бискайского залива. Субтропические антициклоны над Сахарой, Аравийским полуостровом и югом Африки обеспечивают преимущественно ясную погоду. Скопления облаков над экваториальной Атлантикой отмечают положение внутритропической зоны конвергенции, где северо-восточные и юго-восточные пассаты встречаются друг с другом

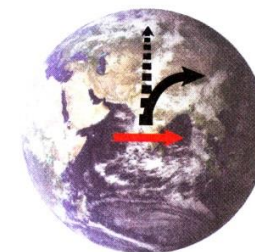


Ветры и эффект Кориолиса

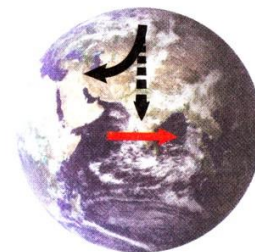
Направление ветра всегда определяется по той стороне, откуда дует ветер, так что, например, ветры, преобладающие в умеренных широтах Земли и дующие с запада на восток, называются западными. Причиной их преобладания является вращение нашей планеты вокруг своей оси. То, каким образом это происходит, заслуживает более подробного описания хотя бы потому, что подобные явления обнаруживают себя и в гораздо меньших масштабах, даже на самых небольших территориях, влияя на погоду и предопределяя ее в будущем.

В результате вращения Земли общая циркуляция атмосферы не ограничена строго направлением север-юг, воздушные потоки, как правило, движутся под некоторым углом к параллелям. Рассмотрим воздушную массу, находящуюся вблизи экватора (рис. а). Она перемещается с довольно большой скоростью вместе с вращающейся Землей (преодолевая свыше 40 000 км за 24 часа), тогда как подобная масса на полюсах остается неподвижной, совершая за сутки лишь один оборот на своем месте. Иными словами, скорость движения поверхности Земли в восточном направлении уменьшается от экватора к полюсам.

Если теперь воздушная масса начнет перемещаться от экватора к полюсу, то по инерции она будет сохранять быстрое исходное движение на восток, тогда как лежащая под ней поверхность Земли будет двигаться на восток уже медленнее. В целом это будет выглядеть как поворот на пути от экватора к полюсу: направо — в Северном полушарии и налево — в Южном. В этом отклонении и состоит эффект Кориолиса, имеющий место, разумеется, и для встречного движения от полюсов к экватору (рис. б). В последнем случае воздух движется медленнее, чем земля под ним, и потому в Северном полушарии отклонение также происходит направо, а в Южном — налево. Слабее всего эффект проявляется на экваторе и сильнее всего — на полюсах; кроме того, он пропорционален скорости воздушных потоков, возрастая с усилением ветра. К последней зависимости мы еще вернемся, поскольку она играет значительную роль в формировании климатических систем и влияет на местную погоду.



а

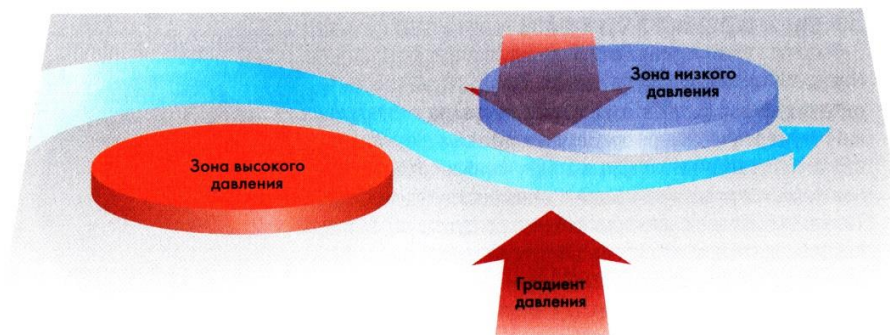


б

▲ Эффект Кориолиса: воздушная масса, движущаяся от экватора на север (а), отклоняется за счет вращения Земли к востоку, тогда как при движении от полюса к экватору (б) отклонение будет направлено на запад

Пассаты, западные ветры и полярные восточные ветры

В Северном полушарии эффект Кориолиса приводит к тому, что теплый воздух, поднимающийся у экватора и движущийся на север, отклоняется к востоку и на боль-



Циркуляция воздуха ▲
вокруг областей
высокого и низкого
давления
при отсутствии трения
о поверхность земли
(т. е. на существенной
высоте в атмосфере)

Как найти атмосферный минимум? Правило Бейс-Балло

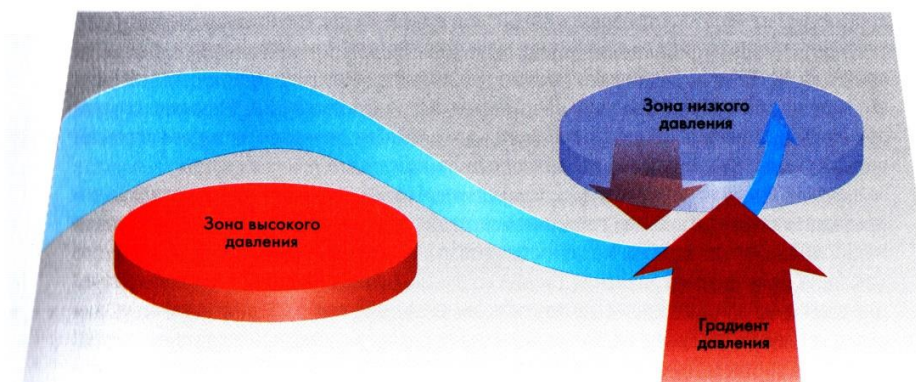
Нередко мы забываем, в каком направлении ветры движутся вокруг центров низкого давления. Проще всего запомнить это с помощью правила, впервые предложенного датским метеорологом Генрихом Бейс-Балло и гласящего: если встать спиной к ветру, область низкого давления будет по левую руку (в Северном полушарии, в Южном же — по правую).

ших высотах становится юго-западным ветром, направляющимся к области субтропических антициклонов. Вблизи поверхности земли воздух, возвращающийся из антициклонов к югу, испытывает подобное же отклонение, образуя по преимуществу северо-восточные пассаты, направленные к экватору. В Южном полушарии та же картина отвечает формированию юго-восточных пассатов.

Эффект Кориолиса так же воздействует и на приповерхностные воздушные потоки, идущие из субтропических антициклонов к полюсам. В обоих полушариях отклонение этих потоков направлено к востоку, образуя западные ветры в средних широтах, которые определяют погоду в областях умеренного климата (особенно в Северном полушарии), где живет большинство населения планеты. Наконец, эффект Кориолиса приводит к отклонению потоков холодного воздуха, движущихся от полюсов, что порождает полярные восточные ветры. В Южном полушарии эти ветры всегда наблюдаются у границы Антарктиды благодаря постоянному притоку холодного воздуха из глубины материка, тогда как в Северном полушарии описанная картина формирования восточных ветров нарушается зимой сильными потоками холодного воздуха из Сибири и арктических регионов Канады.

Циркуляция воздуха вблизи максимумов и минимумов атмосферного давления

Как показано на картах (стр. 13), в Северном полушарии воздушные потоки субтропического антициклона циркулируют по часовой стрелке вокруг его центра, тогда как для области низкого давления (в том же полушарии) циркуляция будет направлена против часовой стрелки. Если втека-



ющие в такую область потоки воздуха образуют замкнутый контур циркуляции, то его центр называют циклоном или просто областью низкого давления. Направление циркуляции можно определить с помощью правила Бейс-Балло.

Вопреки тому, что подсказывает наша интуиция, воздух не переносится прямо из области высокого давления в область низкого. Как только градиент давления приводит в движение воздушную массу, ее сразу начинает отклонять в сторону сила Кориолиса: вправо в Северном полушарии и влево — в Южном. Изгиб траектории нарастает до тех пор, пока две силы (Кориолиса и градиент давления) не уравновесят в точности друг друга, и тогда воздушная масса будет очерчивать траекторию вокруг центра низкого давления, точно повторяя изгибы соответствующих изобар. Такая картина чаще всего наблюдается в атмосфере на относительно большой высоте, где на циркуляцию воздуха уже не влияет трение о поверхность Земли (такие воздушные потоки, ровно движущиеся по линиям изобар, называют геострофическим ветром). В самом низком приповерхностном атмосферном слое (его еще называют пограничным) трение воздуха о земную поверхность является наибольшим, и это приводит к турбулентности. Скорость ветра при этом падает, равно как и пропорциональная ей сила Кориолиса, поэтому воздушная масса будет меньше отклоняться вправо (в Северном полушарии) на малых высотах. Приповерхностные ветры, таким образом, по спирали втягиваются внутрь центров низкого давления и по спирали же покидают области высокого давления.

Толщина пограничного слоя составляет примерно 500 м над морем и 1500 м — над сушей. Выше этого слоя направление ветра меняется, отклоняясь вправо (Северное

▲ **Циркуляция воздуха**
вокруг областей
высокого и низкого
давления с учетом
трения о поверхность
земли. Величина
конвергенции или
дивергенции воздушных
потоков зависит от типа
располагающейся
под ними поверхности

Поворот и «задний ход»

Когда говорят «ветер повернул», имеют в виду, что направление, от которого дует ветер (направление ветра), изменилось по часовой стрелке, то есть вправо. Изменение в противоположном направлении (против часовой стрелки) известно как «задний ход». Отметим, что большинство метеорологов используют это правило по отношению к ветрам в обоих полушариях, однако некоторые американские авторы пишут о перемене направления, описывая лишь ветры в Южном полушарии.

полушарие) на 10–15° над морем и 40–50° над сушей. На эти величины и следует скорректировать правило Бейс-Балло: над морем центр низкого давления будет смещен вперед на 10–15° по сравнению с тем, что указывает правило. Над сушей, соответственно, вперед на 40–50°. С высотой направление ветра меняется, и это нередко служит причиной недоразумений, когда люди видят, что облака движутся не в том направлении, в котором дует ветер над поверхностью земли.

Круговая циркуляция вблизи максимумов и минимумов атмосферного давления сопровождается вертикальным движением воздуха. В экваториальных областях горячий поднимающийся воздушный поток образует дополнительную область пониженного давления, зону низкого давления теплой воздушной массы. В области низкого давления движение воздуха идет к центру, и по мере заполнения этой области воздушная масса устремляется вверх, образуя зону низкого давления холодной воздушной массы. Этой паре соответствуют две подобные зоны области высокого давления. В области субтропического антициклона воздух опускается через толщу тропосферы, образуя сухую теплую воздушную массу над поверхностью земли, зону высокого давления теплой воздушной массы. В зоне высокого давления холодной воздушной массы воздух опускается и сжимается, что приводит к его нагреванию. Однако поверхность земли к тому времени уже отдала тепло в виде инфракрасного излучения в окружающее пространство, поэтому воздух, опустившись, вновь мгновенно охлаждается от соприкосновения с землей. Воздух обладает слабой теплопроводностью, поэтому приповерхностный слой холодного воздуха практически не прогревается вышележащим, несколько более теплым слоем. Со временем «резервуар» плотного холодного воздуха растет и расширяется, причем значительная доля охлаждения обусловлена соприкосновением с земной поверхностью.

Хотя сказанное в общих чертах согласуется с реальной картиной циркуляции воздушных потоков в субтропических антициклонах, на самом деле процессы, происходящие в зонах низкого давления, гораздо сложнее. Две наиболее значительные зоны с устойчивым низким атмосферным давлением зимой (Исландский и Алеутский минимумы) всегда можно увидеть на общих метеорологических картах вследствие того, что истинные циклоны (то есть с замкнутой циркуляцией), как правило, проходят над этими территориями.

Муссоны

В Северном полушарии наиболее резкая сезонная перемена в атмосферном давлении происходит над Сибирью, от зоны высокого давления холодной воздушной массы зимой — к зоне низкого давления теплой воздушной массы летом, что порождает два муссона (название происходит от арабского слова, означающего «сезон», «время года») с отчетливым изменением направления ветра в течение года. Зимой холодный воздух движется из глубины материка, образуя северо-восточный муссон над юго-востоком азиатского региона. Летом ветры, переменяв направление, дуют к центру Азии, принося сильные дожди с тропических океанов. С началом сезона летних муссонов наступает очень жаркий период в первые декады лета, который радостно встречается местными жителями, несмотря на часто сопровождающие его наводнения. Если по какой-то причине летние муссоны не приходят, это пагубно сказывается на сельском хозяйстве Индии и всей Юго-Восточной Азии в целом, приводя к засухе, малым урожаям и даже голоду.

Воздушные массы

Если воздух долгое время пребывает над одним определенным регионом Земли, то он приобретает две устойчивые характеристики, зависящие от места: определенные температуру и влажность. Объем воздуха, для которого эти параметры четко определены, называется воздушной массой, а область, над которой она формируется, — очагом. Когда воздушная масса начинает отдаляться от него, она поначалу сохраняет свои характеристики, но со временем и по мере пройденного расстояния они могут сильно изменяться под влиянием земной поверхности, над которой пролегает ее путь. Нетрудно догадаться, что воздушные массы имеют исключительное значение для формирования погоды на близлежащих к их очагам территориях.

Есть четыре типа регионов, над которыми образуются воздушные массы, классифицируемые по температуре:

- арктические и антарктические (А)
- полярные (П)
- тропические (Т)
- экваториальные (Э)

Антарктический воздух иногда обозначают символом «АА», когда необходимо особо отличить его от воздуха арктического.

В зависимости от того, над сушей или над океаном сформировалась воздушная масса, выделяют две широкие категории: континентальную (к) и морскую (м), существенно различающиеся, как нетрудно догадаться, своей влажностью. В сочетании перечисленные типы дают основные категории воздушных масс:

- континентальные арктические (кА) — чрезвычайно холодные и сухие;
- континентальные полярные (кП) — холодные и сухие;
- континентальные тропические (кТ) — горячие и сухие;
- морские арктические (мА) — чрезвычайно холодные и влажные;
- морские полярные (мП) — холодные и влажные;
- морские тропические (мТ) — теплые и влажные;
- морские экваториальные (мЭ) — горячие и влажные.

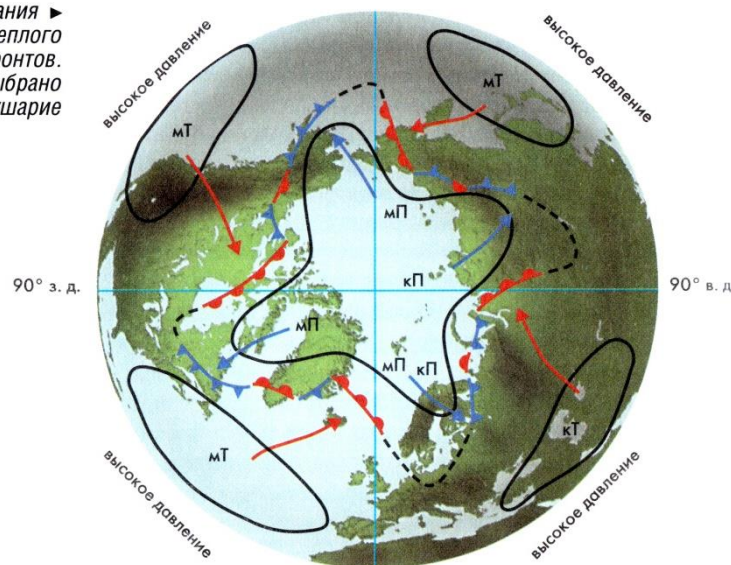
Экваториальный воздух всегда горячий и влажный и потому никогда не бывает континентального типа. Континентальный арктический воздух в Арктике наблюдается только зимой, тогда как в Антарктике сохраняется в течение всего года.

Фронты

Атмосферным фронтом называют границу между двумя воздушными массами, обладающими разной температурой и влажностью. Насчитывают три типа фронтов: теплый, холодный и фронт окклюзии (стр. 76–79). Последний тип мы подробно обсудим в разделе, посвященном зонам низкого давления (стр. 72–77), а первых двух коснемся сейчас.

Нужно отметить, что важна относительная разность температур между двумя воздушными массами. Фронт возникает, например, когда арктический (или антарктический) воздух встречается с воздухом полярного типа. Зимой в Северном полушарии часто образуется арктический фронт, простирающийся от Гренландии до Скандинавии и разграничивающий очень холодные массы морского арктического воздуха от менее

Схема чередования ▶
ответвлений теплового
и холодного фронтов.
Для примера выбрано
Северное полушарие



холодного морского полярного воздуха. Схожий фронт (тоже называемый арктическим) разделяет континентальный арктический и континентальный полярный воздух над Канадой. Между 60 и 65° южной широты лежит полупостоянный антарктический фронт на границе между холодным воздухом, приходящим из глубины континента, и морским полярным воздухом из более удаленных к северу областей.



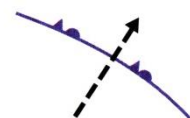
Холодный фронт



Теплый фронт



Стационарный фронт



Фронт окклюзии

Полярный фронт

Два полярных фронта — важные атмосферные границы, с которыми связано формирование большинства из сильно изменчивых барических систем, влияющих на погоду умеренных широт. Граница между холодным полярным воздухом и теплым воздухом из субтропиков вовсе не прямолинейна, но извилисто петляет вдоль земных параллелей и обычно имеет четыре или пять ответвлений, которым соответствуют области, где холодный воздух оттесняется к экватору, а теплый — к полюсу (воздушные массы «нахлестываются» друг на друга). По существу, такие ответвления состоят из последовательности чередующихся теплых и холодных фронтов, где попеременно выступают вперед то теплые, то холодные массы.

Вдоль границы постоянно происходят изменения, вызванные тем, что ответвления попеременно растут или сужаются. Обычно они смещаются к востоку по мере вращения Земли, но иногда «блокируются», оставаясь непод-

вижными в течение значительного времени, а в редких случаях могут даже двигаться к западу. Пограничная зона редко бывает устойчивой, вторичная волна процессов ответвлений приводит к образованию новых циклонов и сопутствующих им антициклонов, приносящих изменчивую погоду в умеренные широты. Все это чрезвычайно важно для понимания того, как формируется погода, и будет подробно обсуждаться далее (стр. 72–77).

Струйные течения

Струйные течения — это быстрые лентообразные потоки воздуха, порождаемые особенно сильными перепадами температуры и движущиеся в верхних слоях тропосферы и в нижней части стратосферы. Известно множество различных типов струйных течений, но для определения погоды на поверхности Земли важны лишь два из них, возникающих при существенных разрывах тропопаузы. Первый тип наблюдается возле полярных фронтов, где холодный полярный воздух встречается с теплым воздухом из субтропиков, и второй возле субтропических зон высокого давления, где горячий тропический воздух встречается с более прохладным потоком, идущим из умеренных широт.

Струйные течения образуются (равно как и ветры на меньших высотах) там, где имеют место сильные колебания температуры на высоте приблизительно 9000 м (30 000 футов) (см. заметку об измерении высот в атмосфере). Столб теплого воздуха простирается до заметно большей высоты, чем располагающийся рядом столб холодного воздуха. Поскольку давление определяется массой воздушного столба над заданной точкой, то атмосферное давление с теплой стороны фронта

▼ Полярный фронт
четко виден,
он проходит с севера
на юг над Западной
Европой (спутниковая
фотография)



Измерение высоты в атмосфере

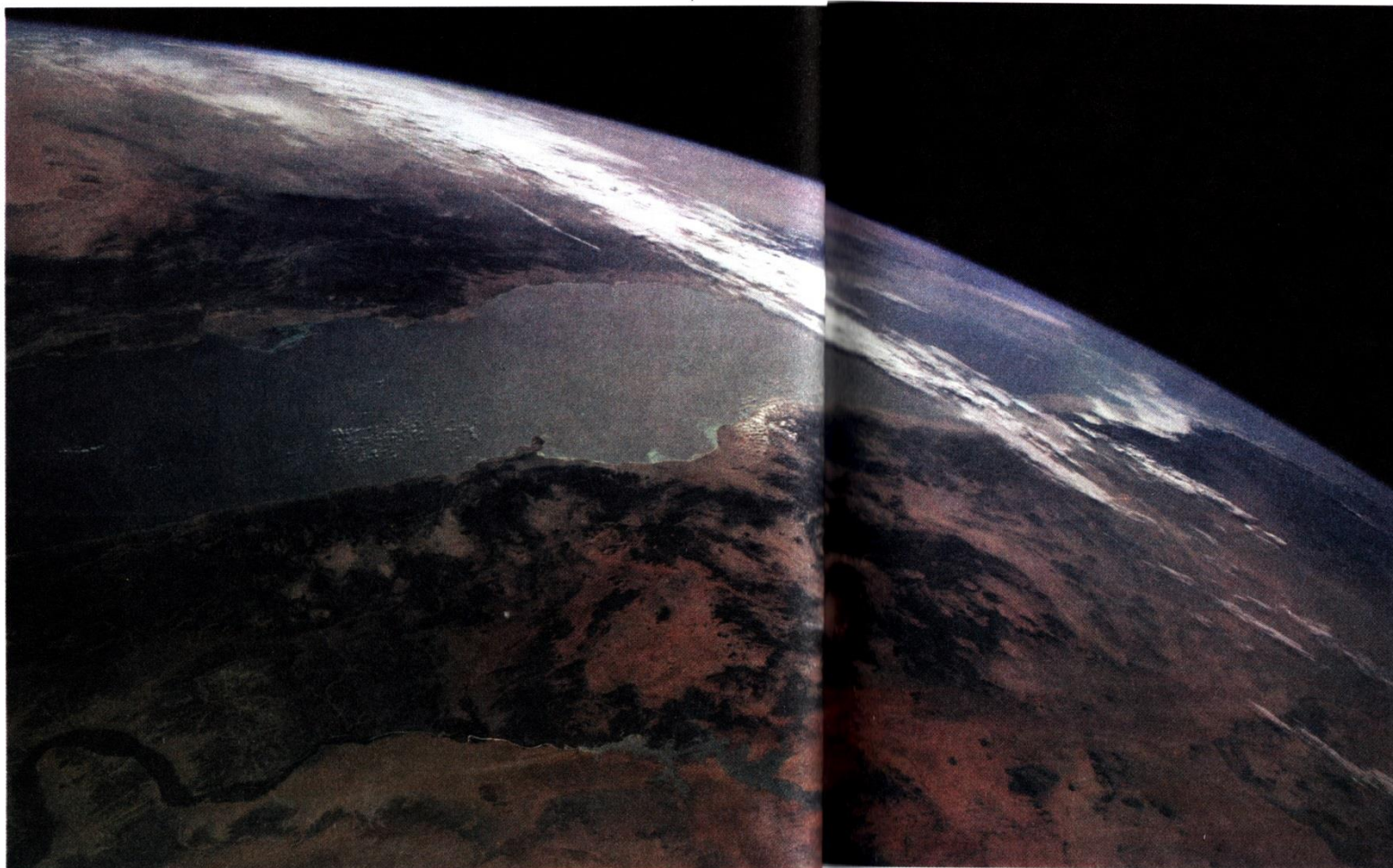
Измерения высоты в футах в свое время было принято в авиации, поэтому высота облаков в некоторых странах также выражается в футах, а не в метрических единицах системы СИ, как это принято в метеорологии. В дальнейшем, когда речь будет идти о высоте облаков, полезно иметь в виду два приблизительных эквивалента:

6500 футов 2000 м (2 км)

20 000 футов 6000 м (6 км)

всегда выше, чем с холодной, тем самым создается разность давлений. В Северном полушарии, например, теплый воздух (и область повышенного давления) смещен к югу, поэтому градиент давления определяет движение воздуха в северном направлении. Но эффект Кориолиса поворачивает поток направо (то есть к востоку), порождая сильное западное струйное течение. В Южном полушарии, очевидно, градиент давления приводит воздух в движение к югу, а эффект Кориолиса действует в противоположном направлении, поэтому и здесь сильное струйное течение оказывается западным.

Подобно полярному фронту, струйные течения также извиваются на своем пути вдоль параллелей, но, кроме того, они меняют свою высоту и интенсивность. В длину



◀ Перистые облака, переносимые струйным течением над Красным морем, сфотографированы с борта Спейс-шаттла

Сдвиг ветра

Сдвиг ветра возникает в тех областях, где на коротких промежутках сильно меняется сила или направление (или вместе) ветра. Если воздух на двух слегка различающихся высотах движется с разной скоростью (или в разных направлениях), между ними происходит сдвиг ветра и возникает турбулентность. Часто это становится причиной появления крупных волн в толще облака. Это может показаться удивительным, но нередко направления ветра в соседних слоях могут быть практически противоположными.

они простираются на тысячи, а в ширину — на сотни километров, глубина же не превышает нескольких километров. Критерием того, что воздушный поток является струйным течением, является его скорость, которая должна составлять не менее 90–100 км/ч. Рекордная скорость (656 км/ч) была зафиксирована над внешними Гебридами (архипелаг к западу от Шотландии) 11 декабря 1967 года. Нужно помнить, что скорость струйного течения может значительно меняться, часто падая ниже указанного порога, поэтому можно говорить о разрывах в струйном течении, огибающем Землю. Иногда поток расщепляется на две ветви, что очень сильно сказывается на погоде расположенной внизу территории.

Скорость струйного течения бывает настолько велика, что может заметно влиять на скорость движения самолета, пролетающего в нем (что и послужило причиной открытия струйных течений в 1940-х годах). Полет вдоль направления струйного течения (то есть, как правило, на восток) будет совершаться на заметно большей скорости относительно земли, чем при движении в обратную сторону.

Поскольку струйные течения относительно узки и движутся притом с большими скоростями, они оказываются областями так называемого сдвига ветра, что сопровождается всегда турбулентностью, которая ощутима для самолетов, входящих внутрь или покидающих струйное течение. Ее еще иногда называют «турбулентностью при ясном небе». Хотя современные методы позволяют предсказать расположение большинства таких областей, все же изредка случаются неожиданности. И хотя полет в таких условиях может быть некомфортным, в редких случаях даже приводя к легким травмам пассажиров или экипажа, тем не менее они не представляют столь серьезной угрозы для безопасности, как турбулентность вблизи поверхности земли.

Когда взаимодействуют воздушные слои на заметно различающихся высотах, как, например, сверху и снизу от струйного течения, или когда сильный теплый ветер дует над приповерхностным слоем прохладного воздуха, возможен вертикальный сдвиг ветра. Горизонтальный сдвиг связан с сильными изменениями на практически одном, неизменном высотном уровне. Так случается на краях струйного течения или, скажем, на границах сильных нисходящих и восходящих воздушных потоков в штормовой зоне.

В целом струйные течения оказывают значительное влияние на возникновение, перемещение и исчезновение центров низкого давления. По мере того, как течение, изгибаясь как лента, охватывает кольцом земной шар на больших высотах, нижележащие потоки воздуха стремятся расходиться в стороны от одних точек-центров и, напротив, схо-

дятся, устремляясь к другим. В первом случае поток захватывает воздух из нижележащих областей, тем самым еще сильнее снижая в них давление. И, напротив, там, где воздушные потоки сходятся, избыток воздуха вынужден опускаться, компенсируя понижение давления.

Местоположение струйных течений в некоторой степени определяется высотой рельефа земной поверхности, над которой они протекают. В Северном полушарии особое значение в этом отношении имеют Скалистые горы в Северной Америке, Тибетское плато и Гималаи в Евразии. Сезон летних юго-западных муссонов обычно начинается, когда струйное течение «переключается» с пути, лежащего южнее Гималаев и Тибетского плато, на другой маршрут, пролегающий по северной стороне. Струйными течениями часто переносятся перистые облака (стр. 50), которые могут наблюдаться с земли (см. рис. внизу) и часто видны на фотографиях, сделанных из космоса (см. рис. на стр. 22–23).

▼ Перистые облака струйных течений имеют характерный вид и с легкостью узнаются с земли. Облачные полосы могут либо лежать вдоль по ветру, либо образовывать волнистые валы, вытянутые поперек направления течения

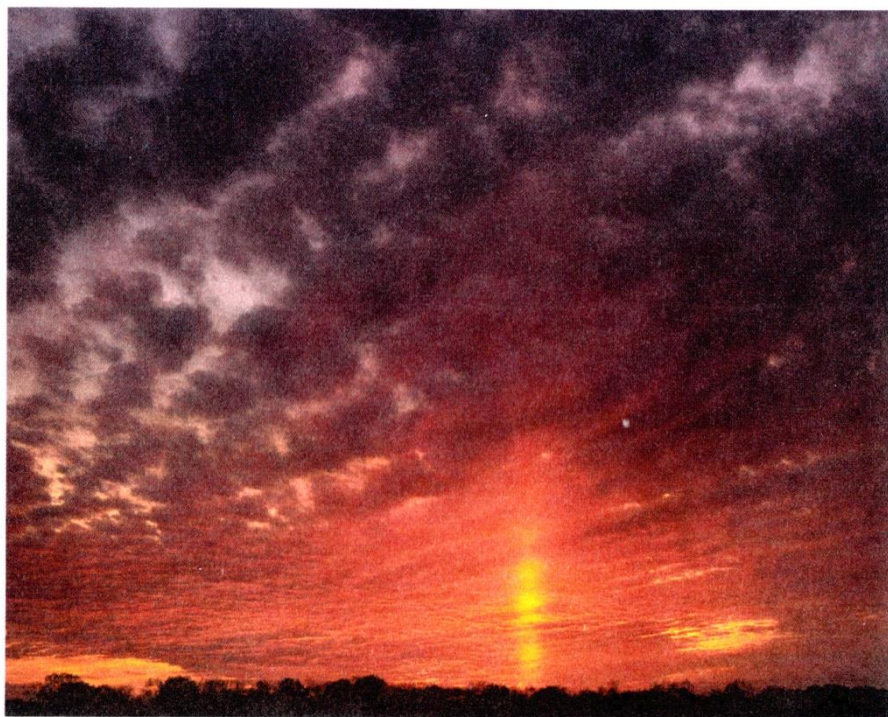


ОБЛАКА

Несмотря на развитие современных технологий в метеорологии и синоптике, по-прежнему немаловажным остается наблюдение за облаками, позволяющее получить существенные сведения о грядущей погоде. Поэтому важно уметь различать облака разных типов. Несколько практических советов по наблюдению и фотографированию неба и определению наилучших углов съемки — что также полезно для распознавания типов облаков и некоторых оптических явлений в атмосфере — дается на стр. 184–185.

Трудно сказать, почему многим людям кажется, что различать облака — нелегкое дело, ведь, в сущности, это совсем не так. Хотя верны слова о том, что небо никогда не повторяет своего облика и непрестанно меняется, все же существует всего десять основных типов облаков, и все они имеют вполне определенные различия. Если мы без труда различаем десять разных видов цветов, птиц или автомобилей, то почему в отношении десяти видов облаков должно быть сложнее? Но прежде, чем мы перейдем к рассмотрению этих видов, полезно получить некоторое представление о том, как образуются облака, в связи с чем вспомним о некоторых примечательных свойствах воды.

Слой ▼
высококучевых
облаков и световой
столб (см. стр. 63)
на закате солнца



Свойства воды

Для определения погоды вода во всех отношениях имеет особое значение. Она существует в трех состояниях (водяной пар, жидкая вода и лед) во всем температурном диапазоне, свойственном нашей планете. Вода и лед знакомы каждому, тогда как водяной пар обычно не замечается нами, будучи невидимым газом. Если посмотреть на кипящий чайник, то можно заметить небольшой прозрачный промежуток между его носиком и струей выходящего из него белого пересыщенного пара, именно в этой зоне вода находится в состоянии газообразного пара, каким он и представлен в атмосфере. Непрозрачный пересыщенный пар состоит фактически из мельчайших капелек жидкой воды, в которые конденсируется газообразный пар, оказавшись в холодном воздухе.

Важное качество и пара, и жидкой воды — их способность сохранять в себе скрытое тепло. Представим себе, что мы взяли немного льда. Необходимо сообщить ему вполне определенное количество тепла, чтобы он растаял и превратился в воду; еще сколько-то тепла потребуется, чтобы нагреть эту воду и превратить ее в пар. И наоборот, когда водяной пар конденсируется в капли жидкой воды или когда жидкая вода замерзает, такое же количество тепла высвобождается. Этот простой факт приводит к следствиям, весьма важным для формирования облаков, как и для ряда других атмосферных процессов. Выделение скрытого тепла объясняет, например, возможность защитить растения от легких заморозков путем распыления на их листья небольшого количества воды. Когда капельки начнут превращаться в кристаллики льда, из них высвободится скрытое тепло, которое на какое-то время не даст замерзнуть растениям.

Капли воды и кристаллики льда в облаках

Образование капелек воды и кристалликов льда — важные процессы, без которых невозможно появление облака (равно как и тумана или дымки). Конденсация паров воды в мельчайшие капельки — процесс сравнительно простой, хотя требуется учитывать, что для этого всегда необходимо присутствие так называемых ядер конденсации, мельчайших частичек пыли или соли, на поверхности которых и начинается процесс конденсации. Подходящие ядра конденсации присутствуют во всей атмосфере и всегда в огромном количестве, поэтому ничто не мешает начаться конденсации, как только температура охлаждающегося влажного воздуха опустится ниже так называемой точки росы. Значение этой величины в каждом конкретном случае определяется влажностью самого воздуха.

Для замерзания также необходимы подходящие ядра кристаллизации, но их количество обычно не так велико, как в случае конденсации, поскольку они должны удовлетворять определенным условиям по размеру и форме. Естественными ядрами кристаллизации оказываются, как правило, некоторые минералы, попадающие в воду из природных глин.

При отсутствии подходящего ядра кристаллизации капельки воды в облаке могут оставаться жидкими при температурах гораздо меньших, чем нормальная точка замерзания, то есть 0°C, — вплоть до –40°C. Такую воду называют переохлажденной, и в таком состоянии она, действительно, нередко встречается в атмосфере. При температуре ниже –40°C переохлажденная вода мгновенно обратится в лед даже и при отсутствии ядра кристаллизации, а в более теплых условиях — при контакте с любым твердым телом, например крылом самолета или листвой дерева.

Образование облаков

Большинство облаков (а также туман и дымка) образуется, в целом, одним и тем же образом: когда влажный воздух охлаждается до температуры ниже точки росы. Это может происходить, когда воздух встречается с холодной поверхностью или когда он вынужден подниматься на значительную высоту от земли, а уменьшение атмосферного давления при этом вынуждает его разрежаться и остывать. В первом случае подобная картина наблюдается обычно ночью, когда поверхности тел охлаждаются, испуская тепловое излучение во внешнее пространство, а непосредственно прилегающий к ним воздух охлаждается ниже точки росы, образуя туман и нередко покрывая саму поверхность росой. Подобным образом туман возникает, когда воздух движется над холодной землей, покрытой льдом или снегом.

Что касается второго случая, воздух может подниматься в атмосфере четырьмя различными способами:

- В течение дня земная поверхность прогревается, и на ней образуются пузырьки теплого воздуха, затем они отрываются, и теплый воздух восходит вверх. Такой процесс называется конвекцией.
- Движущийся вдоль поверхности земли поток воздуха может подниматься по горному склону или подобному рельефу (стр. 101), такой механизм называют орографическим подъемом.
- Подобным образом воздух может подниматься, встретив фронт области низкого давления, это так называемый фронтальный подъем.
- При так называемой конвергенции, когда воздух втекает в небольшую область с разных сторон. Когда это происходит вблизи земной поверхности, есть один лишь путь, по которому может уходить накапливающийся избыток воздуха — и он, разумеется, поднимается вверх. Как правило, это происходит в центрах областей низкого давления. И напротив, когда конвергенция имеет место на существенной высоте, воздух отесняется вниз, вызывая рост атмосферного давления у поверхности земли, как это происходит в субтропических зонах высокого давления, равно как и вообще в антициклонах.

Вертикальный градиент температуры, неустойчивость и устойчивость

Поскольку давление уменьшается с ростом высоты, то масса воздуха, восходящая от поверхности земли, будет разрежаться и охлаждаться (соответственно, опускаясь, она будет сжиматься и становиться теплее). Вертикальный градиент температуры — величина, которая определяет скорость этого процесса. Когда воздух достаточно «сух», то есть когда конденсация еще не началась, этот параметр составляет почти в точности 1°C на каждые 100 м высоты. Эту константу в метеорологии называют сухадиабатическим градиентом и его точное значение $9,767^\circ\text{C}$ на километр (слово «адиабатический» указывает на то, что тепло не привносится в систему и не покидает ее: воздушная масса условно не обменивается теплом с окружающей средой). Описанный процесс объясняет, например, почему на вершине горы всегда заметно холоднее, чем у ее подножия. Фактический вертикальный градиент может быть как выше, так и ниже приведенной константы.

Когда масса воздуха нагревается, она начинает подниматься и не останавливается до тех пор, пока ее температура не станет равна температуре окружающей среды. Иными словами, ее движение будет продолжаться, пока ее вертикальный градиент температуры будет ниже, чем у остального воздуха. Такие условия называют неустойчивыми, поскольку всякое движение, начавшись, будет продолжаться по инерции значительное время.

Если, однако, вертикальный градиент температуры окружающей среды составляет величину меньшую, чем сухадиабатический градиент массы восходящего воздуха, точка равновесия будет соответствовать тому месту, где температура этой массы (которая охлаждается всегда быстро) достигнет температуры окружающей среды. Дальнейший подъем приведет к понижению температуры, поэтому масса воздуха вернется обратно, то есть опустится к точке равновесия. Такие условия называют устойчивыми. Неустойчивость и устойчивость оказывают существенное влияние на тип формирующегося облака, и, как мы увидим далее, эти различия очень отчетливы.

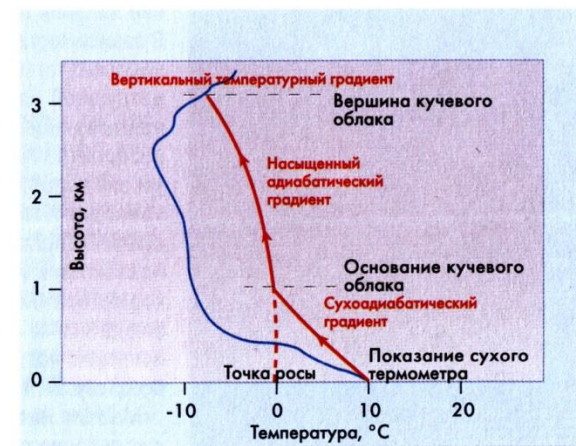
Естественно, состояние воздуха (и его устойчивость или неустойчивость в том числе) меняется со временем. Например, рано утром, когда солнце еще почти не прогрело воздух, ветер может, перенося воздушную массу, увлечь ее, поднимая вдоль склона холма, на вершине которого она станет холоднее окружающей среды. Здесь условия будут устойчивы, и она опустится на землю у подножия холма. Однако позднее в течение дня воздух у поверхности земли сильно прогревается солнцем. И если теперь ветер поднимет ее на вершину холма, она может все равно оставаться теплее окружающей среды, продолжая свой путь наверх вместо того, чтобы вернуться к земле. Значит, условия стали неустойчивыми.

Подобная картина может иметь место не только в приповерхностных слоях, но и на значительных высотах, когда происходит взаимодействие холодных и теплых потоков воздуха. Относительно теплый воздух, оказываясь над более прохладным, создает устойчивые условия, тогда как обратное соотношение — прохладный воздух над более теплым — приводит к неустойчивости.

▼ Кривая, соответствующая воздушной массе, из которой растет кучевое облако (красная линия) в более холодной окружающей атмосфере (синяя линия)

Действие водяного пара

Если поднимающийся воздух содержит в себе пары воды, сначала он будет вести себя так же, как если бы был сухим, охлаждаясь в соответствии с сухадиабатическим градиентом. Но рано или поздно, остывая, его температура достигнет значения точки росы для влажного воздуха. С этого момента начинает идти конденсация, появляются



образующие будущее облако капельки воды, и, как говорилось выше, высвобождается скрытое тепло. Водяной пар в таком воздухе называют насыщенным, и для него температурный градиент будет ниже, чем для сухого воздуха, — именно благодаря выделению скрытого тепла. В зависимости от температуры насыщенный адиабатический градиент такого воздуха может составлять от 4°C (в теплых слоях) до 7°C (для воздуха холоднее -40°C) на километр высоты.

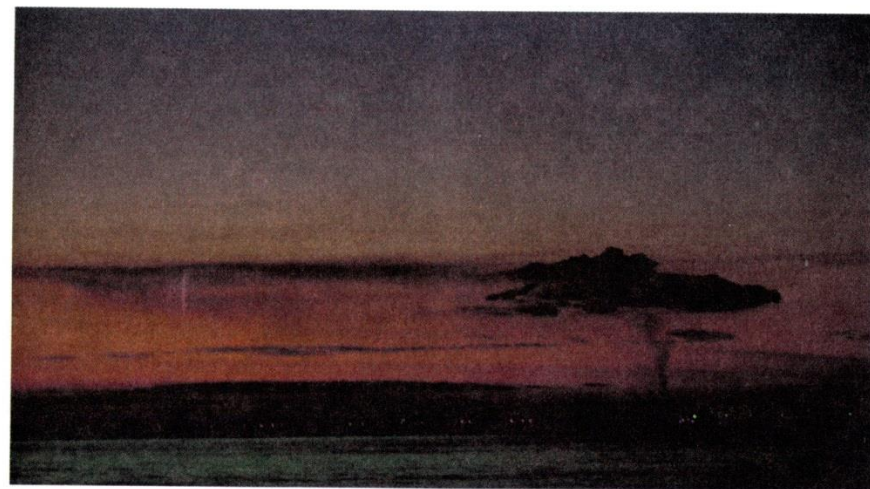
Когда поднимающийся влажный воздух достигает точки росы и высвобождается скрытое тепло, изменение теплового баланса оказывает очень сильное влияние на формирование облака. В частности, может нарастать неустойчивость, и тогда облако будет быстро расти в размерах, поднимаясь при этом вверх. Определенные типы облаков, располагающиеся преимущественно в средних слоях атмосферы, указывают на наличие неустойчивостей на соответствующем высотном уровне, а значит, о грядущих переменах погоды. При определенных обстоятельствах разница между значениями сухого и насыщенного адиабатических градиентов может иметь существенные последствия для опускающейся к земле воздушной массы.

Температурный градиент окружающего воздуха и инверсия

Важно помнить, что температурный градиент окружающего воздуха, как показывают специальные измерения (для чего используют, например, метеорологический зонд в виде воздушного шара с необходимой автоматической аппаратурой), может значительно меняться и лишь в редких случаях отвечает непрерывному уменьшению температуры с ростом высоты. На определенных высотах температура может оставаться неизменной и даже расти с высотой. Последнее явление получило название инверсии. В зависимости от интенсивности она может воспрепятствовать дальнейшему подъему воздушной массы, и тогда она, равно и как пребывающее в этом слое облако, будут распространяться по плоскости на одном уровне высоты. Сходным образом, инверсии приводят к тому, что дым и газообразные выбросы промышленных производств скапливаются в узкой полосе и образуют слой коричневатой дымки, который может наблюдаться на большом расстоянии от предприятия в направлении по ветру (см. рис. на след. стр.).

Многие инверсии сравнительно слабы, и колебания температуры внутри них не-

На этой фотографии, ▼ сделанной с борта Спейс-шаттла над территорией Бразилии, отчетливо видно, как сильные конвекционные потоки преодолевают слой инверсии



лики. Когда конвекционные потоки, восходящие от земли, оказываются довольно быстрыми, то они способны проникать сквозь инверсии и сохраняться и далее над ними. Соответственно это касается и облаков, формирующихся в таких восходящих потоках. Стоит заметить, однако, что и сама тропопауза (стр. 6) — не что иное, как большая и глубокая инверсия, и поэтому она также препятствует образованию в ней облаков, причем даже самых объемных и бурно растущих — так называемых кучево-дождевых облаков, обычно приносящих грозу. Когда восходящие потоки воздуха особенно сильны, они способны вызывать так называемый выброс вершины облака, когда купол облака формируется над самым быстрым восходящим потоком и часть его по инерции проникает на небольшую глубину в стратосферу, затем сразу отбрасывается назад, расходясь в стороны на несколько меньшей высоте.

▲ Дым, выбрасываемый электростанцией в атмосферу, поднимается до уровня инверсии, образует небольшое кучевое облако, которое затем разрастается вширь по направлению ветра

Формы облаков

Как растения и животные в биологии, так и облака классифицируются по типу (роду), виду и разновидности. Различают десять типов, четырнадцать видов и девять разновидностей, а также шесть дополнительных признаков. Сейчас мы рассмотрим все десять основных типов, а также те из видов, разновидностей и дополнительных признаков, что особенно важны для понимания сформировавшейся и будущей погоды. К счастью, эти десять типов совсем не трудно различить между собой (см. след. стр.).

Классификация облаков

Тип	Основные черты, наиболее четко различимые формы
Вид	Структура и форма облака
Разновидность	Прозрачность и относительное расположение элементов облака
Дополнительные признаки	Особенности формы, свои для каждого рода и вида

ТИПЫ ОБЛАКОВ



ВЫСОКИЕ
3–18 км
Перистые



СРЕДНИЕ
2–8 км
Слоисто-
дождевые



ВЫСОКИЕ
3–18 км
Перисто-
слоистые



НИЗКИЕ
0–2 км
Кучевые



ВЫСОКИЕ
3–18 км
Перисто-
кучевые



НИЗКИЕ
0–2 км
Слоистые



СРЕДНИЕ
2–8 км
Высококучевые



НИЗКИЕ
0–2 км
Слоисто-
кучевые



СРЕДНИЕ
2–8 км
Высокослои-
стые



0,5–18 км
Кучево-
дождевые

Высоты облаков

Ярус	Диапазон высот	Тип (род)	Сокращенное обозначение
Высокие	3–18 км	Перистые	Ci (Cirrus)
		Перисто-слоистые	Cs (Cirrostratus)
		Перисто-кучевые	Cc (Circumcumulus)
Средние	2–8 км	Высококучевые	Ac (Alto cumulus)
		Высокослоистые	As (Altostratus)
		Слоисто-дождевые	Ns (Nimbostratus)
Низкие	0–2 км	Кучевые	Cu (Cumulus)
	0,5–18 км	Слоистые	St (Stratus)
		Слоисто-кучевые	Sc (Stratocumulus)
		Кучево-дождевые	Cb (Cumulonimbus)



Разные типы облаков могут быть сгруппированы двумя способами. Во-первых, имеется деление на два широких класса: кучевые и слоистые облака. К первому относятся обычные кучевые облака и кучево-дождевые, при этом оба типа характеризуются неустойчивостями. Второй класс включает слоистые и высокослоистые, возникающие обычно в устойчивых условиях. Иногда добавляется еще и третья группа: перистые облака, образующиеся на больших высотах и состоящие из кристалликов льда.

Метеорологи обычно разделяют десять основных типов в соответствии с высотой расположения их оснований в атмосфере на три группы (яруса): высокие, средние и низкие облака:

Высокие располагаются выше уровня в 3–6 км
Средние располагаются на уровне в 2–6 км
Низкие располагаются ниже уровня в 2 км

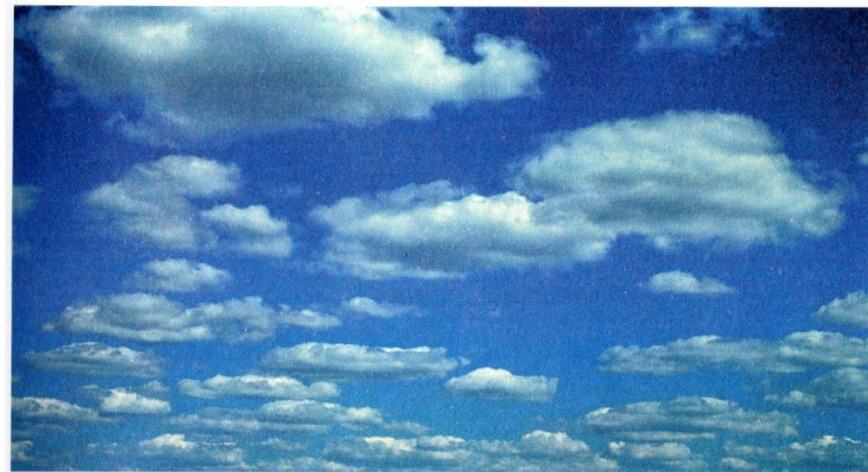
Для высоких и средних облаков приведены усредненные величины, поскольку высотный диапазон меняется в зависимости от географической широты, как правило, оказываясь выше в тропиках и понижаясь по направлению к полюсам. Один из десяти основных типов, а именно кучево-дождевые облака, может простираться на все три зоны, от слоев, близких к поверхностным, и до самой вершины тропосферы.

Кучевые облака (Cu)

Кучевые облака (обозначаются «Cu» — от лат. *cumulus*) нам представить легче всего, это тот тип облаков, с которым у большинства людей возникает первая ассоциация, когда они слышат слово «облако». Внешне такие облака напоминают пушистые кучи со скругленными вершинами и плоскими основаниями. Возникают кучевые облака над восходящими теплыми воздушными потоками, поднимающими массы сильно разогретого воздуха от поверхности земли и несущими их вверх, пока не начнется конденсация. В первые дневные часы, когда земля только начинает прогреваться, восходящие потоки слабы, и образующиеся облака напоминают скорее разобщенные фрагменты, у которых нельзя различить оформленного основания. В таком виде они именуются кучевыми разорванными облаками (*cumulus fractus*) (см. рис. внизу).

Такие «фрагменты облака» обычно недолго существуют и вскоре рассеиваются. Причиной тому становится неполная изоляция восходящей струи от окружающего статичного воздуха, и его циркуляция постепенно захватывает все больше сухого и холодного воздуха из внешних обла-

Клоchy кучевых ► разорванных облаков, образующиеся в начале дня и быстро рассеивающиеся. Позднее, с усилением конвекции, их сменяют более плотные облака



стей. Как правило, чем менее интенсивен восходящий поток (и, следовательно, чем меньше образуемое им облако), тем быстрее происходят смешение и рассеивание.

Постепенно, по мере того как солнце прогревает землю, восходящие потоки усиливаются, образуются и более крупные облака, которые обладают уже характерными округлыми вершинами и плоскими основаниями, по которым можно четко определить высотный уровень, на котором начинается конденсация. В некоторых случаях, когда условия среды обладают необходимой устойчивостью, облака обретают явно плоскую форму, для чего имеется особое название: кучевые плоские облака (*cumulus humilis*) (см. верхний рис.). Образуется этот вид обычно впереди

▲ Кучевые плоские облака, собирающиеся при усилении конвекции в ясную погоду. Видны признаки того, что некоторые облака уже превращаются в кучевые средние

▼ Кучевые средние облака с несколькими признаками активного роста





Кучевые мощные облака ▲ над морем. Вокруг центрального облака отчетливо видны лучи, идущие от скрытого за ним солнца, движущегося к закату

Виды кучевых облаков

Разорванные	Cumulus fractus	неровные, разрозненные фрагменты облака
Плоские	Cumulus humilis	плоские и широкие облака
Средние	Cumulus mediocris	облака примерно равной высоты и ширины
Мощные	Cumulus congestus	облако вытянуто в высоту более, чем в ширину

теплого фронта (стр. 75), когда теплый воздух распространяется над облаком, препятствуя его росту в высоту.

Небольшое кучевое облако может разрастаться до тех пор, пока его высота не станет приблизительно равна его горизонтальным размерам. Такой вид облаков получил название кучевых средних (*cumulus mediocris*) (см. рис. внизу на пред. стр.), и, наравне

с разорванным и плоским видами, они не приносят дождя.

Следующая стадия роста порождает облака, которые значительно вытянуты в высоту по сравнению с их шириной. Этот вид, названный кучевыми мощными (*cumulus congestus*), уже может приносить с собою дожди, поскольку относительно сильная турбулентность и большая протяженность облака в высоту вынуждают маленькие капельки внутри облака сталкиваться друг с другом и затем разрастаться в более крупные капли дождя. Метеорологи называют такие облака теплыми, из которых затем выпадает теплый дождь.

Кучево-дождевые облака (Cb)

В умеренных широтах наибольшая доля дождей, выпадающих из облаков кучевых типов, приходится именно на кучево-дождевые (*cumulonimbus*, см. рис. на след. стр.), которые, по существу, являют собой последнюю стадию роста кучевого облака. По аналогии их можно назвать холодными облаками, приносящими, соответственно, холодный дождь, поскольку образуются они настолько высоко, что капельки воды замерзают, превращаясь в кристаллики льда. Переход от кучевого к кучево-дождевому типу проявляется в изменении вида вершины облака: резко очерченная волнистая граница становится расплывчатой, начинает казаться волокнистой. Эти две разновидности име-



Мощное кучево-дождевое облако. ▲ Резко очерченные контуры вздымающихся элементов облака на переднем плане свидетельствуют о его продолжающемся активном росте. Видны признаки дождя, выпадающего из облака, на дальнем плане с правой стороны

▼ Впечатляющие наковальни двух кучево-дождевых облаков, подсвечиваемые низко стоящим солнцем. Накováльня на дальнем плане сформировалась раньше и успела сильнее распространиться в стороны





Вымеобразные ▲ элементы нижней части наковальни кучево-дождевого облака, выглядящие очень рельефно в лучах низко стоящего солнца

нуют кучево-дождевыми лысыми и волонистыми облаками (*cumulonimbus calvus* и *cumulonimbus fibratus* соответственно).

Как отмечалось выше, вода превращается в лед только в присутствии центров кристаллизации с определенными свойствами. Поскольку они не всегда присутствуют в воздухе, кучево-дождевые облака могут начинать свое образование гораздо выше положенного им уровня, где температура атмосферы уже достаточно низка, чтобы началось замерзание (или гляциация, как этот процесс называется в метеорологии) воды. Когда это происходит, кристаллики льда растут очень быстро в условиях переохлаждения и скоро оказываются слишком тяжелыми, чтобы восходящие потоки воздуха могли удерживать их на прежней высоте. Они, следовательно, опускаются вниз и, достигая более теплых слоев облака, тают и превращаются в дождевые капли. Зимой кучево-дождевые облака могут быть менее глубокими и образовывать не дождь, а снег.

Разрозненные и сравнительно небольшие кучево-дождевые облака приносят кратковременные, но сильные дожди, часто с уверенностью прогнозируемые синоптиками. Такие облака существуют непродолжительное время: на их рост уходит 20–30 минут, после чего достигается зрелая стадия, при которой выпадает дождь за такое же примерно время. Падающие капли нарушают восходящее движение воздушных потоков, и они вскоре совершенно пропадают, отчего и само облако начинает рассеиваться, на что уходит также около получаса. Общее время существования такой относительно замкнутой в себе структуры, или облака, составляет от одного до полутора часов. Впрочем, кучево-дождевые облака могут существенно разрастаться, включая в себя целые группы таких отдельных облаков, соответственно наращивая свой объем. Они могут стать даже центром формирования грозовой облачности, сопровождающейся молниями, градом и, в особых случаях, даже порождая смерчи. Такого рода атмосферные системы будут обсуждаться ниже (стр. 86).

Кучево-дождевые облака часто, разрастаясь, достигают тропопаузы, которая, являясь глубокой инверсией, останавливает их дальнейшее увеличение в высоту. Тогда поднимающийся воздух начинает распространяться в стороны под плоскостью тропопаузы, приобретая характерную форму наковальни (такой вид получил и соответствующее название: *cumulonimbus incus*, от лат. *incus* — наковальня,



стр. 37). Такие «наковальни» часто образуют большие и пышные перистые облака, которые ввиду их легкости уносятся далеко вперед и служат своеобразными предвестниками приближающейся грозы. Вершина «наковальни» нередко может терять тепло, уходящее в окружающее пространство, и тогда холодный воздух опускается ниже ее «свисающих» краев, охлаждается до температуры ниже точки росы и приводит к их «набуханию», при котором они принимают форму подвешенных мешочков, отдаленно напоминающая вымя, почему и получили название вымеобразных (*tamma*). Иногда они могут вытягиваться и в протяженные изогнутые трубки. В любом случае, такие облака выглядят весьма впечатляюще, освещаемые низким заходящим солнцем.

▲ Слоистые облака над Альпами, в течение дня превращающиеся в слоистые разорванные, по мере прогрева воздуха солнцем

Слоистые облака (St)

Слоистые (*stratus*) облака — другой тип, часто встречающийся в природе, для них характерны серый или сероголубоватый цвет и форма протяженного слоя, лишённого заметных особенностей очертания. Часто такие облака скрывают верхние части высотных зданий и накрывают равнины в высокогорьях, так что для человека, оказавшегося в такой местности, они будут представляться просто густым туманом. Высота этих облаков самая низкая, их нижняя часть может находиться уже на уровне 500 м от земли. Если облако достаточно густое, то основание его обычно рассеянное, без резких переходов, но могущее иметь плавные, волнистые очертания. Высокие холмы и горы могут пронизывать слоистые облака насквозь, и тогда верхний край облака будет заметно менее ровным, чем его основание.



Два слоистых облака: ▲ в верхнем скрываются горные вершины, а ниже, вероятно, образовалось за ночь над самой землей и затем поднялось днем при прогреве солнечным теплом

Слоистое облако, ▼ начинающее рассеиваться и образующее слоистое разорванное облако, сквозь которое проглядывает солнце



Слоистые облака часто возникают в результате сгущения ночного тумана или дымки, которые обычно возникают над впадинами земного рельефа, сильнее всего теряющими тепло за ночь и охлаждающими прилежащие слои воздуха до температуры ниже точки росы. Когда с восходом солнца земля начинает прогреваться, слой тумана может начать постепенно подниматься, становясь нижним слоем слоистого облака, которое затем рассеивается по мере прогрева атмосферы или усиления ветра. Чаще всего такие облака наблюдаются в областях низкого давления, но, залегая на малых высотах, они очень чувствительны к турбулентности, сопровождающей усиливающийся ветер. Тогда цельный слой облака разрывается на фрагменты (слоистые разорванные, *stratus fractus*), которые затем со временем совершенно рассеиваются. Такие разрозненные части слоистого облака иногда можно спутать с подобными фрагментами облака кучевого типа (стр. 34), между которыми действительно есть некоторая внешняя схожесть. Однако условия, при которых возникают эти два вида облаков, как правило, явно различаются, потому не составляет труда верно определить и вид самого облака. При безветренной погоде слоистое облако

может иногда терять тепло, излучая его из верхнего своего слоя в окружающую атмосферу, отчего в нем появляются разрывы, превращающие его в облако слоисто-кучевого типа.

Слоистые облака часто бывают довольно тонкими, так что сквозь них можно рассмотреть положение солнца на небосводе, а иногда даже и луны. Для такого случая применяется название «слоистые туманообразные облака» (*stratus nebulosus*). Поскольку основной объем слоистого облака составляют капельки воды, вокруг солнца и луны нередко наблюдается корона (стр. 64). В редких случаях присутствия в облаке кристалликов льда наблюдается гало вокруг солнечного диска (стр. 60). Чаще всего слоистые облака не приносят никаких осадков, но иногда все же из них выпадает мелкий, морсящий дождь или, в более холодных условиях, редкие хлопья снега и отдельные кристаллики льда.

Слоисто-кучевые облака (Sc)

Слоисто-кучевые (*stratocumulus*) облака встречаются чрезвычайно часто и всегда хорошо заметны, поскольку залегают слоями на низких высотах. Спутниковые наблюдения показывают, что облака этого типа покрывают большие площади неба над океанами, где устойчиво сохраняется относительно тихая погода, при которой теплый воздух лежит над более холодной водой. Здесь обычно происходит растекание кучевого облака, ограниченного сверху инверсией. По мере растекания облако истончается-

▼ Слоисто-кучевые облака. Видно, как на дальнем плане элементы облаков сливаются в слой, кажущийся сплошным





Мощный слой ▲ слоисто-кучевых облаков, сфотографированный с борта самолета. Промежутки между отдельными элементами облаков малы, и с земли будут видны совсем небольшие участки ясного неба

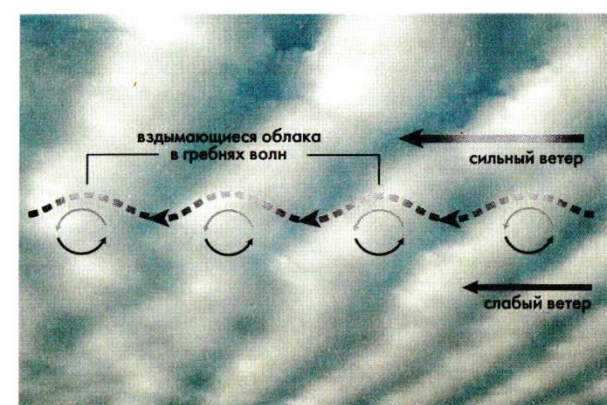
(На развороте) ▲ Отчетливая картина слоисто-кучевых волнистых облаков (*stratocumulus undulatus*). На этой высоте ветер дует приблизительно под прямым углом к продольным облачным валам

ся, поэтому часто основание слоисто-кучевого облака отчетливо видно, оно располагается при этом заметно выше уровня конденсации, на котором обычно становятся видны кучевые облака.

Внешний вид слоисто-кучевых облаков весьма разнообразен, они могут состоять из округлых частей, продолговатых валиков и широких плоских фрагментов, каждый определенного оттенка. Цвета меняются от чистого белого до серого и темно-сине-серого. Чтобы считаться слоисто-кучевой облачностью, отдельный элемент облака должен быть не менее 5° в ширину при измерении на высоте в 30° над горизонтом. Именно размер отличает их от более мелких элементов высококучевого облака и от еще более мелких — облака перисто-кучевого (об углах, под которыми проводятся измерения, см. на стр. 185).

Иногда промежутки между отдельными фрагментами облака становятся очень узкими или даже пропадают вообще, образуя практически сплошной волнистый облачный покров. Слоисто-кучевые облака часто встречаются в виде длинных валиков (так называемые волнистые облака), которые сориентированы поперек направления ветра на своей высоте и по внешнему виду которых можно судить, как сила или направление ветра меняются с высотой. Надо помнить также, что слоисто-кучевые облака образуются, как правило, только при слабых и умеренных ветрах.

Слоисто-кучевые облака часто могут наблюдаться над теплыми зонами области пониженного давления (стр. 77), особенно там, где воздух плавно опускается вниз. Наиболее благоприятна для формирования облаков тихая погода с возможно более слабым ветром и небольшими суточными колебаниями температуры. Слабые восходящие потоки, возникающие в таких условиях, обычно не в состоянии преодолеть область инверсии в вышележа-



щих слоях атмосферы. В принципе возможно, что найдет несколько разрозненных, но сильных восходящих потоков, способных все же пройти сквозь инверсию, но с земли их очень трудно обнаружить, лишь изредка они дают о себе знать, когда становятся заметны их более темные, затененные основания. Лучше всего они наблюдаются с самолета, летящего над облаками.

Само облако, как правило, способствует снижению максимальной дневной температуры и (играя роль удерживающего тепло покрова) повышению температуры ночью, то есть в целом уменьшает амплитуду суточных колебаний. Всегда непросто предсказать, в какой момент слой слоисто-кучевых облаков начнет разделяться на фрагменты. Когда облако толстое, плотное и непрозрачное, поток нисходящего воздуха не обеспечивает действия, достаточного для рассеяния облака, оно начнет разрываться на фрагменты лишь в случае сильного ветра и сопутствующей ему турбулентности, перемешивающей воздушные потоки. Однако даже и в таком случае при условии сильного прогрева земли солнцем в течение дня могут возникать новые восходящие потоки, которые будут заполнять образовавшиеся разрывы облачного покрова (очевидно, что через эти разрывы и проникает солнечный свет, и потому восходящие потоки возникают именно под ними). Однако ближе к вечеру солнечное тепло уже менее интенсивно, и силы восходящих потоков тогда окажется недостаточно, чтобы противодействовать рассеянию облачного слоя. И тогда с наступлением ночи небо может проясниться.

Высокослоистые облака (As)

Если слоистые облака залегают в области низких высот, то на средних высотах им соответствуют высокослоистые (*altostratus*) облака. Вместе с еще более высокими

▲ Образование волнистых облаков



Типичное ▲
высокослоистое облако,
лишенное каких-либо
деталей, кроме
отдельных борозд,
направленных по ветру.
Через более мощное
облако такого типа
положение солнца
увидеть бы не удалось

перисто-слоистыми облаками они образуются в областях пониженного давления, где теплый воздух поднимается у краев холодного и теплого фронтов. Высокослоистые облака не имеют ярких характерных черт, они невыразительны, цвет их обычно серый. В редких случаях, впрочем, можно рассмотреть их волокнистую структуру, отдельные бороздки или прожилки. Облако может состоять из одних капелек воды, но чаще они бывают перемешаны с кристалликами льда. Тонкие высокослоистые облака достаточно прозрачны, сквозь них можно без труда различить положение солнца на небосводе, солнечный диск при этом бывает окружен короной (стр. 64). Края высокослоистого облака часто выглядят радужными, проявляя сильную иризацию (стр. 64–65). Более толстые облака этого типа полностью закрывают солнце и могут выглядеть очень темными. Свет, проходя через них, оказывается сильно рассеянным, так что предметы на земле практически не отбрасывают теней.

Высокослоистые облака часто приносят обильные осадки как в виде дождя, так и снега, но они не всегда достигают земли, испаряясь в нижележащем под облаком слое сухого воздуха. Такой вид осадков называют полосами падения (*virga*) (стр. 46–48). Он может приводить к заметному охлаждению нижележащего воздуха и повышать его влажность до такой степени, что в присутствии турбулентных потоков могут образовываться вторичные ключевидные облака (*pannus*) (фактически являющиеся слоистыми разорванными облаками, *stratus fractus*). Очень редко они могут срастаться в целостное, более или менее непрерывное облако слоистого типа.

Иногда из невидимой, более высокой части высокослоистого облака выпадают осадки, которые могут дать начало образованию ниже лежащих слоистых облаков, из которых, в свою очередь, на землю выпадет мелкий, моросящий дождь. Со стороны теплого фронта области низ-

кого давления высокослоистые облака, как правило, становятся толще, опускаются ниже и превращаются в облака слоисто-дождевого типа, из которых могут выпадать длительные и обильные дожди. У холодного же фронта слоисто-дождевое облако, наоборот, истончаясь, поднимается выше, возвращаясь к высокослоистому типу.

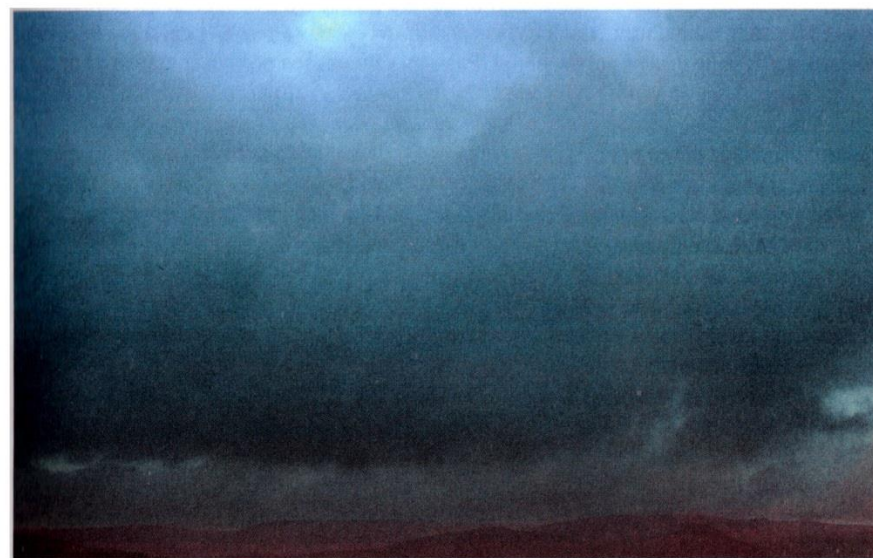
В тропиках активно растущие кучево-дождевые облака могут простираться за пределы области инверсии и образовывать протяженные высокослоистые, располагающиеся позади фронта (а в некоторых случаях и предшествовать ему). В высоких широтах подобного рода активные грозовые системы чаще формируют слоистые и слоисто-кучевые облака, нежели высокослоистые.

Слоисто-дождевые облака (Ns)

Нам надлежит теперь обратиться к слоисто-дождевому (*nimbostratus*) типу облаков ввиду его тесной связи с типом высокослоистым. Такие облака бывают серого, чаще — темно-серого цвета, имеют выраженную слоистую структуру и переносят весьма большие объемы дождя или снега. Эти черты устойчивы и практически неизменны для всех слоисто-дождевых облаков, которые поэтому — в отличие от большинства других типов — не имеют ни каких-либо видов, ни разновидностей.

Слоисто-дождевое облако всегда плотное, за которым не видно ни солнца, ни луны, и потому с ним не связано никаких примечательных оптических явлений. Осадки выпадают прямо из основания облака, которое поэтому имеет скорее расплывчатые края, нежели отчетливые очертания.

▼ Темные слоисто-дождевые облака над г. Киндер Скаут в английском графстве Дербишир, появившиеся во время короткой паузы между затяжными дождями. Ниже основного слоя сформировалось несколько облачных ключев (pannus) — там, где дождь охладил воздух ниже точки росы



ния. Как и в случае высокослоистых облаков, осадки часто охлаждают нижележащий под облаком слой воздуха, повышая тем самым его относительную влажность, что в свою очередь приводит к образованию разрозненных облачных клочьев (*pannus*) (по существу, слоистых разорванных, *stratus fractus*), за которыми скрывается основание собственно слоисто-дождевого облака.

Образование облаков этого типа чаще всего встречается в зонах низкого давления, поскольку они представляют собой заключительный этап последовательности после перисто-слоистых, высокослоистых и слоисто-дождевых облаков. В основном слоисто-дождевые облака лежат вблизи теплых фронтов, но иногда их можно обнаружить и вблизи холодных фронтов, а также фронтов окклюзии (стр. 77). В последнем случае они могут приносить многодневные ливни или снегопады, с последующими соответственно наводнениями или снежными заносами. Образовавшись в областях низкого давления, слоисто-дождевые облака разделяются на полосы, из которых выпадают сильные ливни, и разделяющие их участки (также в виде полос) с гораздо менее интенсивными осадками (или даже без осадков вовсе). Такие полосы пролегают приблизительно параллельно фронтам, и вблизи теплых фронтов они бывают особенно выражены.

В редких случаях слоисто-дождевое облако образуется, когда высококучевое или слоисто-кучевое облако утолщается до более плотного и тяжелого облачного слоя. Схожим образом может происходить его образование из активной кучево-дождевой облачности или даже из кучевых мощных (*cumulus congestus*) облаков, но площадь его в таком случае будет заметно меньше в сравнении с теми обширными участками, что покрыты облачным слоем над областями низкого давления.

Высококучевые облака (Ac)

Виды неба, в котором плывут высококучевые (*altocumulus*) облака, часто привлекают внимание своею необычной красотой. Возможно, причиной тому большое разнообразие их форм: насчитывают четыре их вида и семь разновидностей — больше, чем для любого другого типа облаков. В целом, их низшие слои схожи со слоисто-кучевыми облаками, а высшие — с перисто-кучевыми, в которых они рассеиваются на отдельные небольшие фрагменты. Как правило, по окраске они светлее, чем элементы слоисто-кучевых облаков. Они могут иметь цвет от белого до серого с небольшими потемнениями, но гораздо меньшими, чем в случае слоисто-кучевых облаков (тогда как перисто-кучевые вообще не имеют потемнений). Размеры элементов облака составляют от 1 до 5° при измерении на угловой высоте в 30° к горизонту (простой способ измерения углов описан на стр. 185). Высококучевые облака лежат выше слоисто-кучевых, и поэтому синее небо легко просматривается между этими облаками. Часто их отдельные фрагменты упорядочиваются в волнообразные валы самых причудливых форм.

Высококучевые облака значительно различаются по толщине. Иногда они довольно тонки, и солнечный или лунный свет проходит сквозь них. Когда облако состоит только из капелек воды (которые могут быть переохлажденными), может наблюдаться корона (стр. 64) или иризация (стр. 65) вокруг диска светила. Если же в облаке образуется заметное количество кристалликов льда, то будут наблюдаться различные виды гало, такие как солнечный столб (световой столб, стр. 63) или паргелий (ложное солнце, стр. 61).

Как и слоисто-кучевые, высококучевые облака могут образовываться, когда кучевое облако, расширяясь, растекается в стороны на границе области инверсии и при этом происходит разрыв облачного слоя, либо разрыв происходит от восходящих воздушных потоков. Часто подобная картина наблюдается впереди или позади крупных кучево-дождевых облаков. Высококучевые облака не приносят существенных осадков, но часто сопровождаются так называемыми полосами падения (*virga*) — видимыми следа-



ми идущего дождя или снега, которые, однако, не достигают земли, но испаряются в более сухих слоях нижележащего воздуха.

Высококучевые облака часто образуют широко простирающиеся слои, покрывающие большую часть небосвода, и такой вид имеет особое название: высококучевые слоистообразные (*altocumulus stratiformis*) облака. Особенно красивы закаты и восходы солнца, когда красный или оранжевый свет подсвечивает неплотный облачный слой. Другие два вида своим появлением отчетливо указывают на сильную конвекцию, приносящую обильные ливни, которые позднее могут разрастаться в сильные грозы. Эти виды — высококучевые башенкообразные (*altocumulus castellanus*) (стр. 49 внизу) и высококучевые хлопьевидные

▲ Тонкий слой сравнительно высоких высококучевых облаков. Угловой размер элементов облака превышает 1° в поперечнике, также наблюдается слабое затенение; в противном случае их нужно было бы классифицировать как перисто-кучевые



◀ Отчетливые волны высококучевых облаков



Высококучевые облака с сильно выраженными ▲ полосами падения, изгибу которых соответствует область, где кристаллики льда тают и образуют капельки воды

▼ Типичный слой высококучевых слоистообразных облаков (*altocumulus stratiformis*)



(*altocumulus floccus*) облака (рис. сверху) — оба свидетельствуют о неустойчивости в средних слоях тропосферы. Если облако конвективного происхождения поднимается до такой высоты, то на него начинает действовать дополнительная поднимающая сила по мере выделения скрытого тепла (стр. 27) и дальнейшего подъема на большую высоту, где они превращаются в глубокие и рыхлые кучево-дождевые облака. Четвертый из видов высококучевых облаков, высококучевые чечевицеобразные (*altocumulus lenticularis*), относится к семейству волнистых облаков и будет подробнее рассмотрен ниже.

▲ Маленькие хлопья высококучевых облаков (*altocumulus floccus*) свидетельствуют о неустойчивости воздуха на этой высоте



◀ Высококучевые башенкообразные облака, в которых очевидный рост верхнего слоя указывает на неустойчивость на этой высоте



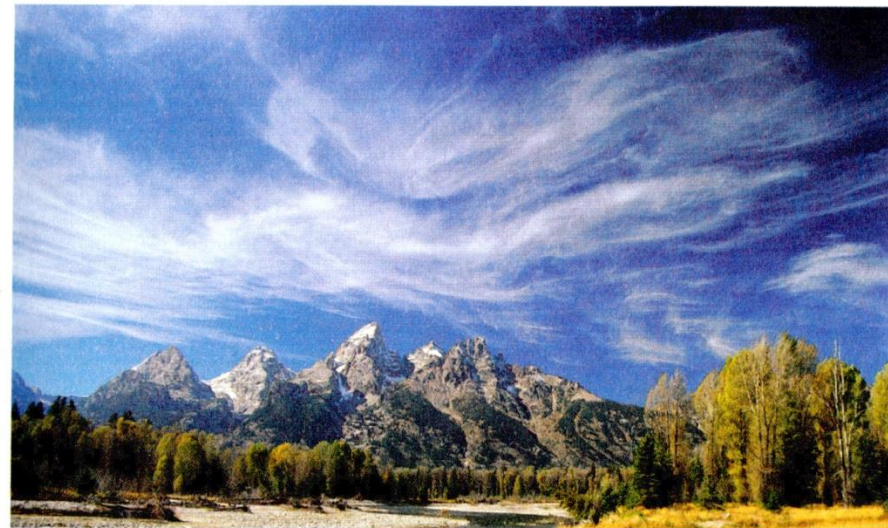
Типичные перистые ▲ облака, в которых отчетливо видны области активного образования кристалликов льда (клочковатые участки)

Перистые облака (Ci)

Перистые (*cirrus*) облака состоят из мелких кристалликов льда и обычно вытягиваются в длинные нити или ветви на небосводе. Они могут появляться в самых различных погодных условиях: впереди приближающегося теплого фронта; часто их плотные «перья» образуют «наковальни» кучево-дождевых облаков; они могут быть следствием инверсионного следа пролетевшего самолета, а также оторвавшимися петлями и завитками высоких облаков при хорошей ясной погоде. Довольно часто можно наблюдать очень отчетливые перистые облака, образованные струйными течениями и простирающиеся ровными линиями по небосводу.

И хотя перистые облака образуются во всех перечисленных случаях, только в соседстве с кучево-дождевыми или грозовыми облаками они будут предвестниками скорого и внезапного изменения погоды. В большинстве ситуаций, в зависимости от конкретных погодных условий, по ним можно предсказать ухудшение погоды со значительным упреждением. В частности, таков случай, когда перистое облако постепенно заполняет видимую область неба, наплывая в неизменном направлении, постепенно при этом утолщаясь, пока не превратится в облачный слой перисто-кучевого типа. Приближение теплого фронта при такой картине можно предсказать с большой уверенностью.

Известны различные виды перистых облаков, из которых два, а именно: перистые когтевидные (*cirrus uncinus*, загнутые в виде крючка перистые облака, см. выше) и перистые нитевидные (*cirrus fibratus*, тж. волокнистые) — часто могут, разрастаясь, утолщаться с образованием перисто-слоистого облака. Вид перистых плотных (*cirrus spissatus*) облаков отличается большей толщиной и выгля-



дит темно-серым, сильно затеняя солнечный свет. Облако такого типа образовано крупными и плотными фрагментами кучево-дождевых облаков и часто остается позади движущегося и заметно быстрее рассеивающегося кучево-дождевого облака.

Часто перистое облако состоит из маленького рыхлого зародыша, где происходит замерзание воды, и протяженного «пера», вытягивающегося за ним и состоящего из устойчивых кристалликов льда. Такая форма наиболее заметна среди когтевидных облаков (*cirrus uncinus*). Такие вытянутые перья могут рассматриваться как одна из разновидностей полос падения (*virga*) (стр. 46–47), и, в сущности, можно даже утверждать, что перистые облака — не что иное, как собственно полосы падения (*virga*). Перистый тип относится к высоким облакам, поэтому такие «перья в небе», состоящие из кристалликов льда, весьма редко достигают поверхности земли, это возможно только в высоких широтах и в сильно охлажденной атмосфере.

▲ Такие перистые перепутанные (*cirrus intortus*) облака часто сопутствуют относительно тихой погоде, в том числе приносимой антициклонами



◀ Перистые волокнистые облака вместе с краем более мощного перисто-слоистого облака, лежащего на меньшей высоте



Перистые когтевидные ▲ облака, постепенно заполняющие небо впереди теплого фронта



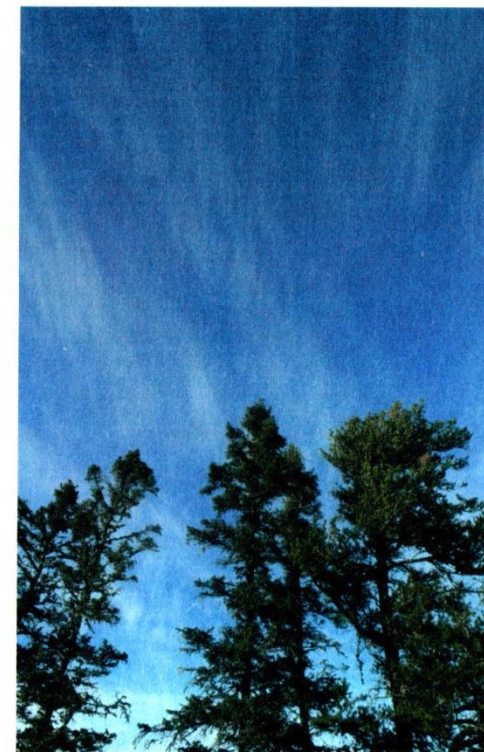
Очень ровное ► перисто-слоистое облако с гало 22°, имеющее отчетливый внутренний край красного цвета

Перисто-слоистые облака (Cs)

Перисто-слоистое (*cirrostratus*) облако обычно представляет собой довольно тонкий слой, который во многих случаях незаметен наблюдателю. Часто о его присутствии мы не догадываемся до тех пор, пока не обнаружим, что такое облако заметно поглощает солнечное тепло, идущее к земле. Иногда, подняв руку, чтобы прикрыть глаза от яркого солнечного света, мы не без удивления замечаем в ясном небе гало вокруг солнечного диска. Явление оптического гало (стр. 60) весьма часто сопровождает тонкие перисто-слоистые облака и наблюдается в среднем раз в три дня на умеренных широтах. В отличие от высокослоистых перисто-слоистые облака всегда достаточно прозрачны и практически не рассеивают солнечный свет. Поэтому, когда днем на небе появляется облачность такого типа, предметы не перестают отбрасывать тень.

Перисто-слоистое облако может быть просто тонким облачным слоем, лишенным каких бы то ни было отличительных черт (перисто-слоистое туманообразное, *cirrostratus nebulosus*). Но чаще оно имеет волокнистую структуру (перисто-слоистое волокнистое, *cirrostratus fibratus*, см. рис. на стр. 51, внизу), особенно когда оно возникло в результате постепенного увеличения и утолщения перистого облака. Как правило, такие облака можно видеть впереди приближающегося теплого фронта, они занимают свое место в общей последовательности облаков: перистых, перисто-слоистых, высокослоистых и слоисто-дождевых.

Несмотря на то что чаще всего перисто-слоистые облака приурочены к областям низкого давления, иногда они могут порождаться кучево-дождевыми облаками или остаточными фрагментами крупных и плотных перистых облаков. Очень редко имеет место образование их из высокослоистых облаков. Из двух разновидностей перисто-слоистых облаков чаще всего встречается перисто-слоистое волнистое (*cirrocumulus undulatus*) облако, на самом деле и выглядящее как последовательность своеобразных волн. Увидеть их, впрочем, довольно трудно, за исключением тех случаев, когда заходящее или восходящее солнце подсвечивает их под небольшим углом.



▲ Край облака, в котором отдельные узкие полоски перистых облаков соединяются в слой перисто-слоистого волокнистого типа



Слой перисто-кучевых ▲
облаков с необычно
отчетливой структурой,
на удалении
сливающейся
в сплошное перисто-
слоистое облако

Перисто-кучевые облака (Сс)

Третий вид перистых облаков — перисто-кучевые (*cirrocumulus*). В общих чертах они напоминают слоисто-кучевые и высококучевые облака: они также состоят из тонкого слоя и отдельных структурных элементов. Однако для этого типа такие элементы имеют гораздо меньшие размеры и составляют не более 1° в поперечнике при измерении на угловой высоте 30° к горизонту (руководство к измерению угловых размеров см. на стр. 185). Элементы облака белые или имеют светло-голубую окраску, тонкие и не имеют потемнений, поэтому облачный слой нередко бывает трудно рассмотреть из-за малого контраста его с фоном чистого неба.

Перисто-кучевые облака состоят из кристалликов льда, иногда вместе с переохлажденными капельками воды, которые, впрочем, в большинстве случаев быстро замерзают. Положение солнца и луны на небе всегда четко просматривается сквозь тонкие облака этого типа, что может сопровождаться такими оптическими явлениями, как иризация (стр. 65) и венец (стр. 64).

Перисто-кучевые облака иногда могут образовываться, когда несильная конвекция начинает переносить воздух между слоями перисто-слоистого облака. Другим механизмом образования может быть рассеивание высококучевого облака, фрагменты которого и становятся постепенно облаками перисто-кучевого типа. Самым распространенным ви-



дом таких облаков являются слоистообразные (*cirrocumulus stratiformis*); однако нередко встречаются и другие формы, близкие к высококучевым: это перисто-кучевые башенкообразные (*cirrocumulus castellanus*) и хлопьевидные (*cirrocumulus floccus*). Бывает также и волнистая форма перисто-кучевых (*cirrocumulus undulatus*) облаков, встречающаяся относительно часто и отличающаяся высокой организацией элементов облака, в виде регулярно повторяющихся волнообразных гряд.

Волнистые облака

Когда ветер на своем пути встречает гряды холмов или гор, воздушная масса разделяется на несколько последовательных потоков, преодолевающих преграду, а также на волны, отражающиеся от нее и возвращающиеся назад, против ветра. При подходящих условиях облако будет формироваться при устремлении воздушной массы вверх, то есть на высотах, где температура опускается ниже точки росы, тогда как во впадинах воздух прогревается, опускается, и облако поэтому будет рассеиваться. В отличие от всех прочих облаков, движущихся вместе с ветром, волнистые облака — иногда называемые также подветренными волнистыми облаками — остаются покоящимися на протяжении часов и меняют тип либо рассеиваются,

▲ Огромное высококучевое
чечевицеобразное облако,
возникшее в результате
подъема по горному
склону; часть его скрыта
за низкими слоисто-
кучевыми облаками



Череда волнистых ▲
облаков над Венецией.
Отчетливо видны гребни
и впадины одного
из облаков
на переднем плане

«Стопка тарелок» ►
(*pile d'assiettes*),
явно свидетельствующая
о наличии нескольких
тонких слоев влажного
воздуха

только когда ветер изменяет свою силу или направление. Однако, хотя края облака остаются неподвижны, само по себе оно непрестанно изменяется, нарастая с наветренной стороны и рассеиваясь — с подветренной (рассмотреть динамику этого процесса иногда удается, рассматривая облако в бинокль). Как правило, гребень облака лежит параллельно гряде холмов или гор, но иногда даже и оди-



ночная возвышенность посреди сравнительно ровной местности может порождать вытянутую на значительное расстояние по ветру цепочку облаков с волнообразной структурой.

Волнистые облака также называют чечевицеобразными (*lenticularis*) из-за их двояковыпуклой формы, напоминающей чечевицу или миндальный орех. Чаще всего наблюдаются высококучевые чечевицеобразные (*altocumulus lenticularis*) облака, но встретить можно чечевицеобразные облака и слоисто-кучевого, и перисто-кучевого типов. Окончание «-кучевые» обычно указывает на конвекционную природу образования облака, что справедливо для всех кучевых облаков, но в данном случае это не так: означенные два вида образуются в относительно неподвижных слоях влажного воздуха. Часто случается так, что присутствует сразу несколько таких влажных слоев, залегающих один над другим, и из каждого может образоваться по чечевицеобразному облаку или даже по несколько облаков. Такие слои волнистых облаков называют по-французски «une pile d'assiettes», то есть «стопкой тарелок».

Необычные облака: перламутровые

Перламутровые облака практически не оказывают влияния на погоду, но, появляясь на небе, они часто имеют настолько красивый вид, что упоминаются даже в программах новостей по радио и телевидению. Такие облака (в метеорологии называемые еще и полярными стратосферными облаками) формируются на высотах в 15–30 км

▼ Перламутровые облака
в самом нижнем слое
стратосферы.
Они начинают терять свои
нежные, пастельные тона,
подсвечиваемые красно-
оранжевыми лучами
заходящего солнца



и состоят из кристалликов льда, на которых происходит дифракция света, проявляющаяся сильной иризацией облака (стр. 65). Такие облака бывают белого цвета, чаще всего в Антарктике, но наиболее впечатляюще они выглядят, когда окрашены в нежные, пастельные тона. Каждая из полос иризации одного цвета на границе такого облака соответствует той его области, где составляющие его микрочастицы имеют приблизительно одинаковый размер.

Перламутровые облака видны только в высоких широтах (свыше приблизительно 50° северной или южной широты), когда солнце уже опустилось ниже видимой линии горизонта, но облака еще подсвечиваются, то есть сразу после заката и непосредственно перед восходом солнца. Впрочем, по статистике наблюдений, увидеть перламутровые облака утром менее вероятно, чем вечером. Эти облака относятся к волнистым облакам, образующимся на больших высотах в присутствии сильных ветров в верхних слоях атмосферы и при близком расположении зоны низкого давления.

Необычные облака: серебристые

Серебристые облака еще более редки, чем перламутровые: их можно наблюдать в середине ночи, летом и на широтах приблизительно от 45 до 60° по обе стороны от экватора. В это время солнце садится за горизонт практически на север и продолжает подсвечивать облака, располагающиеся в атмосфере на самой большой высоте: примерно 80–85 км. Серебристые облака залегают непосредственно под плоскостью мезопаузы — самой холодной области атмосферы (стр. 7).

Эти облака имеют характерный серебристо-белый цвет и видны приблизительно в течение часа около полуночи. При наблюдении различима структура, делающая их схожими с перистыми облаками, что нередко приводит к тому, что их путают друг с другом. Часто, однако, можно различать нижележащие облака, контуры которых проступают на фоне облаков серебристых, что позволяет вернее определить высоту их залегания. Серебристые облака состоят из кристалликов льда, упорядоченных в очень тонкие слои, в которых различимы складки и волны, складывающиеся затем в целостную структуру облака. Вероятно, покажется удивительным, но эти исключительно высоко лежащие облака относятся к волнистой разновидности и некоторым образом связаны с горным рельефом, лежащим глубоко под ними. Облака переносятся на запад или на юго-запад ветрами в верхних слоях атмосферы, но структура облаков, определяющая их видимый рисунок, движется в противоположном направлении.



Есть две своего рода загадки, связанные с серебристыми облаками. Первая из них состоит в том, что строение атмосферы не позволяет парам воды быть перенесенными и от поверхности земли в область мезопаузы, где обнаруживаются эти облака. Следовательно, можно предположить, что вода, из которой образованы кристаллики льда в серебристом облаке, приносится кометами из межпланетного космического пространства.

Вторая же загадка состоит в отсутствии каких бы то ни было записей о наблюдении серебристых облаков до 1884 года. Первые сообщения появились во время тщательных исследований неба в период после катастрофического извержения вулкана Кракатау в 1883 году. Есть сведения, свидетельствующие о все более частом появлении серебристых облаков в последние десятилетия, а некоторые из наблюдавшихся облаков прямо связаны с запуском искусственных спутников и прочих космических аппаратов.

▼ Яркие серебристые облака, видимые на севере около полуночи. Волнистая структура очень характерна для этих облаков, лежащих на большой высоте



«Гало 22°» ▲
вместе с двумя яркими
паргелиями,
каждый из которых
имеет по хвосту,
направленному
от солнца.
Фотография сделана
в Антарктике

Оптические явления

В атмосфере наблюдается множество различных оптических явлений, но далеко не все из них связаны с погодой или ее прогнозом, поэтому ниже будет дано описание только наиболее значимых из них. Грубо можно разделить их на две группы: наблюдающиеся в поле зрения по направлению к солнцу (включая разные виды гало) и — в противоположном направлении (например, радуга).

Гало

Различных видов гало также слишком много, чтобы описать их все в этой книге, но общим для них является то, что возникают они при отражении или преломлении света кристалликами льда, рассеянными в атмосфере. Некоторые из видов гало часто наблюдаются в перисто-слоистых облаках, движущихся впереди теплого фронта, и тем самым свидетельствуют о приближающемся ухудшении погоды.

Самым частым явлением оказывается так называемое «гало 22°», то есть имеющее угловой радиус 22° и представляющее собой цельное кольцо, описанное вокруг солнца или луны. Иногда, впрочем, кольцо может разрываться: это происходит в тех областях, где структура перисто-слоистого облака сильно меняется. Слабое гало обычно бесцветно, по мере же нарастания интенсивности его внутренний край приобретает красный оттенок, по удалении от центра переходящий в желтый. В очень редких случаях можно наблюдать синюю окраску внешнего края



гало. Область внутри кольца гало обычно выглядит темнее, чем окружающее небо.

Кроме «гало 22°», существует и гало второго порядка с угловым радиусом в 46°, но наблюдается оно менее часто, и чрезвычайно редко его можно увидеть целиком, в виде неразорванного кольца. Обычно «гало 46°» намного бледнее, чем «гало 22°».

▲ Особенно яркий
окрашенный паргелий
в плотном перистом
облаке

Паргелий (ложное солнце)

Паргелий, явление, также называемое ложным солнцем, представляет собой яркое пятно, часто окрашенное в радужные цвета разлагающегося в спектр белого света и появляющееся в результате его преломления шестигугольными кристалликами льда в атмосфере. Это пятно находится на той же высоте над горизонтом, что и само солнце, и располагается вблизи точек, где «гало 22°» пересекало бы эту горизонтальную плоскость. Часто ложное



◀ Яркий паргелий
с хвостом, вытянутым
вдоль паргелического
круга — изредка
видимой белой дуги,
параллельной горизонту
и проходящей на высоте
солнца

солнце имеет белый хвост, направленный в сторону, противоположную истинному солнцу. Паргелий часто наблюдается симметричными парами, по одному справа и слева от солнца, и бывает на полупрозрачных перистых облаках, причем даже когда они не дают гало. Если же паргелий порождается тонким слоем постепенно утолщающихся перисто-слоистых облаков, то, как и в случае гало, это свидетельствует о приближении зоны низкого давления.

Околозенитная дуга

Околозенитной дугой называют яркую полосу, окрашенную в цвета спектра и составляющую часть окружности с центром в зените (точкой небесной сферы, находящейся прямо над головой наблюдателя). Радиус этой окружности зависит от высоты солнца: чем ниже оно и чем, соответственно, ближе к горизонту, тем меньше радиус дуги и тем менее выражены ее цвета. Угловая длина дуги также зависит от высоты солнца над горизонтом. Наибольшее значение (108°) она принимает, когда солнце поднимается ровно на 15° . Наибольший радиус околозенитной дуги соответствует высоте солнца 22° над горизонтом, и тогда сама дуга касается верхнего края «гало 46° » (которое может быть видимо в таких условиях, а может и нет). Самые насыщенные цвета окрашивают дугу при углах подъема солнца от 15 до 22° .

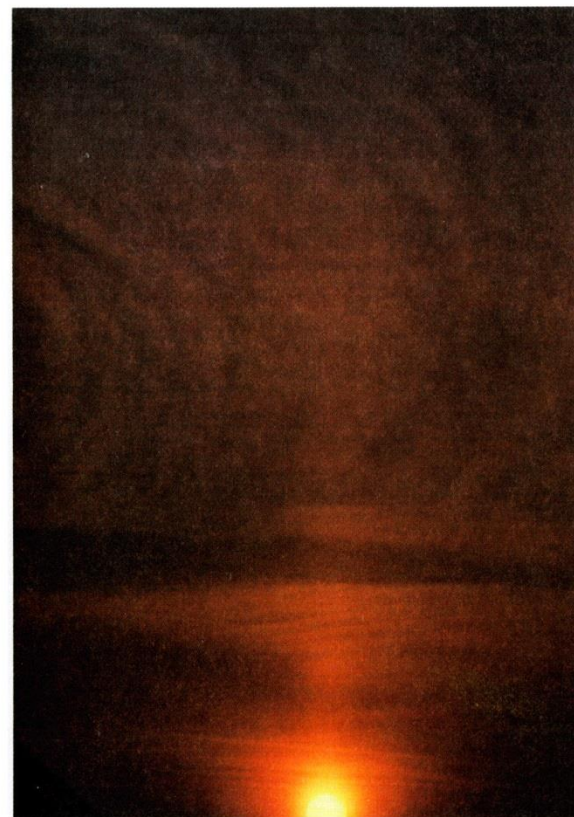
Околозенитные дуги встречаются не так часто, как «гало 22° », но заметно чаще, чем «гало 46° ». Схожая полоса с более интенсивными радужными цветами бывает видна в небе на угловой высоте солнца от 58 до 80° , это так называемая околораздольная дуга. Наблюдать ее можно только в середине лета на юге Европы и на севере США и лишь на широтах не выше 55° по обе стороны экватора.

Ярко окрашенная ►
околозенитная дуга
в перистом облаке,
постепенно
уплотняющемся
при приближении
циклона

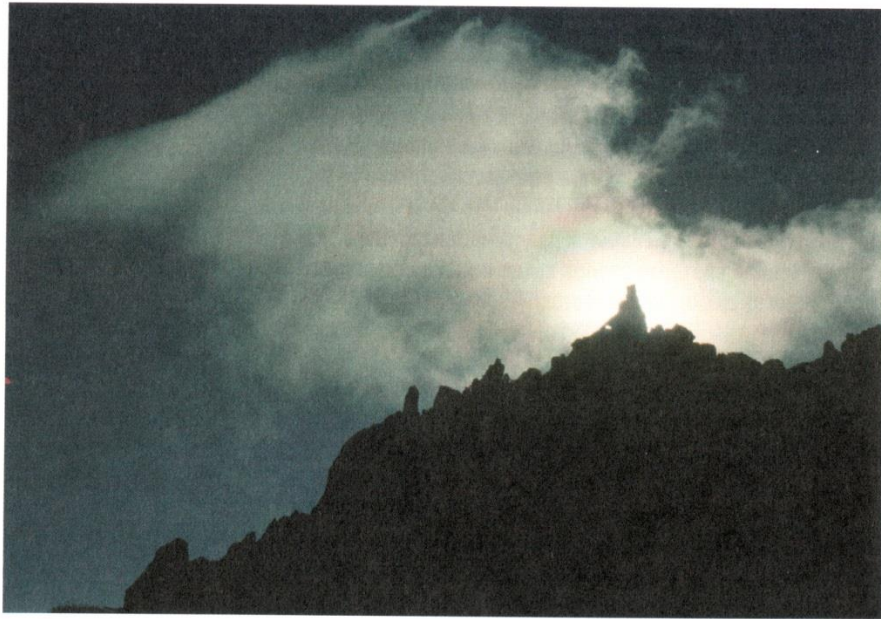


Световые столбы

Явления гало определяются формой кристалликов льда, рассеянных в атмосфере. Когда среди них преобладают плоские шестиугольные пластинки и присутствуют они в большом количестве, то их расположение упорядочивается: они преимущественно ориентируются плоскими гранями параллельно земле. Свет солнца или луны отражается этими плоскопараллельными поверхностями и образует картину в виде светлого столба выше и ниже солнечного (или лунного) диска. Такой световой столб можно наблюдать довольно часто, но иногда его путают с лучом заходящего солнца. По этому явлению можно определить и тип облачности, так как известно, что только перистые облака могут сопровождаться световыми столбами. При наблюдении с возвышенной точки или с борта самолета иногда удается увидеть световой столб, опускающийся ниже солнечного диска. В идеальных условиях (что бывает редко) можно различить, что боковые края столба не строго вертикальны, но имеют форму очень сильно вытянутой восьмерки, в центре которой находится солнечный диск.



◀ Световой столб
в перисто-слоистых
облаках при заходе
солнца



Венец вокруг солнца. ▲ Сам солнечный диск скрыт за выступом скалы. В действительности были различимы, по меньшей мере, три цветных кольца

Венец

Венец (корона) представляет собой цветное кольцо, обычно с коричневато-красным внешним краем, вплотную обступающее солнечный диск или луну (нужно заметить, что вокруг луны венец можно рассмотреть чаще, поскольку сияние солнца часто бывает настолько ярким, что затрудняет его различение). Ореол может иметь угловой диаметр всего в 2–3°, поэтому он не всегда видим. Как правило, луну окружают одно или несколько колец, окрашенных в цвета спектра, часто кольцо бывает неполным, то есть видна лишь часть кольца. Разложение света в спектр происходит не в результате преломления его частицами льда в облаке, но как результат дифракции: лучи света огибают под разными углами отдельные микрочастицы в атмосфере. Самые яркие и чистые цвета образуются при наиболее однородном слое рассеянных частиц. Венец образуется в тех случаях, когда частицы (как капельки воды, так и кристаллики льда) оказываются меньшего размера, чем в обычных условиях. Например, в туманный день появление венца свидетельствует о том, что капельки уменьшаются в размерах и туман вскоре рассеется. Венец может наблюдаться и когда в воздух поднимается большое количество цветочной пыльцы: так часто бывает, например, в сосновых лесах Скандинавии и Северной Америки, где от цветущих деревьев пыльца поступает в воздух в большом количестве.



Иризация

Яркие цветные полосы часто могут наблюдаться на краях облаков, находящихся на угловом расстоянии 35–40° от солнца, но так же, как и венец, нередко остаются незамеченными, пока солнечный диск не оказывается чем-либо заслонен. Другое сходство с венцом — общая оптическая природа: иризация также обусловлена дифракцией света, поэтому чистота спектральных цветов в той же мере соответствует однородности частиц. Иризация обычно происходит в высококучевых облаках и, как правило, свидетель-

▲ Нежно окрашенные полосы иризации в смешанных перистокучевых и перистослоистых облаках

▼ Сильная иризация в облаках, образовавшихся при запуске исследовательской ракеты на западе США



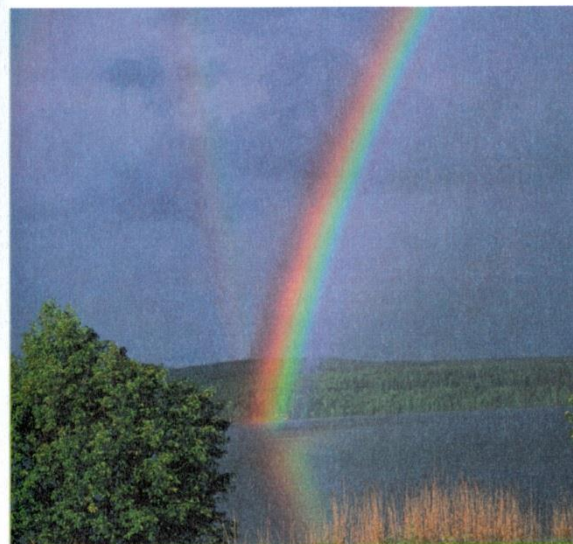
ствует о медленном подъеме воздуха и некоторой неустойчивости в атмосфере на средних высотах. Впрочем, иризация может быть наблюдаема и в облаках других типов. В частности, именно иризацией объясняются переливчатые цвета перламутровых облаков (стр. 57) и сходные явления в области следов, оставляемых космическими аппаратами, проходящими сквозь высокие слои атмосферы (стр. 59).

Радуга

Ко второй выделенной нами группе оптических явлений, наблюдаемых напротив солнца, самым известным, безусловно, будет радуга. Хотя бы раз в жизни ее видел каждый. Радуга возникает при падении солнечного (или лунного) света на мельчайшие капельки воды, рассеянные в воздухе. Чаще всего форма радуги представляет собой дугу окружности, центр которой находится в противосолнечной точке — так называют точку небесной сферы, диаметрально противоположную солнцу относительно наблюдателя (поэтому даже рядом стоящие люди будут видеть немного различающиеся радуги). Чем выше поднимается солнце на небосклоне, тем ниже опустится вершина радуги; поэтому, когда солнце практически касается горизонта, радуга превращается в правильный полукруг. При подходящем сочетании условий наблюдения с борта самолета можно видеть радугу и в виде цельной окружности.

Чаще всего встречается радуга, обладающая самыми насыщенными цветами, ее называют основной; угловой радиус ее составляет 42° , внешний край всегда имеет

Тонкая двойная радуга, ▼
сфотографированная
в Монголии.
Четко виден более темный
промежуток, «пояс
Александра Великого»,
между основной
(внутренней) и вторичной
радугами



◀ Яркая основная радуга
и ее отражение,
сфотографированные
над озером
в Финляндии.
Другое озеро, дающее
отраженные лучи, лежит
позади точки наблюдения

красную окраску, внутренний — фиолетовую. Такой картине соответствует однократное отражение солнечного или лунного света внутри отдельно взятой капли воды. При двукратном отражении луча образуется вторичная радуга, менее яркая, с обратной последовательностью цветов, ее угловой радиус составляет 51° . Вторичная радуга имеет тот же центр, что и основная, и наблюдается также относительно часто. Между основной и вторичной радугами небо заметно темнеет, причиной чему служит преобладающее там отражение световых лучей в направлении, уходящем от глаз наблюдателя. Эта область получила название «пояс Александра Великого».

Не всегда радуга имеет форму правильной непрерывной дуги. Разрыв радуги может происходить в тех областях, где в воздухе нет капель дождя, либо там, куда солнечные лучи не попадают, например в тени облаков. В общем, нет прямой связи между появлением радуги и изменениями погоды, однако если учитывать, что движение облачных систем чаще направлено с запада на восток, то, увидев радугу утром на западе, с большой вероятностью можно быть уверенным в том, что приближается ливень или небо затянут дождевые облака. Если же, напротив, радуга видна на востоке в вечернее время, то вероятнее всего то, что облака уходят и можно ожидать улучшения погоды.

Чистота цветов радуги сильно зависит от размера капель дождя. Когда они велики, преобладают оттенки красного цвета, в случае же их уменьшения красные тона блекнут, уступая место желтому цвету, и внешний край радуги выглядит оранжевым. Когда капли становятся еще мень-



*Глория с несколькими
цветными кольцами. ▲
Центр ее совпадает
с положением камеры,
находившейся на уровне
груди наблюдателя*

ше, цвета смешиваются, и радуга выглядит белой. Такая картина наблюдается при сильном тумане или дымке, поэтому белую радугу также называют туманной.

Глория

Глорией называют несколько цветных колец, окружающих тень, отбрасываемую головой наблюдателя на облако или слой тумана, то есть вблизи противосолнечной точки. Прежде это явление наблюдалось только в горах, когда исследователь мог взглянуть с вершины вниз, на нижележащие облака или туман, теперь же чаще всего его можно видеть с борта самолета. Изредка облако подступает настолько близко, что на нем можно различить отчетливую тень воздушного судна, но чаще расстояние оказывается слишком велико, тень расплывается, и лишь одни цветные кольца движутся по поверхности облака. Как и в случае венца и иризации, глория возникает в результате дифракции света на частицах, образующих облако. Иногда глория сопровождается белой (туманной) радугой, которая, если позволяют условия наблюдения, может составить цельное кольцо с угловым радиусом в 42° , которое концентрически окружает глорию.

Цвета неба и облаков

Обычное дневное небо имеет синий цвет по той причине, что молекулы кислорода и азота рассеивают солнечное излучение с длинами волн в фиолетовой и синей области спектра. Фиолетовый цвет лежит вблизи спектральной границы чувствительности человеческого глаза, воспринимается слабо, поэтому небо мы видим синим, тогда как солнце, поднявшееся высоко над горизонтом, выглядит желтым. На восходе и закате, когда солнце находится близко к горизонту, либо в других случаях, когда солнечным лучам приходится пройти большую толщу атмосферы — например, под слоями густой облачности, — наших глаз достигают только лучи с длинами волн, соответствующими желтому, оранжевому и красному цветам.

Насыщенность синего цвета, окрашивающего небо, свидетельствует о чистоте воздуха. Капельки воды рассеивают белый свет, поэтому их присутствие в атмосфере придаст синеве неба дымчатый оттенок. Если мы смотрим вдаль, то по мере удаления от нас объекты будут становиться все менее четкими, по этому признаку часто определяют расстояния (это называется визуальным способом определения расстояний). На больших высотах, где воздух наиболее чист, цвет неба более глубокий, темно-синий.

Твердые частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в атмосфере, также рассеивают свет всех длин волн, придавая цвету неба более светлый оттенок. Однако, в зависимости от размеров, частицы могут по-разному взаимодействовать с лучами разных длин волн. В очень редких случаях их размеры могут оказаться такими, когда будет преобладать поглощение в оранжевой и красной области спектра, тогда солнце или луна будут выглядеть зеленоватыми или синеватыми. Кроме этого, твердые частицы могут значительно поглощать и весь свет, образуя темную дымку. Если ее плотность нарастает в течение дня, то к вечеру сформируется слой коричневатой мглы вблизи поверхности земли, наиболее отчетливо просматриваемый в лучах заходящего солнца.

Немного иная картина возникает при сильных вулканических извержениях, поднимающих высоко в атмосферу мельчайшие частицы пыли, пепла и капельки диоксида серы (SO_2). Слой пыли часто подсвечивается восходящим или заходящим солнцем и имеет характерные отличительные черты — прежде всего, узкие полосы в небе, приблизительно под прямым углом к направлению солнечных лучей. Капельки диоксида серы, соединяясь с водой, образуют серную кислоту, капельки которой рассеивают красный свет. В сочетании с обычным синим цветом неба образуется арка или дуга над заходящим солнцем с очень характерной, интенсивной фиолетовой окраской (обыкновенный же цвет дуги бледно-синий с желтыми, оранжевыми и красными тонами, сменяющимися друг друга по направлению к горизонту). Явление яркой фиолетовой арки (или иначе «фиолетового света») очень впечатляет при непосредственном наблюдении, но его весьма трудно сфотографировать ввиду ограничений цветопередачи как эмульсии фотопленки, так и матрицы цифровой камеры. Последний случай фиолетового света наблюдался после извержения вулкана Пинатубо на Филиппинах в 1991 году.

Цвет облаков

Капельки воды в облаках исключительно малы и способны эффективно рассеивать свет всех длин волн, поэтому основной цвет облаков белый. Количество капелек и плотность облака обычно столь велики, что в большинстве случаев свет слабо проникает в его толщу. Когда же облако начинает рассеиваться, самые мелкие капельки испаряются в первую очередь, а остающиеся более крупные капли поглощают свет весьма

Резкий контраст между ► затененными облаками, кажущимися практически черными, и кучевыми средними облаками на заднем плане, полностью освещенными солнцем



интенсивно, отчего долгоживущие облака выглядят более темными, особенно когда они оказываются на фоне другого, недавно образовавшегося облака. По этой же причине облака, которые недавно начали испаряться, часто имеют более темный край по сравнению с центральной частью.

Цвет облака, как мы его наблюдаем, разумеется, зависит и от того, как окрашен освещающий его свет солнца и каков общий цвет неба. Те облака, что не подсвечиваются солнцем непосредственно, выглядят синеватыми, отражая синий цвет неба. Большие облака обычно имеют темные основания, что особенно заметно у крупных облаков кучево-дождевого типа. В таком случае удастся определить местоположение облака, даже если вершина оказывается скрытой, скажем, внутри вышележащего слоистообразного облака.

Когда нижняя поверхность облака освещается оранжевым и красным цветами в лучах заходящего солнца, при-



давая красный оттенок ночному небу, можно уверенно прогнозировать улучшение погоды. Движение облачных систем преимущественно направлено с запада к востоку, поэтому появление красных облаков указывает на то, что небо на западе очищается и облачность, какою бы она ни была, уходит на восток. И напротив, появляется красный оттенок неба утром, когда на востоке небо ясное, а облака, приносящие изменчивую погоду, приближаются с запада.

▲ Хотя точная дата, когда был сделан этот снимок «фиолетового света», неизвестна, вероятнее всего, она приходится на период после сильного извержения вулкана Пинатубо в 1991 году

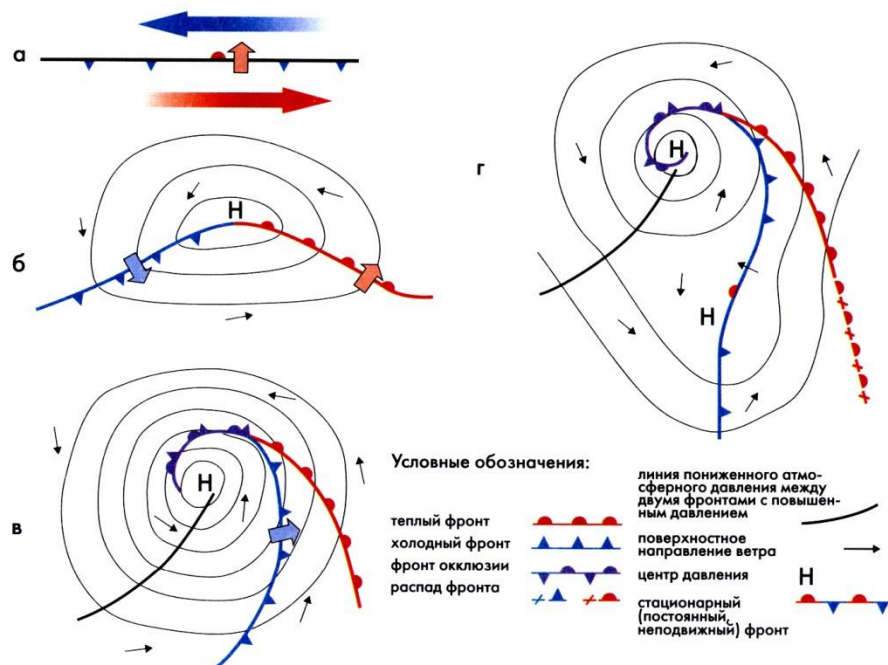
ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Существует ряд различных погодных условий, имеющих устойчивую и потому узнаваемую форму и приносящих с собой определенную последовательность перемен погоды. Для всех, кто живет в умеренных широтах, наиболее важными являются циклоны и антициклоны (то есть области пониженного и повышенного давления соответственно), влияние каждого из которых ощутимо на больших территориях по всему земному шару. Ливневые и грозовые осадки локализуются в заметно менее обширных областях, но также обладают вполне определенным характером проявлений. Самые крупные из них могут причинять заметный ущерб, принося сильный град и смерчи. Еще более опасны тропические циклоны, называемые также ураганами и тайфунами.

Развитие и разрушение циклона (депрессии), образовавшегося на квази-стационарном фронте между полярной и тропической воздушными массами (а), первоначальная волна и замыкание циркуляции (б), зрелая стадия (в) и начало разрушения (г)

Развитие и разрушение циклонов

Как было отмечено выше, полярный фронт в каждом из полушарий представляет собой границу, вдоль которой формируется резкий контраст между холодным полярным воздухом и теплым тропическим. Ветры по обе стороны фронта дуют в противоположных направлениях, вдоль линий изобар (рис. а). Такие условия неустойчивы, и хотя

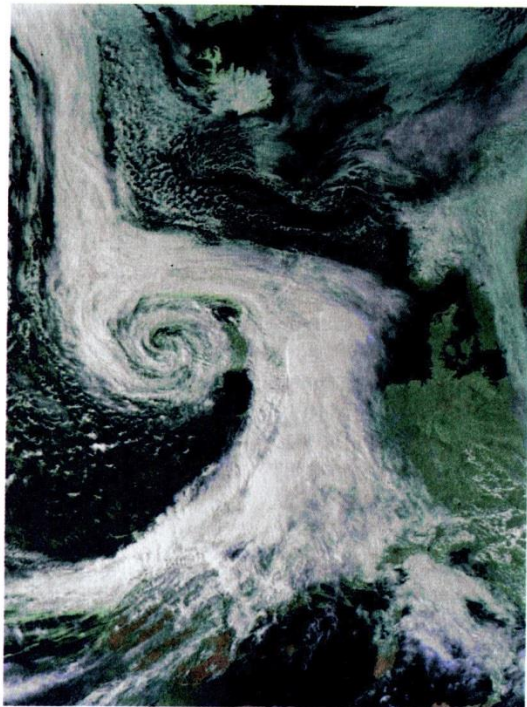


в течение какого-то времени фронт может оставаться квазистационарным, все же, как правило, на нем образуется волнообразный изгиб (рис. б). Постепенно он растет, пока не превратится в центр области низкого давления, тогда воздух начинает двигаться, пересекая линии изобар, и циркуляция замыкается (рис. в). Формируются отчетливо различимые теплый и холодный фронты, отличающиеся характером ветра, дующего в них. В целом система движется на восток, отчасти направляемая (и, возможно, усиливается или ослабляется) струйными течениями на уровне верхней ее части.

К тому моменту, когда зона низкого давления уже вполне сформируется, холодный фронт (в нашем случае — фронт полярный) оказывается отнесенным к тропикам. Позади него образуется еще один волнообразный изгиб, который, в свою очередь, со временем дает второй, полноценный циклон. В такой паре две циклонические области имеют тенденцию вращаться друг относительно друга, то есть (в Северном полушарии) центр первого циклона движется на северо-запад, тогда как центр второго — на юго-восток. Может формироваться даже несколько вторичных циклонов: один за другим они постепенно оттесняют холодный фронт все далее к экватору. Однако в большинстве случаев каждая последующая циклоническая область оказывается более слабой, чем ее предшественница на восточной стороне, и потому последовательность рано или поздно обрывается и новые циклоны могут образовываться уже лишь на определенном удалении, ближе к полюсу.

Появление циклона сопровождается формированием отчетливо различного теплого сектора между теплым и холодным фронтами. Поначалу он имеет форму широкого клина, но плотный холодный воздух позади холодного фронта вынуждает его двигаться быстрее и нагонять теплый фронт, медленнее уходящий к востоку. От этого теп-

▲ Серия циклонов и их положение относительно струйного течения. Кривизна струйного течения увеличивается от самого молодого циклона С к самому старому А. Серым цветом отмечены области наиболее интенсивных осадков



Окклюдированный ▲ циклон, покрывающий значительную площадь Британских островов, с четким холодным фронтом, уходящим к Атлантике, и теплым фронтом над Францией, Германией и Италией

лый сектор постепенно сужается, пока в некоторый момент холодный фронт не настигнет наконец фронт теплый. Тогда более легкий воздух теплого фронта отрывается от поверхности земли и, поднимаясь, формирует так называемый фронт окклюзии (рис. 7). Точка, в которой это происходит, называется точкой трех фронтов по очевидной причине. Итак, теплая воздушная масса поднимается над земной поверхностью и располагается над фронтом окклюзии.

Когда это состояние достигается, циклон начинает разрушаться, хотя до полного его исчезновения может пройти еще довольно много времени, в течение которого может стоять весьма неблагоприятная погода, сопровождаемая сильными ветрами

и обильными осадками. Фронты окклюзии известны своей способностью длительно пребывать в неподвижности над той или иной территорией, изливая на нее сильный и продолжительный дождь, который способен привести в дальнейшем к наводнениям. Однако рано или поздно ветры стихают, замкнутая циркуляция убывает и осадки прекращаются.

Диаграмма (стр. 72) показывает, каким образом струйные течения могут располагаться над областью циклонов. Мы не будем здесь описывать подробности их влияния на формирование циклонов, но заметим, что со временем циклоническая область принимает все более выраженную S-образную форму в присутствии струйных течений.

Приближающийся циклон

Перистые облака, переносимые струйными течениями, иногда могут служить самыми ранними предвестниками приближения циклона с западной стороны. Более часто, впрочем, высокие перистые облака появляются и медленно растут и утолщаются, пока не покроют все небо. Схожим образом и инверсионные следы пролетающих самолетов не рассеиваются, но сохраняются в небе и могут даже уве-

личиться, покрывая заметную площадь. Растущие перистые облака, равно как и исчезающие инверсионные следы, свидетельствуют о том, что воздух на высоте становится более влажным в той области, что соответствует тепловому фронту у поверхности земли. Как правило, когда перистое облако, утолщаясь, превращается в более или менее сплошной слой перисто-слоистого типа, наблюдаются разнообразные виды гало (стр. 60), но происходит это в течение довольно короткого промежутка времени, так как он ограничивается быстрым нарастанием толщины перисто-слоистых облаков.

Другое свидетельство о приближении теплого фронта можно получить, следя за направлением ветра на разных высотах. Когда наблюдатель (находящийся в Северном полушарии) стоит лицом к фронту, низко залегающие облака движутся преимущественно слева направо, на средних высотах — прямо по направлению к наблюдателю, а самые высокие облака (перистые, включая даже те из них, что переносятся струйными течениями) могут перемещаться справа налево. Такая ситуация, когда с ростом высоты направление ветра меняется на противоположное (стр. 17), — уверенный признак приближения циклона, несущего с собой теплый фронт. За ним идет клиновидный теплый сектор и следующий за ним — холодный фронт. (И напротив, если с ростом высоты поворот ветра происходит против часовой стрелки, то с большой долей уверенности можно ожидать улучшения погоды.) В Южном полушарии при приближении циклона ветер с ростом высоты будет поворачивать против часовой стрелки.

Скорость, с которой едва заметные разрозненные перистые облака превращаются в толстый слой перисто-слоистого типа, указывает на фактическую скорость приближения центра циклона. Если этот процесс занимает не более двух часов, то теплый фронт, сопровождаемый дождем, достигнет точки наблюдения уже через несколько часов. Если же, напротив, смена облачности растягивается на несколько часов, то ухудшения погоды можно ожидать через одни или двое суток.

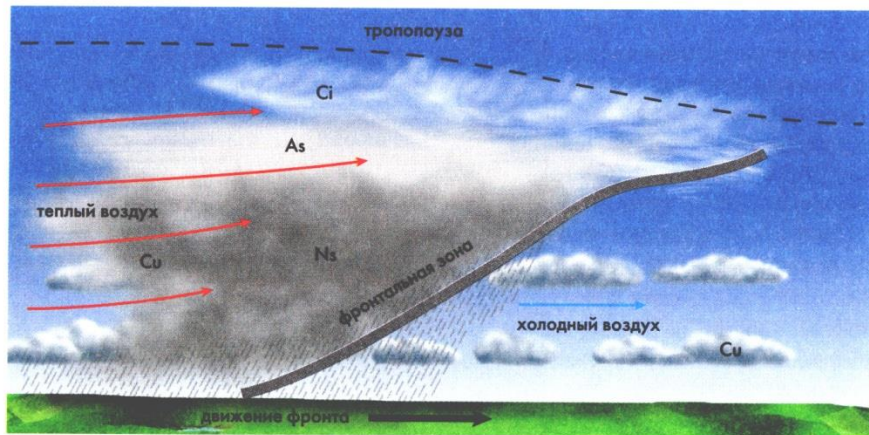
Теплый фронт

Уклон теплого атмосферного фронта относительно поверхности земли очень мал и составляет от 1:100 до 1:150 (от 1 до 0,67%). Например, если, как отмечалось выше, основание перистого облака лежит на высоте 6 км и прямо над нашей головой появились первые признаки роста облачности, то удаление поверхностной части фронта от нас составит, соответственно, от 600 до 900 км, — как правило, по направлению на запад или юго-запад (в Северном полушарии). Средняя скорость приближения фронта около 50 км/ч, и, следовательно, дождь можно ожидать через 9–10 часов, тогда как сам фронт прибудет по истечении 12–18 часов.

Для типичного теплого фронта, в котором нагретый воздух поднимается вверх, имеется вполне определенная последовательность, с которой сменяются типы облаков. В холодном воздухе, движущемся впереди фронта, низкие облака будут сначала обыкновенными кучевыми, затем станут постепенно менять пропорции, превращаясь при затекании на них теплого воздуха в кучевые плоские (*cumulus humilis*).

Схематическая последовательность меняющихся типов облаков, сопровождающих приближение теплого фронта, такова:

- перистые
- перисто-слоистые (часто сопровождаемые различными эффектами гало)
- высокослоистые
- слоисто-дождевые

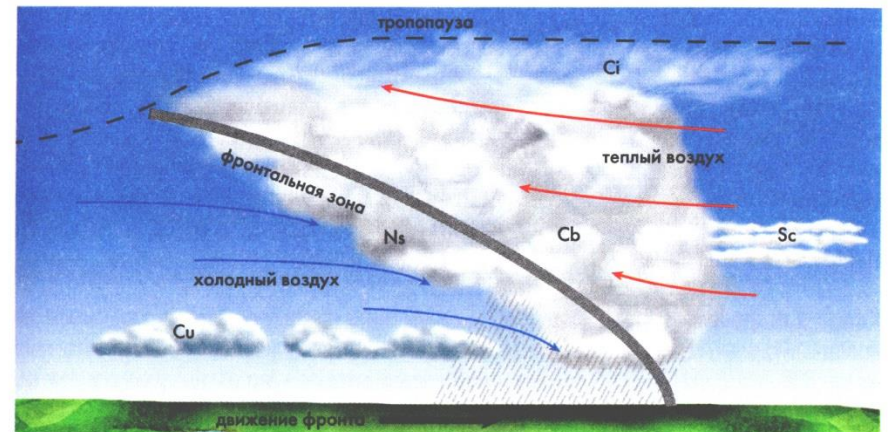


Теплый фронт, ▲ где теплый воздух поднимается и скользит над отступающим холодным воздухом. Ширина фронтальной зоны может сильно колебаться от 10 до 200 км. Масштаб высот сильно увеличен

Обычно имеет место переход от перисто-слоистого типа к высокослоистому и затем к кучево-слоистому. Но в отдельных случаях, особенно на значительном удалении от центра циклона, по мере утолщения облачного слоя могут наблюдаться также перисто-кучевые и высококучевые облака.

Когда облачность сгущается, небо становится темнее. С появлением высокослоистых облаков солнце кажется светящим сквозь матовое стекло, а затем постепенно пропадает, и тогда предметы на земле перестают отбрасывать тени. Из высокослоистых облаков может выпасть некоторое количество осадков, но оно незначительно в сравнении с основными дождевыми массами, приносимыми далее слоисто-дождевыми облаками. Последние имеют темную окраску и рыхлое основание, чрезвычайно плотны и опускаются настолько низко, что могут покрывать вершины холмов и высотных зданий. Выпадающие осадки могут сильно охлаждать нижележащий воздух до такой степени, что в нем образуются новые разрозненные клочки облаков (*rannus*), располагающиеся ниже основания первоначального облака.

Обычно главная, более или менее непрерывная, полоса дождей проходит над точкой наблюдения в течение трех-четырех часов, но если ветер ослабнет, то это время может заметно увеличиться. Полосы наиболее сильного дождя идут впереди фронта и приблизительно параллельно его поверхности. Но могут быть и более сильные ливни, если на высоте имеет место неустойчивость и сильны конвекционные потоки теплого воздуха. Зимой выпадение переохлажденного дождя или снега может предвещать основной дождь, если температура холодного воздуха, движущегося впереди фронта, достаточно низка, а в более холодных условиях, разумеется, все осадки будут выпадать в виде снега.



Во время происходящих изменений в облачном покрове атмосферное давление падает по мере того, как центр циклона приближается к наблюдателю, и в момент прохождения границы теплого фронта давление стабилизируется на его минимальном значении. Если прежде ветер над поверхностью земли по преимуществу испытывал небольшой поворот против часовой стрелки с ростом высоты, при этом усиливаясь в той или иной степени и иногда переходя в шквалистый, то теперь, по прохождении фронта, он поворачивает по часовой стрелке, резко изменив направление с южного на юго-западное или западное. Дождь становится слабее и постепенно прекращается с приближением теплого приповерхностного воздуха. Тогда же начинается и рассеивание облачности, могут появиться первые разрывы в облачном слое, через которые проступают участки ясного неба (в Южном полушарии, соответственно, ветер сначала отклоняется по часовой стрелке, а затем, когда фронт проходит, сменяется отклонением в противоположную сторону).

Нужно заметить, однако, что фронт никогда не бывает настолько резким, подобно тонкой демаркационной линии, которой обычно изображают его на метеорологических картах и диаграммах. Напротив, фронт содержит в себе некоторую область, где происходит перемешивание двух воздушных масс. Обычно толщина такой области в высоту — около 1 км, а на поверхности земли ее ширина может достигать 150 км, на протяжении которых происходит постепенный переход между двумя воздушными массами.

Теплый сектор

Погода, наблюдаемая в теплом секторе, зависит в наибольшей степени от близости точки наблюдения к центру циклона. Если расстояние до этого центра порядка сотен

▲ Типичный холодный фронт, характерный для циклонов, где холодный воздух вытесняет теплый. Схожая структура имеет место и для изолированной линии шквалов

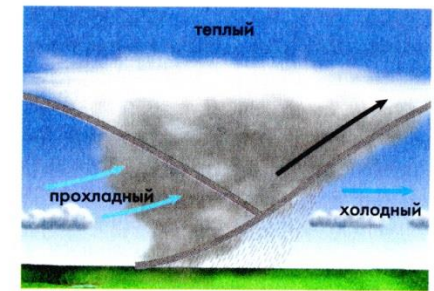
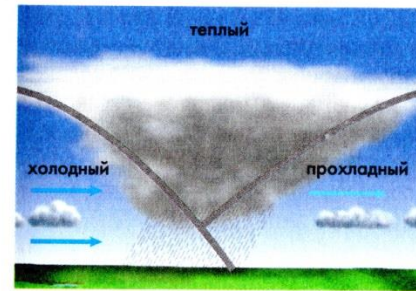
километров, то погода может быть вполне благоприятной, со слабым теплым ветром, ярко-синим небом и разрозненными облаками на всех уровнях высоты, освещенных ярким солнечным светом. Летом над сушей интенсивности солнечного тепла может быть достаточно для возбуждения конвекции, порождающей кратковременные, но сильные дожди и даже грозы. Если же центр циклона находится поблизости, то дождь может идти, не прекращаясь, над всей площадью теплого сектора, и тогда осадки перестанут выпадать лишь по прохождении холодного фронта. Соответственно, облачный слой может не разорваться на отдельные фрагменты с приходом теплого воздуха, и тогда он сохраняется в виде слоистых или слоисто-кучевых облаков.

Холодный фронт

Холодный фронт, который, как правило, движется быстрее и наклонен более круто, чем фронт теплый, подхватывает снизу теплый воздух, отрывая его от поверхности земли. Уклон плоскости холодного фронта составляет от 1:50 до 1:75 (от 2 до 1,3%). Обычно приближающийся фронт скрывается за облачностью в теплом секторе, но изредка случается, что небо проясняется, и тогда можно наблюдать движение фронта. Сопутствующая ему полоса дождей уже и проходит быстрее, чем ее аналог у теплого фронта, и часто бывает сопровождаема значительной конвекцией. Весьма часто случается, что полоса дождей движется впереди холодного фронта. Такой дождь бывает очень сильным и часто сопровождается грозой. Когда холодный фронт проходит, ветер вновь начинает отклоняться с высотой по часовой стрелке, его направление меняется с юго-западного или западного на западное или северо-западное соответственно; температура снижается, а давление растет (в Южном полушарии ветер, напротив, поворачивает против часовой стрелки, меняя направление с западного на юго-западное). Во многих случаях наблюдаются просветы в облачном покрове непосредственно перед фронтом, что всегда хорошо заметно на спутниковых фотографиях. Холодный полярный воздух позади фронта приносит хорошую видимость, но очень часто он неустойчив, особенно если часть своего пути он прошел над теплым морем. Неустойчивость, в свою очередь, приводит к появлению большого количества кучево-дождевых облаков и, как следствие, ливней. Над областями с континентальным климатом, такими, например, как центральная часть Северной Америки, воздух позади холодного фронта редко нагревается от поверхности земли и потому в нем не возникает условий, необходимых для образования дождя.

Фронт окклюзии

Фронт окклюзии отличается отсутствием теплого сектора. Как было описано выше, холодный фронт нагоняет фронт теплый, и весь теплый воздух, отрываясь от поверхности земли, поднимается им вверх. Теплый и холодный фронты, по существу, соединяются, так что за облачной системой, связанной с теплым фронтом, сразу следует конвективное облако фронта холодного. Фронт окклюзии может быть двух типов в зависимости от того, какая из двух воздушных масс холоднее. В большинстве случаев следующая за теплым фронтом холодная воздушная масса (то есть приходящая с запада) имеет температуру более низкую, чем у прохладного воздуха с восточной стороны, который поэтому отрывается от земли и поднимается вверх. В подобном случае так называемой холодной окклюзии (рис. на стр. 79 вверху слева) ветер (в Северном полушарии) будет резко отклоняться с высотой по часовой стрелке (на угол порядка 45°) и по прохождении фронта окклюзии будет наблюдаться выраженное падение температуры. Реже случается, что воздушная масса с восточной стороны оказывается холоднее, и тогда такая теп-



лая окклюзия (рис. вверху справа) будет менее отчетливой, с меньшими амплитудами изменений направления ветра и температуры и с заметно меньшим временем жизни.

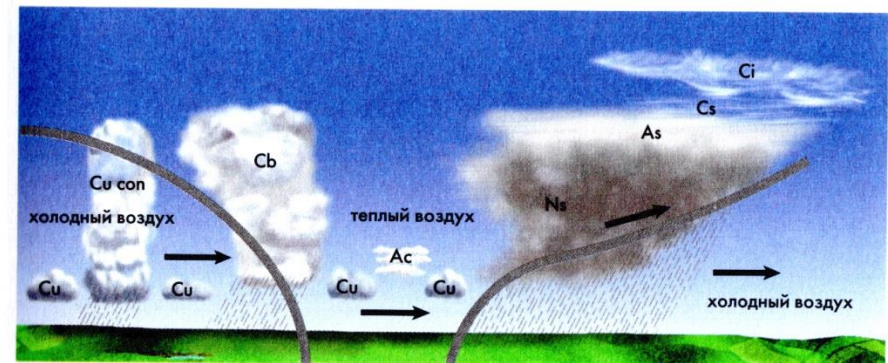
Несмотря на кажущуюся простоту происхождения, фронты окклюзии тем не менее могут приводить к весьма длительным периодам дождей, особенно если фронт останавливается над одной территорией в течение долгого времени. В такой ситуации долго не прекращающийся дождь может приводить к сильным наводнениям.

Обстановка при удалении от центра циклона

При наблюдении к северу от центра циклона (в Северном полушарии) можно заметить, как высокие перистые облака постепенно превращаются в перисто-слоистые. Из этого можно заключить о приближении теплого фронта, особенно если при этом снижается атмосферное давление. При более внимательном рассмотрении, однако, можно заметить, что ветер у поверхности земли и на высоте дует в направлении почти противоположном. Облака же, сформировавшись, со временем не будут задерживаться, а напротив, появившись на небе, потом рассеиваются. Ветер меняет свое направление от юго-восточного к восточному и в конечном счете — к северо-восточному и северному по мере удаления центра циклона на юг, после чего атмосферное давление повышается.

▲ Структура холодной (слева) и теплой (справа) окклюзии. В обоих случаях теплый воздух отрывается от поверхности земли. Кажущиеся несущественными, фронты окклюзии могут, тем не менее, приносить затяжные дожди

▼ Схематический разрез теплого сектора, движущегося в циклоне. Облачность в теплом секторе разнообразна и часто включает обильное количество слоисто-кучевых и слоистых облаков

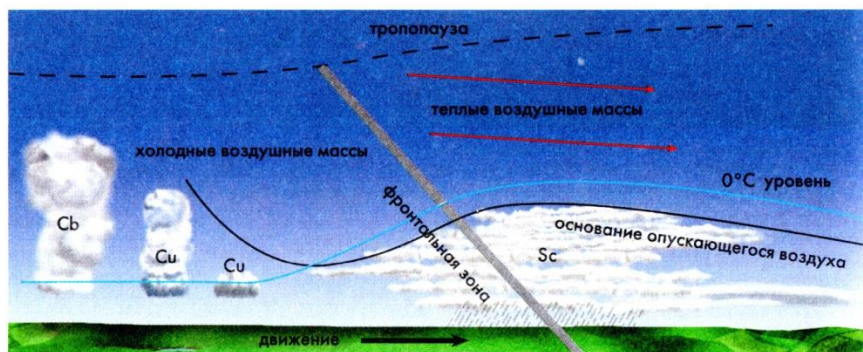
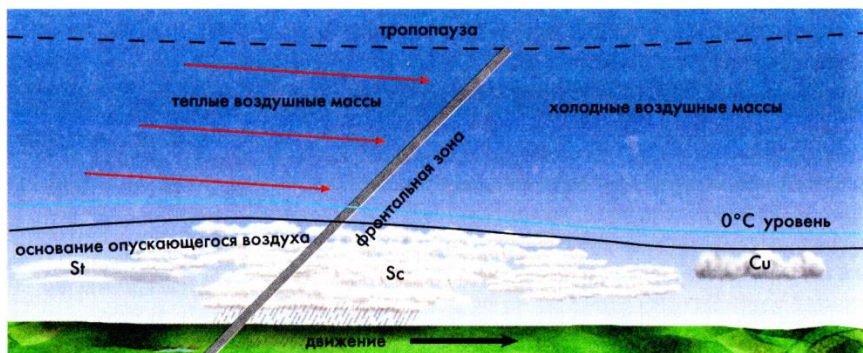


На значительном расстоянии от центра циклона на юг перистые облака меняются на перисто-кучевые и затем на высококучевые, которые не образуют сплошного облачного покрова. Перемены ветра и атмосферного давления незначительны и очень медленны, происходит скорое возвращение к ясной погоде с высоким давлением. Во многих случаях позади теплого фронта образуется узкая область более высокого давления в виде гребня, направленного к полюсу, что препятствует холодному фронту оттеснять теплый воздух и приводит к окклюзии.

Изолированные теплый и холодный фронт

Изолированные фронты возникают вдали от циклонов, они разделяют воздушные массы с различными температурой и влажностью. Они встречаются чаще над территориями с континентальным климатом (как, например, центральная часть североамериканского континента), чем в прибрежных областях. В целом они схожи с классическим вариантом холодных и теплых фронтов, но при этом тепловому фронту часто сопутствует более выраженная конвекция и, как правило, более ясное небо. Изолированный холодный фронт отчетливо обнаруживается по явному спаду атмосферного давления непосредственно перед его приходом и последующим резким его повышением.

Циклон (депрессия) ▼ с затекающим теплым воздухом, образующий теплый катафронт (вверху) и холодный катафронт (внизу). Активность роста и плотность облачности здесь ниже, чем в системах с поднимающимся теплым воздухом



Условия, при которых теплый воздух опускается вниз

В только что описанной классической схеме движения воздушных масс в циклонической области теплый воздух поднимается как со стороны теплого фронта, так и со стороны холодного, поэтому их называют фронтами восходящего скольжения или анабатическими фронтами (см. врезку на стр. 82). В определенных условиях, однако, воздух может и опускаться вниз. Такие фронты называют фронтами нисходящего скольжения или кататическими фронтами. Такие погодные условия значительно проще, они менее устойчивы и имеют менее отчетливые границы. Нисходящий поток воздуха подавляет конвекцию и не позволяет развиваться определенной последовательности высоко лежащих облаков, появление которых является надежным признаком приближающегося теплого анабатического фронта. Кучевые облака, движущиеся впереди, утолщаются и превращаются в слоисто-кучевые, нередко весьма тяжелые и плотные. Но, как это часто бывает со слоисто-кучевыми облаками, они практически не приносят осадков. В крайнем случае из них может выпасть лишь легкая морось.

Характер изменения температуры и направления ветра при прохождении катафронта в общих чертах таков же, что и для «классических» фронтальных систем, но все процессы выражены менее отчетливо и проходят за более длительное время. Позади теплого фронта слоисто-кучевые облака становятся тоньше, в них могут появляться даже небольшие разрывы, сквозь которые видно ясное небо. Со временем часть облаков меняет тип и они становятся слоистыми. Вблизи холодного фронта слоистые и слоисто-кучевые облака вновь утолщаются, что может сопровождаться легким дождем. Изменения температуры и направления ветра у такого фронта слабы и медленны, и за ним следует появление кучевых и слоисто-кучевых облаков.

Подобного рода ситуации, в которых происходит опускание теплого воздуха, могут показаться малоинтересными, но именно они чаще всего встречаются в самых разных уголках земного шара, в особенности зимой. В отношении любой фронтальной системы трудно определить количество осадков, выпадение которых можно от нее ожидать, если не иметь под рукой синоптической карты (стр. 166). Но главным признаком надо считать заметное потемнение неба в сопровождении однородной, невыразительной облачности, что указывает на такую глубину облаков, при которой капельки влаги могут образовывать макроскопические дождевые капли. Если дождь прогнозируется более или менее уверенно, то скорость приближающихся высоких и средних облаков также позволяет судить, успеет ли дождь начаться в течение дня. Если облака движутся очень медленно, то дождя может и не быть вовсе.

Антициклоны

Как отмечалось выше (стр. 17), существуют две формы антициклонов: неглубокие холодные антициклоны, образующиеся обычно в зимнее время; и теплые антициклоны, в которых нисходящий поток воздуха проходит сквозь тропосферу.

Холодный антициклон обычно приносит ясную погоду и сильное понижение температуры. В иных случаях, однако, может иметь место инверсия, препятствующая росту кучевых облаков в высоту и вынуждающая их распространяться в стороны, образуя слоисто-кучевую облачность. За пределами полярных регионов антициклоны имеют склонность принимать скорее гребнеобразную форму, чем образовывать собственно антициклон с замкнутой циркуляцией воздуха. Когда небо над антициклоном ясное, с наступлением ночи происходит быстрое и сильное падение температуры.

О терминах «анабатический» и «катабатический»

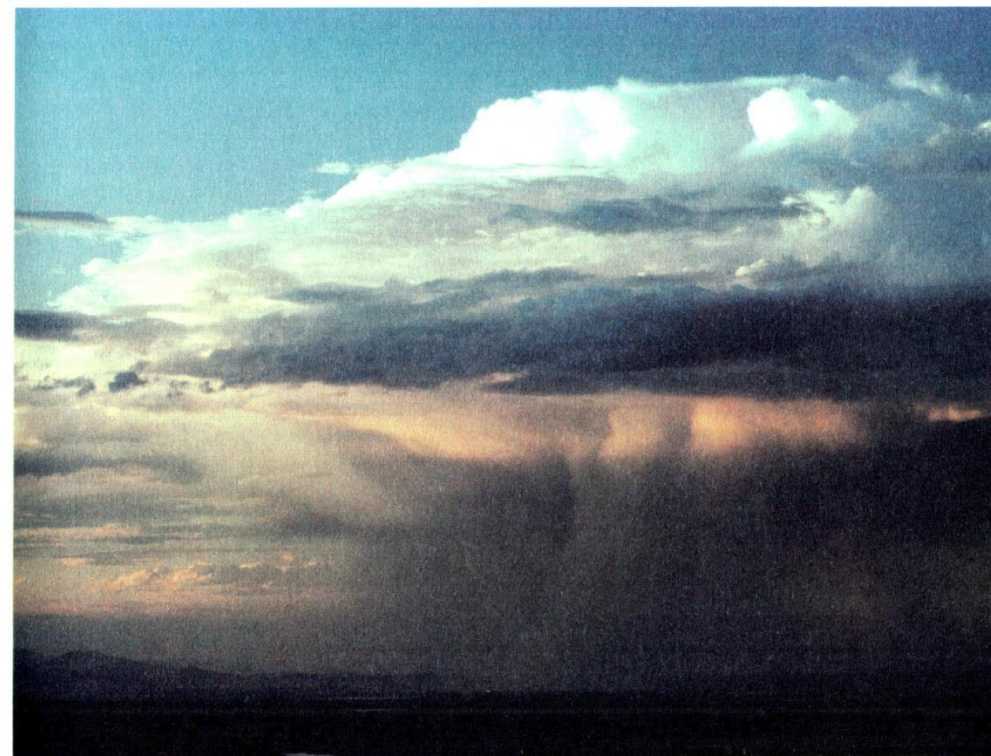
Словами «анабатический» и «катабатический» (образованы от греч. корней) в метеорологии пользуются для обозначения соответственно восходящих и нисходящих потоков воздуха или ветров. Чаще всего приходится слышать об анабатических и катабатических ветрах, иначе именуемых долинными и горными (стр. 102). Соответствующие приставки «ана-» и «ката-» относят к барическим системам, в которых теплый воздух поднимается вверх или опускается вниз.

Антициклон ► над Центральной Европой, где полярный фронт проходит над Францией, Голландией и севером Германии. Он препятствует движению циклонов на восток и оттесняет их к территории Британских островов, Норвегии и Швеции



В теплом антициклоне нисходящий и нагревающийся при этом воздух препятствует, как правило, образованию облаков, но все же отдельные кучевые облака при этом могут наблюдаться — равно как и сильно разрозненные фрагменты слоисто-кучевого типа. Если же приповерхностный воздух принадлежит теплой и влажной воздушной массе морского тропического типа, может появиться сильный туман или слоистая облачность, особенно если в ночное время происходит сильное падение температуры. В таких условиях туман или облачность могут быть весьма устойчивыми в течение длительного времени, особенно же зимой, когда ветры не очень сильны; летом же прогрева поверхности земли оказывается достаточно, чтобы их рассеять. Когда же небо полностью застелено плотными кучевыми или слоисто-кучевыми облаками, этот покров может сохраняться в течение многих дней (и даже недель), формируя характерную пасмурную погоду.

В области теплогo антициклона воздух, нисходящий сквозь тропосферу, играет роль препятствия на пути движения западных ветров и нормального движения циклонов на восток. Такие блокирующие антициклоны могут быть очень устойчивыми и приносят погоду, нетипичную для своего времени года на окружающей территории. Полярный фронт сдвигается при этом к полюсу в сравнении с «классической» ситуацией, а путь циклонов отклоняется к северу или югу от обычных для них траекторий. Например, зимний блокирующий антициклон над Скандинавией



может принести с собой резкие восточные ветры на территорию Западной Европы и оттеснить пути движения циклонов к Пиренейскому полуострову и Средиземноморью, то есть гораздо южнее, чем это обычно наблюдается.

Ливни

Ливни, или, точнее, ливневые осадки, в метеорологической терминологии означают дожди, выпадающие, как правило, на ограниченной местности из мощных кучевых (*cumulus congestus*) или кучево-дождевых облаков. Как отмечалось выше (стр. 36), в регионах с умеренным климатом осадки из мощных кучевых облаков выпадают преимущественно летом, тогда как кучево-дождевые облака в течение всего года являются источником обильных осадков, выпадающих вне фронтальных систем. Кучево-дождевые облака начинаются с разрастания обыкновенных кучевых облаков, пока не наступает замерзание воды с увеличением высоты, после чего образующиеся кристаллики льда падают вниз и тают, давая количество воды, достаточное для выпадения дождя или при более низких температурах — снега. Большие и плотные кучево-дождевые облака могут принести град или разразиться грозой.

▲ Отдельное кучево-дождевое облако, из которого идет очень сильный ливень, возможно с градом. Под дождем оказывается сравнительно небольшой участок земли, что характерно для большинства ливней

Кучевые и кучево-дождевые облака растут только в неустойчивых условиях, когда приповерхностная температура выше, чем на больших высотах. Общая интенсивность конвекции может быть оценена по площади неба, покрытой облаками, тогда как размер ясных участков позволяет судить о том, насколько нисходящий воздух уравновешивает перенос в восходящих потоках. Для самой грубой оценки можно принять, что ливневые осадки вероятны, когда площадь облачного покрова превышает размер ясных участков неба. Локальные особенности территории — например, наличие крупных городов — могут способствовать появлению областей с более высокой температурой на поверхности земли, где конвекция усиливается, также и холмы или горы часто приводят к подъему воздуха вдоль их склонов и, следовательно, к росту облаков. Наиболее мощные облака отличаются темным цветом своих оснований, что служит еще одним признаком вероятного ливня.

Выше также отмечалось, что отдельные кучево-дождевые облака живут ограниченное по продолжительности время, примерно с равными периодами роста, зрелости и рассеивания, что в целом составляет от одного до полутора часов. Такие небольшие облака могут покрывать области площадью 10–12 км², и тогда из них выпадают осадки в течение от 10 минут до получаса. Над сушей возникновение и длительное сохранение подходящих для образования дождя условий в значительной мере зависит от степени прогрева земли в течение дня, и поэтому к ночи ливни склонны прекращаться ввиду спада интенсивности конвекции во второй половине дня и в вечернее время. Если же конвекция возбуждается при прохождении холодного воздуха над теплым морем, интенсивный обмен воздуха будет продолжаться и на протяжении ночи.

Когда градиентный ветер (то есть дующий по направлению линий изобар) достаточно силен, ливни бывают кратковременны и длятся менее получаса, перемежаясь более долгими периодами ясной, солнечной погоды. Если же ветер слаб, то ливень может продолжаться заметно дольше, но общее количество осадков за день будет меньше. Ливни и сами порождают бурные ветры как следствие сильных восходящих и нисходящих потоков воздуха, связанных с кучево-дождевыми облаками. Например, восходящие потоки захватывают воздух из области впереди облака, отчего появляется локальный ветер, дующий навстречу облаку, что нередко запутывает неопытных наблюдателей, утверждающих, что ливневое облако движется «против ветра». Изменения силы и направления ветра могут быть весьма значительными. Во время прохождения ливня на высоте приповерхностный ветер может нередко удвоить силу и даже поменять направление на противоположное (или просто заметно повернуть в сторону), причем происходить это может неоднократно. Ливневые осадки обычно сопровождаются падением температуры у земной поверхности примерно на 3°C из-за того, что дождевая влага испаряется в теплых слоях приземного воздуха, на что и расходуется определенное количество тепла.

Потоки воздуха, вовлекаемые в активную кучево-дождевую облачность, часто порождают вторичные зоны конвекции. Иногда их может быть несколько, и они могут находиться на разных этапах роста, зрелости или рассеивания. Дополнительные конвективные зоны, очевидно, продлят общее время существования облачности, и осадки захватят более обширную территорию в зависимости от преобладающего ветра.

Град

Град состоит из твердых частиц льда размером более 5 мм в поперечнике (при более мелких размерах говорят о выпадении ледяной крупы). Образование града связано с циркуляцией ледяных частичек между различными областями градового облака. Когда такая частица попадает в область, где присутствуют капельки переохлажденной



воды, последние мгновенно замерзают на ее поверхности, играющей роль ядра кристаллизации. При этом ввиду быстроты процесса во льду остаются пузырьки воздуха, образующие затем матовый слой вокруг первоначального ядра. Если же жидкая вода, присутствующая в облаке, не переохлаждена, она равномерно растекается, прежде чем замерзнуть, и потому дает впоследствии, соответственно, прозрачный ровный ледяной слой. Сильные восходящие потоки внутри кучево-дождевого облака поднимают будущий град снова к вершине облака, после чего возможно повторное опускание с повторением всех описанных процессов. Таким образом, градины становятся все крупнее и крупнее, обычно образованные чередующимися слоями прозрачного и матового льда, до тех пор, пока они не станут слишком тяжелы, чтобы быть удерживаемыми восходящими воздушными потоками. Тогда они выпадают из основания облака и летят на землю со скоростью до 150–160 км/ч. Даже мелкий град может приносить существенный ущерб урожаю, равно как и всевозможным объектам на земле, а наиболее крупные из зафиксированных градин имели диаметр свыше 200 мм. Самая тяжелая из известных градин была обнаружена в Гопалгандже (Бангладеш) 14 августа 1986 года и весила 1 кг. Что касается выпадения нескольких градин, смерзшихся в одно целое, то масса такого образования может достигать и 4 кг.

▲ Гроза с градом над штатом Нью-Мексико (США). Падающему граду отвечает отчетливая белесая область на переднем плане



Типичные градины ▲ среднего размера. Хорошо видны слои прозрачного и матового льда

Грозы

Грозы случаются тогда, когда сильные восходящие потоки в кучево-дождевом облаке разделяют его на зоны с положительным и отрицательным электрическим зарядом, разнесенные в разные его области. В точных подробностях механизм разделения электрических зарядов до сих пор не вполне ясен, но, по всей видимости, он связан с замерзанием воды и фрагментацией частичек льда в верх-

ней части облака. Как правило, положительно заряженные частицы более легкие и поднимаются к его вершине, тогда как отрицательно заряженные частицы оказываются тяжелее и скапливаются в основании облака. Поэтому, когда облако движется в небе, оно создает наведенный положительный заряд над лежащей под ним поверхностью земли. Наведенный заряд движется над землей вслед за облаком до тех пор, пока не станет слишком большим, либо пока расстояние между облаком и землей не сократится (например, за счет такой возвышенности на земле, как высокое здание или дерево) до такой степени, что происходит пробой воздушного зазора и наблюдается разряд молнии.

Температура в канале молнии чрезвычайно высока, она превышает даже температуру на поверхности Солнца. В результате мгновенного нагрева воздушный канал расширяется со сверхзвуковой скоростью, что производит всем знакомый звук раската грома. Свет молнии достигает наблюдателя практически мгновенно, тогда как звуковые волны распространяются гораздо медленнее. Сосчитав секунды, прошедшие между вспышкой молнии и звуком грома, можно оценить расстояние: 1 км приходится примерно на каждые 3 секунды задержки. Если задержки времени между молнией и громом практически не происходит, то грозовое облако проходит у вас над головой. Каждое грозовое облако имеет свой определенный ресурс, поэтому если вы наблюдаете за грозой уже в течение 20–30 минут, то скорей всего она скоро закончится. Если звук грома не удастся расслышать, то наиболее вероятно, что расстояние до облака составляет не менее 25–30 км.

Разряды молнии могут происходить не только между облаком и землей, но и внутри облака между разными его частями, а также между разными облаками. Когда канал

разряда бывает видимым, молнию называют ветвистой. Ее отличают от так называемой скрытой молнии, канал которой не просматривается.

Тем не менее между этими двумя разновидностями нет существенных различий. Если разряд происходит внутри облака или между двумя облаками, канал может быть скрыт за облачным слоем и тогда выглядит неотчетливым. Зато при хорошей видимости в разряде между облаками наиболее заметна разветвленность канала, особенно в тех регионах, где основания облаков залегают на большой высоте. Различают также зарницу — так называют наиболее удаленную грозу, видимую невысоко над горизонтом, звук от которой невозможно расслышать.

Меры безопасности во время грозы

На улице:

- избегайте открытых пространств, на которых вы будете самым высоким объектом
- прячьтесь внутри здания, под мостом или в автомобиле
- не укрывайтесь под одиноко стоящими деревьями
- в горах или на холмистой местности старайтесь опуститься в долину
- если поблизости нет крова, старайтесь найти самые низменные места, но избегайте влажных или заболоченных участков земли
- не ложитесь на землю, но сядьте, обхватив руками голени и прижав голову к коленям
- если волосы на вашей голове или кого-либо из ваших спутников начинают самопроизвольно подниматься вверх, немедленно опускайтесь на землю
- находясь в море или на озере, старайтесь попасть в укрытие как можно быстрее
- большие яхты обычно имеют средства защиты от молний, но небольшие лодки находятся под угрозой поражения молнией. Для защиты можно обвязать вокруг вант конец якорной цепи (или троса) и бросить его в воду; избегайте прикосновения к этому самодельному молниеотводу

В помещении:

- старайтесь держаться на удалении от водопроводных труб, антенных кабелей, телефонных проводов и электропроводки
- отключите телефоны, компьютерные модемы и т. п.
- отключите от электрической сети сложные электронные устройства (компьютеры, телевизоры и т. п.)
- наблюдая из помещения за грозой, избегайте приближения вплотную к оконному стеклу и тем более не высовывайтесь из окна наружу
- наблюдение за грозой с веранды или крытого балкона, как правило, безопасно

Грозы, возникающие в многоячейковых грозовых системах

Как говорилось выше в связи с кучево-дождевыми облаками, активное грозовое облако может втягивать в себя воздух из окружающего пространства и порождать новое облако. Часто можно увидеть целый ряд растущих грозовых облаков, выстраивающихся вслед за первичным. Такая «фланговая линия» обычно располагается на южной стороне позади главного грозового облака, то есть к югу или юго-западу от него (в Северном полушарии).

Когда активность проявляют два или более грозовых облаков (ячеек), такие системы называют многоячеековыми, и, как результат их повышенной активности, общее время их существования увеличивается и составляет несколько часов. Обычно удается выделить местоположение каждого отдельного грозового облака из общей системы облаков и оценить, насколько вероятно его прохождение в зоне наблюдения. Следует помнить, что если первое грозовое облако обходит стороной, уклоняясь к северу (в Северном полушарии), то следующая, более молодая ячейка, лежащая южнее главной, может принести грозу.

Грозы, возникающие в мощных грозовых системах (суперъячейках)

Наиболее сильные из гроз возникают в так называемых суперъячейках, или мощных грозовых системах, которые возникают в очень неустойчивых условиях существования воздушной массы и где происходит значительное усиление ветра с ростом высоты. В этом случае вместо образования отдельных грозовых облаков формируется одна очень большая облачная система в виде гигантского вращающегося конгломерата из поднимающегося воздуха, так называемого мезоциклона, достигающего вершин кучево-дождевых облаков на уровне 8–15 км. Такие грозовые системы сопровождаются сложным сочетанием восходящих и нисходящих потоков и холодным воздухом, проникающим в систему извне на средних высотах. Поскольку основной восходящий поток, приносящий в систему теплый и влажный воздух, надежно изолирован от потоков нисходящих, то такая грозовая система существует очень продолжительное время — до шести часов и даже более.

Мощные грозовые системы, или суперъячейки, порождают самые сильные бури и сопровождаются проливным дождем, многочисленными молниями и градом. Ливневые осадки могут быть столь интенсивными, что вызывают кратковременные наводнения, а нисходящие воздушные потоки достигают такой силы, что даже сами по себе способны нанести значительный ущерб. Суперъячейки порождают разрушительной силы смерчи или торнадо, которые наиболее часто встречаются в средних широтах, особенно над центральными и восточными регионами США и другими континентальными областями мира.



▲ Разряд молнии над международным аэропортом Далласа — Форт-Уэртом. Отчетливо видна разветвленная структура молнии, причем лишь один, главный канал достигает земли



Гроза из нескольких ▲
грозовых облаков
(многоячейковая
грозовая система).
Самое близкое грозовое
облако находится
справа, а более
удаленные — слева.
Видны признаки того,
что левее должны быть
еще одно-два грозовых
облака,
не попавших в кадр

Линии шквалов и крупномасштабные зоны конвекции

Иногда кучево-дождевые облака бывают организованы в целостное скопление или линию неустойчивости, называемую крупномасштабной зоной конвекции (КЗК). Как можно увидеть (и точно измерить в метрических единицах) на спутниковых фотографиях, такие зоны покрывают обширные площади (свыше 100 000 км² при температурах ниже -32°C и порядка 50 000 км² при температурах ниже -52°C) и сохраняются в течение более шести часов. Системы КЗК разрастаются до максимальных размеров в течение одной ночи по мере того, как малые грозовые комплексы соединяются вместе, и часто сохраняются на протяжении всего последующего дня. Наиболее часты они над территориями в средних широтах и тропиках, особенно же — над обоими американскими континентами, а также над Африкой и Азией. Если системы КЗК уходят с суши и движутся над океаном, то они часто становятся зародышами, из которых впоследствии возникают тропические циклоны (ураганы).

Линией шквалов называют линию вдоль КЗК, она может простираться в длину на сотни километров и пересекать территории целых стран (похожие по структуре, но обычно не столь сильные ветры могут быть частью быстро движущегося холодного фронта). Интенсивность этих ветров может быть настолько большой, что в области выпадения приносимых ими осадков атмосферное давление повышается и затем падает позади прошедшей бури.

Где возникают грозы

Грозы часто сопровождают холодный фронт, где они скапливаются в полосы шириной примерно от 25 до 80 км и протяженностью в сотни километров. Иногда встречаются они и у теплых фронтов, но такие системы имеют спорадический характер и не могут долгое время сохранять активность, давая, как правило, лишь одну-две вспышки молнии. Над морем грозы часто возникают внутри объема холодных воздушных масс, следующих за холодным фронтом. Над континентальными же областями грозы чаще всего бывают летом, когда прогрев земли солнцем наиболее интенсивен. Грозы в суперъячейковых системах вероятнее всего встретить в континентальных условиях летом, а также в любое время года — в тропиках.

Конкретные обстоятельства, впрочем, могут серьезно повлиять на формирование сильной грозы. Например, летом на западе Европы потенциально неустойчивая разо-

▼ Приближающаяся мощная грозовая система (суперъячейка) над Средним Западом США. Облачные кольца дают представление о том, каким образом происходит циркуляция воздуха в огромной вращающейся воронке



гретая воздушная масса может формироваться над Пиренейским полуостровом и распространяться к северу над территорией Франции. Выполняя роль области инверсии, этот слой подавляет конвекцию нижележащего воздуха, который в результате становится избыточно влажным. Если объем воздуха с более низким давлением на заметной высоте будет проходить над этой областью, то конвекционный поток может прорваться сквозь инверсию и породить сильнейшую грозу по механизму мощной грозовой системы. Иногда эти грозы пересекают пролив Ла-Манш и достигают юга Англии. Подобным образом формирующиеся над Мексикой грозы достигают южных штатов США.

Вершины грозовых систем, формирующихся в полярном воздухе, часто могут быть видны с расстояния порядка 80 км по мере их приближения, когда они несут с собой шквалистые ветры. Грозы, приходящие из тропиков, простираются еще выше, и их напоминающие наковальни вершины видны с еще больших удалений. Погода в преддверии грозы имеет вполне отчетливые черты: воздух становится тяжелым, теплым и влажным, небо пасмурным и сильно темнеет, лишь изредка подсвечиваясь дальними молниями.

Вихри, смерчи и торнадо

Существует целое семейство явлений, объединяемых общим названием вихрей, представляющих собой плотные, сосредоточенные на сравнительно небольшой площади воздушные столбы, вращающиеся с различной интенсивностью. Самыми слабыми из них являются собственно вихри, различающиеся по типу вещества, которое они втягивают в себя с поверхности земли. Так называемые пылевые или песчаные вихри возникают при сильном нагреве поверхности, часто сопровождающимся различием значения трения о землю на разных участках, что приводит столб воздуха во вращательное движение. Другого рода вихри могут возникать, когда воздух воронкообразно втягивается в низменное пространство, окруженное холмами: так часто возникают снежные (и водяные) вихри. Все они имеют краткий срок жизни, от минут до десятков минут.

Более сильны водяные смерчи и соответствующие им смерчи над сушей. Возникают они благодаря сильным восходящим и нисходящим воздушным потокам, создаваемым активными системами кучевого мощного или кучево-дождевого типов. Образование смерчей начинается с так называемого взброса облака, когда появляется трубообразная воронка, нисходящая от его основания. Когда она достигает поверхности земли или водного бассейна, от нее поднимается встречная воронка из воды или пыли и, в случае водяного смерча, образует «темное пятно» на поверхности воды (см. рис. на стр. 94). И водяные смерчи, и смерчи над сушей могут быть весьма сильными и приносить заметный урон, хотя, впрочем, есть основания считать водяные смерчи немного менее опасными. К этому классу вихрей близки и некоторые торнадо, возникающие в тропических циклонах и (иногда) даже в отдельных кучево-дождевых облаках с очень активной циркуляцией.

Самыми разрушительными вихрями являются торнадо. Истинные торнадо возникают в мощных грозовых системах, в которых, как отмечалось выше, всегда присутствует вращающийся цилиндрический столб воздуха весьма больших размеров (так называемый мезоциклон). Появление торнадо часто можно предсказать по опусканию вниз основания облака в так называемой области бездождевого основания, откуда затем образуется облако, приходящее во вращение. Либо из него, либо из бездождевого основания происходит впоследствии опускание вниз воронки торнадо. В облачной воронке происходит сильное падение давления, по меньшей мере на 200–250 мбар, что делает воздух насыщенным и сжатым, собранным в матово-серый столб.



◀ Типичный пылевой вихрь в Кении. Вершины подобных вихрей поднимаются обычно к участкам ясного, безоблачного неба

Очень сильное движение воздушных потоков в грозовой системе порождает чрезвычайно высокие скорости ветра внутри торнадо (самое высокое зарегистрированное ее значение составило 512 км/ч во время торнадо в пригороде Оклахома-Сити (США) в 1999 году). Также зафиксированы значения вертикальной скорости ветра свыше 250 км/ч, при которой с земли могут быть подняты в воздух даже чрезвычайно тяжелые предметы (например, железнодорожный локомотив). Иногда столб смерча отрывается от поверхности земли, проходит некоторый путь и касается ее уже в новом месте. Типичный диаметр воронки у поверхности составляет 100–200 м, но были наблюдения, зарегистрировавшие и огромные торнадо, шириной в 2 км. Такие гигантские торнадо сопровождаются иногда побочными, менее крупными вихрями, собирающимися по внешнему краю главной воронки.

Часто торнадо возникают последовательно, группа — вплоть до сотни в течение одного дня — по мере того, как порождающая их грозовая система движется над землей. Длительность и направление движения отдельных



Водяной смерч, ▲ сфотографированный над Средиземным морем. Обильные брызги в основании вихря едва заметны

смерчей, однако, нерегулярны и едва ли предсказуемы. Одни из них могут пребывать устойчивыми и неподвижными по 45 минут, другие же за считанные минуты полностью стихают. Те из них, что сохраняют активность на протяжении часов, могут преодолевать расстояния в 400–500 км.

Тропические циклоны

Очень сильные грозовые вращающиеся системы называют тропическими циклонами, которые имеют также именованья в соответствии с теми частями света, где они наблюдаются:

- ураган — над Атлантическим и восточной частью Тихого океанов
- тайфун — на северо-западе Тихого океана
- циклон — над Индийским и юго-западом Тихого океанов.

По определению, тропическим циклоном принято называть систему, в которой скорость ветра превышает 33 м/с (приблизительно 120 км/ч). Строение ее таково: в центре ядро низкого давления, окруженное спиралевидными полосами интенсивной конвекции. Спутниковые фотографии свидетельствуют о том, что каждую такую систему покрывает огромный размеров слой перистых облаков, растекающихся на высоте. Ширина в поперечнике такого покрова из перистых облаков может достигать тысяч километров.

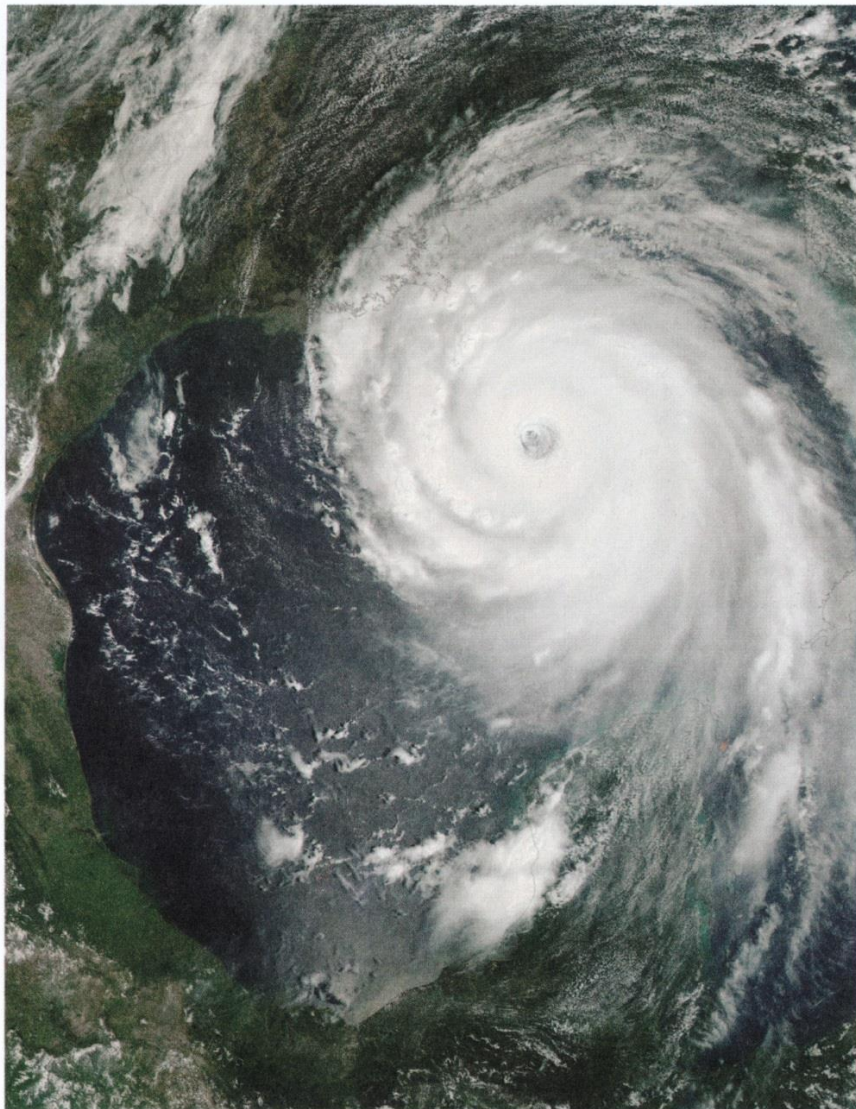
Тропический циклон может возникнуть только над океаническими водами, температура которых превышает 27°C на поверхности (известна лишь единственная система подобного рода над Южной Атлантикой, возникающая при более низкой температуре воды). Кроме этого, есть и еще ряд условий, без выполнения которых тропический циклон не образуется: это малый сдвиг ветра (то есть небольшое изменение его скорости и направления) с ростом высоты, а также расхождение в стороны воздуха, поднимающегося на высоту (что, собственно, оказывается и движущей силой такого подъема от поверхности). Как правило, подобные системы возникают на удалении в 5–10° широты от экваториальной зоны низкого давления; спад их активности наступает, когда их путь проходит над холодными водами либо над сушей, где прекращается приток питающих их воздушных масс. Возможно объединение такого затухающего тропического циклона с другой уже существующей системой, и тогда рождаются сильные внетропические циклоны.



Зарождающееся торнадо: ▲ воронкообразное облако, опускающееся к земле. На фотографии хорошо заметно вращение облака, окружающего сверху нисходящую вниз воронку

▼ Зрелое торнадо разрушительной силы, внизу явно видно поднимающееся облако из обломков и мусора





Знаменитый ураган ▲ Катрина над Мексиканским заливом в августе 2005 года, незадолго перед тем, как он произвел сильнейшие разрушения в Новом Орлеане

Центр низкого давления в ядре тропического циклона, где теплый воздух опускается в центр грозы, может оказаться совершенно безоблачным, и его иногда называют глазом циклона. Внешний предел этой области называют границей глаза циклона. Это место самой сильной конвекции, полосы самых высоких кучево-дождевых облаков, самых интенсивных осадков и самых бурных ветров. Разрушения, причиняемые тропическими циклонами, определяются тремя факторами. Во-первых, ураганные ветры,

которые могут сопровождаться еще более сильными побочными смерчами, приносят ущерб практически мгновенно. Во-вторых, низкое давление в центре циклона и сильные ветры способствуют образованию подъема (купола) воды под циклоном. По мере приближения к берегу этот купол превращается в сильную приливную волну, поднимающуюся до 10–12 м над уровнем моря. Далее она обрушивается на берег и заливает побережье на расстояние до 10–15 км, причиняя сильные разрушения, даже с человеческими жертвами. Наконец, сильные ливни могут привести к широко распространяющемуся наводнению, сопровождающемуся обвалами и оползнями, которые и сами по себе имеют тяжкие последствия. Но с другой стороны, тропическая растительность, в том числе и культурная, очень сильно зависит от осадков, приносимых тропическими циклонами.

▼ Наводнение в Новом Орлеане, вызванное штормовым нагоном воды при прохождении урагана Катрина. Схожее наводнение 1970 года в Бангладеше унесло жизни более 300 000 человек



МЕСТНАЯ ПОГОДА

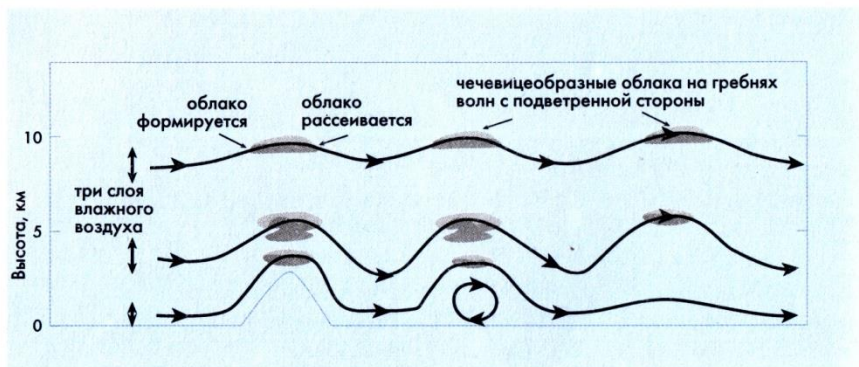
Крупные воздушные массы покрывают области площадью в тысячи квадратных километров, но на погоду над выбранной небольшой территорией влияет и множество местных факторов, существенно меняя ее в сравнении с прогнозами, усредненными для большой территории. Топография местности (в особенности долины, холмы и горы) сильно сказывается на погоде, равно как и близость к морю или иным крупным водным бассейнам.

Трение и турбулентность

Как мы видели выше, характер подстилающей поверхности оказывает влияние на ветер из-за силы трения. Очевидно, самой малой она будет над морем, тогда как над сушей может возрасти многократно. Трение — главная причина того, что сильный прибрежный ветер может стать едва ощутимым по мере удаления в глубь материка. Из-за трения возникает турбулентность в пограничном слое (стр. 17), а турбулентный характер, в свою очередь, означает, что воздух в этом слое хорошо перемешан и, следовательно, его свойства примерно одинаковы по всему объему; это касается прежде всего температуры и влажности. Турбулентность, обусловленная восходящими ветрами, в течение дня часто приводит к рассеянию тумана и дымки, которые образуются за ночь. Особенно сильна турбулентность в областях с плотной застройкой, где дома, стоящие на пути воздушных потоков, могут быть причиной порывистости ветра и смены его направления.

На высотах течение воздуха менее стеснено, но и здесь, встретив препятствие в виде холма или горы, воздух вынужден подниматься вверх и увеличивать скорость, преодолевая затем вершину возвышенности и быстро спускаясь по ее склону. Если ветры не сильны, то это вызовет

Схема формирования волнистых облаков. Для примера показаны три слоя влажного воздуха. Иногда волны могут быть настолько сильны, что образуется замкнутый вихрь с подветренной стороны гор



лишь небольшое увеличение турбулентности, но при сильном ветре даже сравнительно низкий холм может привести к мощным завихрениям со стороны подветренного склона с серией воздушных волн, уходящих далее по ветру. При устойчивых условиях в атмосфере на гребнях этих невидимых волн образуются волнистые (чечевицеобразные) облака (описанные выше, на стр. 55), которые могут сохраняться в течение длительного времени. Но и в отсутствие облакообразования турбулентность и воздушные волны, тем не менее, присутствуют и часто проявляют себя разрывами облачного слоя (например, слоисто-кучевого типа) с подветренной стороны холма, даже если повсюду над равнинной местностью облачность того же типа остается сплошной. В определенных условиях, особенно если высокие горы расположены с наветренной стороны от глубокой и широкой долины, может образовываться особо крупный вихрь, располагающийся над долиной там, где приповерхностный ветер направлен противоположно ветру на высоте.

Облака и дожди над горами и холмами

Орографический подъем воздуха (стр. 28) над холмами или горами, очевидно, оказывает серьезное влияние на облачный покров и выпадающие осадки. В большинстве случаев, если при подъеме образуются облака над холмами, то их основания с наветренной стороны будут залегать ниже, нежели с подветренной, где воздух спускается вниз. В зависимости от обстоятельств облако может окутывать вершину холма, а может и оставлять прозрачный промежуток между ней и своим основанием. Форма облака, разумеется, зависит от того, в устойчивых или неустойчивых условиях оно формируется: в устойчивой атмосфере образуются слоистообразные облака, которые нередко рассеиваются с подветренной стороны холма. Если же атмосфера

▲ В устойчивых условиях (слева) над горной вершиной может появиться облачная «шапка», но она рассеивается с подветренной стороны. Когда же условия неустойчивы (справа), орографического подъема может быть достаточно, чтобы инициировать образование значительных кучевообразных облаков

неустойчива, то возникают кучевые облака, но и они могут существовать только вблизи вершины горы или холма. Тому, кто восходит на гору, надлежит быть весьма осторожным, если ожидается приближение фронтальной системы, несущей теплый и влажный воздух, который будет подниматься вверх по склону: в таких условиях высока вероятность сильного ухудшения видимости и выпадения дождя или даже снега. И хотя из слоистых облаков не выпадает большого количества осадков, с легкостью можно оказаться покрытым облаком и быстро промокнуть.

Возможен и такой случай, когда ветер оказывается направлен вдоль вытянутой гряды гор или холмов: тогда обильные осадки могут выпадать и на наветренных склонах, в то время как подветренные области окажутся защищенными от дождя благодаря возвышенностям рельефа. Для такого явления имеется специальное название: дождевая тень, и этот эффект имеет исключительную важность для климата во многих частях мира, где пути преобладающих ветров пересекают цепи высоких гор. В этом отношении заметно может сказываться даже фактический наклон земной поверхности, что особенно ощутимо в высоких широтах. Северные склоны (в Северном полушарии) получают мало (или даже не получают вовсе) солнечного тепла в зимнее время; и, соответственно, южные склоны, ориентированные к солнцу, прогреваются солнцем весьма значительно, особенно летом. Но в любое время года нагревание подстилающей поверхности может порождать сильные восходящие потоки конвекции, в которых начинают образовываться кучевые облака над горными вершинами, а также облака кучево-дождевые, приносящие осадки. При определенном сочетании погодных условий такие облака могут оставаться практически неподвижными над горной местностью и в ряде случаев приводить к опасным селям.

В неустойчивой атмосфере, даже если над низменными участками суши осадки не выпадают, самые небольшие хребты или просто протяженные возвышенности могут обеспечить подъем воздуха, достаточный для образования дождевых условий. Если же над равнинной местностью ожидается дождь, то дополнительный орографический подъем может превратить его в сильный ливень или даже грозу. Зимой высотный уровень атмосферы, на котором начинается замерзание воды, существенно понижается, и тогда даже на сравнительно невысоких горных возвышенностях появляются снежные шапки. Опускаясь еще ближе к земле, кристаллы льда тают и обращаются в дождь. Снеговая линия (уровень, выше которого осадки выпадают только в виде снега) смещается в течение зимы, но никогда не пролегает ниже той высоты, на которой температура достигает 3°C .

Когда воздух опускается по подветренному склону любой возвышенности рельефа, он нагревается (скорость чего определяется сухим или насыщенным адиабатическим градиентом, см. стр. 28–31). Если прежде часть влаги успела выпасть на наветренном горном склоне или непосредственно над вершиной, то здесь воздух будет суше и теплее, чем на том же высотном уровне с наветренной стороны (рис. на след. стр.). Это так называемый фёновый эффект, который также имеет место, когда волновое движение оттесняет воздух вниз с подветренной стороны горной возвышенности. Фёновый эффект может возникать с большей или меньшей интенсивностью в разных условиях, но самым сильным он бывает вблизи высоких гор. Фён как таковой (от которого берет название и означенный эффект) наблюдается в Альпах, часто бывая приуроченным к находящейся на севере области пониженного давления, приводящей в движение воздух на юге, вынуждая его преодолевать горную преграду. Сходным образом в Северной Америке сухой и теплый ветер чинук, дующий с восточной стороны Скалистых гор, может порождать исключительно быстрый подъем температуры (рекордным из задоку-

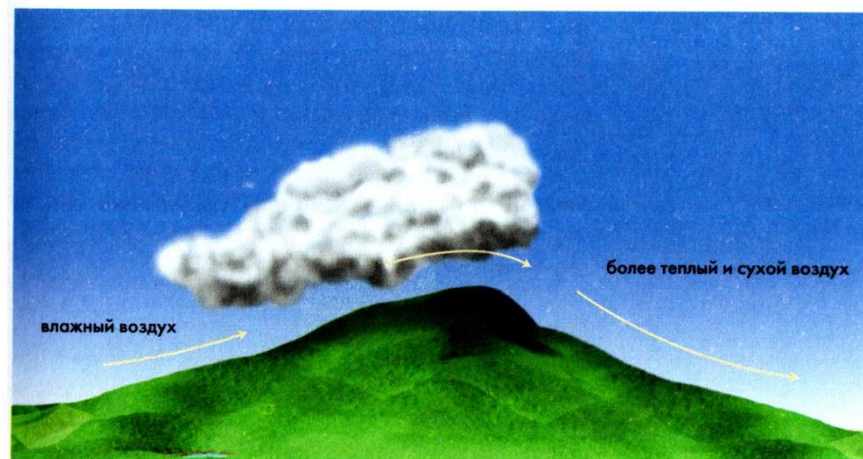
ментированных значений было потепление на 27°C за две минуты в Спизрфише (штат Северная Дакота) 23 января 1943 года). Такие резкие потепления приводят к сильному таянию снегов, что угрожает обвалами снега, а также пожарами (ввиду быстрого высыхания дерева, из которого построены дома).

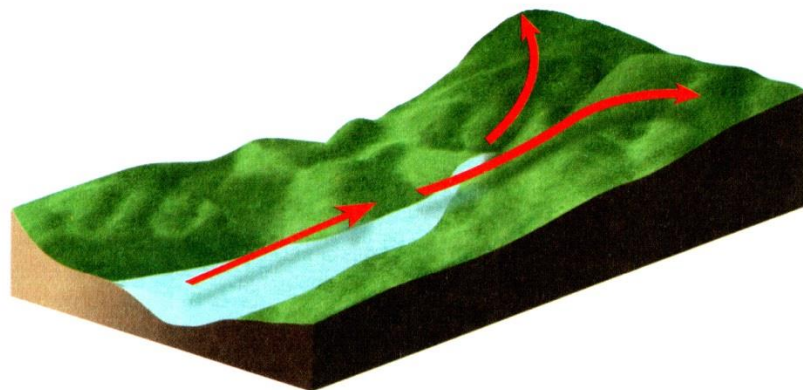
Холмы и долины

Для долин, как можно ожидать, местная погода определяется совсем другим комплексом явлений, в сравнении с горными и холмистыми областями; но, кроме того, надлежит учитывать и комплексные изменения рельефа, которые имеют также большое влияние на погоду. Например, если в горной гряде есть разрыв, он играет роль своеобразной воронки для ветра, в которой он может значительно усиливаться. В частности, это один из примеров, когда форма изобар повторяет рельеф самой долины, а также одна из причин особенной силы мистрала, знаменитого холодного северного ветра на юге Франции, обдувающего долину Роны, после чего выходящего к Лионскому заливу и затем собственно в Средиземное море.

Ясными ночами склоны долин излучают тепло в открытое пространство и, остывая, охлаждают и приповерхностный воздух. Такой охладившийся воздух опускается по склонам и собирается в низинах, где он оказывается часто весьма влажным за счет протекающих ручьев, рек или озер. Холодный и влажный воздух образует дымку, которая часто становится более плотной и за ночное время обращается в туман. При более низких температурах сходным образом в долинах скапливается замерзающий воздух и выпадает иней. Если средняя ночная температура колеблется около 0°C , то в низинах воздух часто остывает заметно ниже точки

▼ Если орографический подъем приводит к выпадению осадков на наветренном склоне, то воздух становится суше и нагревается быстрее при спуске по подветренному склону, приводя к появлению фёна





Долинный ветер, ▲ возникающий, когда в течение дня края и склоны долины интенсивно прогреваются. Он будет наиболее сильным в отсутствие градиентного ветра

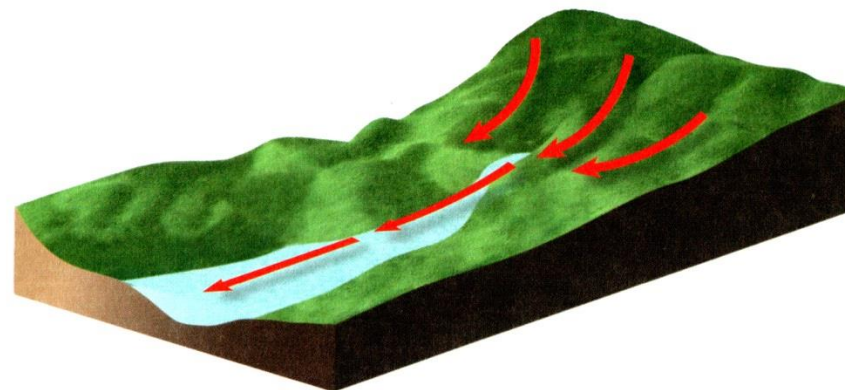
замерзания, а земля охлаждается еще сильнее. Ближе к рассвету иней на поверхности земли становится наиболее плотным, а туман или дымка наиболее густыми.

С наступлением дня ситуация меняется на противоположную. Склоны долины быстро поглощают солнечное тепло и прогревают прилегающий воздух, который при этом начинает подниматься. Слой дымки или тумана, таким образом, поднимается от земли, образуя низкое слоистое облако, которое затем начинает испаряться и рассеиваться.

Во второй половине дня тепло накапливается в долине до такой степени, что она оказывается уже самым нагретым участком среди окружающего ландшафта, и это в особенности верно, когда ее склоны заметно выше, чем рельеф центральной низины, как это часто бывает в гористой местности. При этом если, скажем, температура на равнине у подножия гор составит 20°C, то в долине она может оказаться выше на 10°C. Высокие температуры порождают сильные восходящие потоки, образующие плотные облака над окружающими горными хребтами и вершинами, а затем — и заметной силы осадки. По этой причине всем, кто совершает восхождение на горы или чей путь лежит через холмы, советуют отправляться в дорогу ранним утром, чтобы достигнуть вершины и начать спуск прежде, чем ее окутает плотная облачность. Если долина сориентирована таким образом, что одна сторона ее хорошо прогревается солнцем, а другая большей частью пребывает в тени, то над поверхностью земли может возникнуть сильная циркуляция, приносящая схожую погоду.

Долинные ветры

Сильный прогрев долины и ее склонов в течение дня может быть достаточным для того, чтобы поднять ветер столь большой силы, что он будет обдувать всю долину и даже вырываться за ее пределы. Такие ветры, как правило, ока-



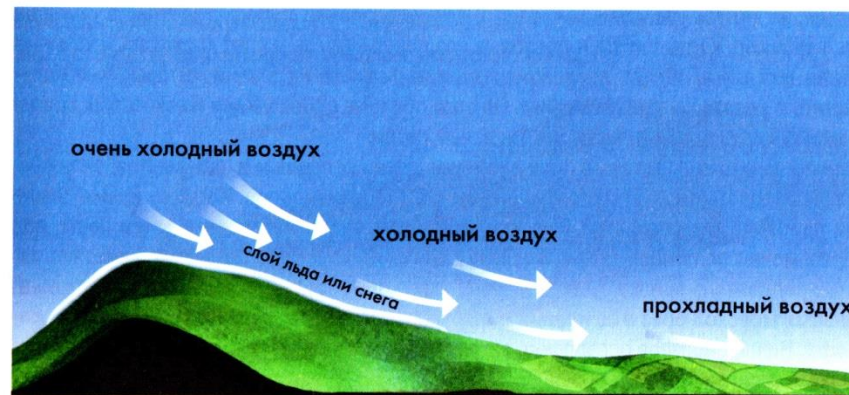
зываются наиболее сильными, когда прочие погодные условия вполне спокойны и имеет место слабый градиентный ветер, хотя если его направление в точности совпадает с пространственной ориентацией долины, то он может несколько усилить поток воздуха. Такие долинные ветры также называют анабатическими (стр. 82). Как правило, они слабее, чем соответствующие горные ветры (описываемые ниже).

Горные ветры

Если амплитуда изменения температуры в ночное время велика и при этом имеет место значительный наклон земной поверхности, то холодный воздух будет не просто скапливаться на дне долины, но под действием силы тяжести перетекать через ее центр и смещаться в сторону равнинной области. Такой ветер называют горным, и он относится к группе кататических ветров (стр. 82). Кататические, или нисходящие, ветры появляются также в результате сильного охлаждения воздуха над высокими плато или пространствами, покрытыми льдом или снегом,

▲ Охлаждение склонов долины за ночь образует обратный поток воздуха в виде горного ветра. Обычно он сильнее, чем соответствующий ему долинный ветер

▼ Холодный воздух, собирающийся над заснеженными или обледенелыми горными склонами, спускается по ним на равнину в виде кататического ветра. Несмотря на некоторое повышение температуры при спуске, он все равно остается очень холодным и сильным, даже достигнув подножия гор



нередко будучи приводимыми в движение перемещением циклонов или антициклонов, когда воздух вынужденно опускается вдоль горного склона. Несмотря на происходящее адиабатическое нагревание, такие нисходящие ветры могут оставаться гораздо холоднее, чем воздух, лежащий внизу, на уровне равнины. Если воздух движется через узкую расщелину между горными массивами, то такая воронкообразная геометрия приводит к значительному усилению ветра. Наиболее выраженным этот эффект оказывается в Гренландии и Антарктике, где ветры обдувают оледенелые пики. Например, в антарктической бухте Содружества на побережье Земли Георга Пятого средняя скорость кататического ветра в течение года составляет 67 км/ч, а зарегистрированный максимум — 320 км/ч.

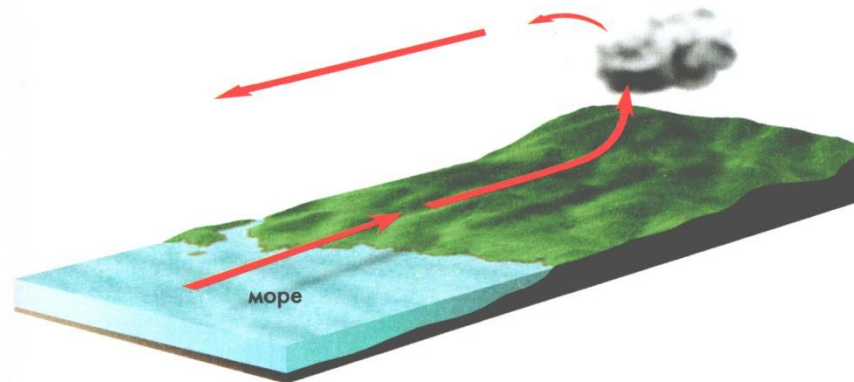
Горные и долинны ветры

Не только среди любителей, но и даже у профессиональных метеорологов иногда возникает сомнение, как правильно назвать ветер по его направлению. Разрешить сомнения, однако, несложно, если твердо запомнить, что ветер всегда называют по направлению, откуда он дует. Если, скажем, восточный ветер приходит с востока, то и горный ветер дует с гор, а долинный — из долин.

Прибрежные области

Вблизи моря всегда устанавливается особая форма местного микроклимата. Значительная теплоемкость воды обуславливает сравнительно небольшие и очень медленные перемены температуры моря. Поэтому, как правило, амплитуда колебаний температуры в течение года заметно ниже на прибрежных территориях, вплоть до того, что зимой они не будут покрываться снежным покровом в отличие от местности, уходящей в глубь континента. В зимнее время относительно теплое море может создавать слабые восходящие потоки влажного воздуха, которым необходимо пройти совсем небольшой путь в холодном воздухе, чтобы достигнуть насыщения и образовать низкие слоистые облака, которые затем переносятся прибрежными ветрами на территории вдали от берега, где с облачностью приходит пасмурная погода, с туманом над возвышенностями и морозящим дождем. Схожая облачность может образовываться, когда теплый воздух поднимается в прибрежной зоне по прибрежным утесам или скалам; впрочем, образующиеся таким образом облака существуют лишь поблизости к береговой линии и скоро рассеиваются по мере того, как воздух прогревается в течение дня. Осенью и зимой, когда море еще относительно теплое, над ним могут образовываться кучевые облака, но в глубь суши они не уходят. В случае особенно сильного контраста температур, например, когда приходят полярные воздушные массы, могут возникать и крупные кучево-дождевые облака, сопровождающиеся ливнями и грозами, которые уже могут уходить и заметно в глубь материка. По этой причине в Шотландии и некоторых других регионах зимою грозы случаются чаще, чем летом.

К наступлению весны море становится уже очень холодным и, разумеется, охлаждает и воздух, входящий в соприкосновение с его поверхностью. Когда во время штиля или при очень слабом ветре температура воздуха опускается ниже точки росы, над морем может появиться туман. В течение дня он будет распространяться и может занять прибрежную полосу суши, впрочем, здесь его рассеянию способствует даже не- сильный морской бриз в сочетании с турбулентностью над неровностями земного рельефа. Ночью, по мере ослабления ветра, слой тумана становится толще и может покрывать сушу на большей площади.



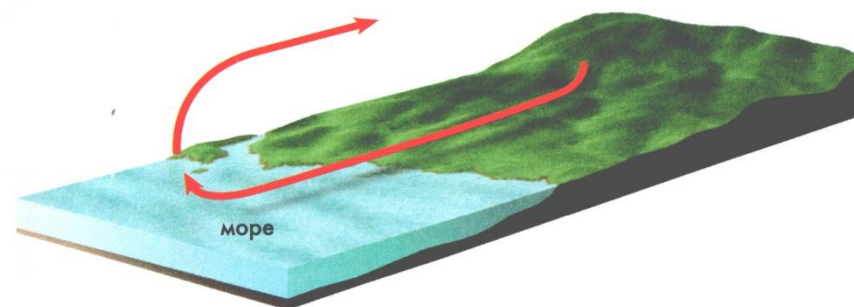
Над береговой полосой направление ветров отличается от градиента даже при отсутствии скал или каких-либо иных возвышенностей рельефа. Например, если западный ветер дует вдоль береговой линии, ориентированной по линии восток–запад, он испытывает большее трение над сушей, чем над морем, и такое неравномерное уменьшение скорости воздушного потока приводит (см. выше, на стр. 16) к повороту ветра в юго-западном направлении, в результате чего воздух переносится от моря на внутриматериковую сушу. И напротив, ветер, дующий с берега, будет ускоряться над водой и поворачивать направо. Наряду с этими эффектами имеется и немало других, весьма важных для навигации.

▲ За день земля быстро нагревается и вместе с ней — приповерхностные слои воздуха. Они поднимаются и способствуют притоку прохладного воздуха с моря. Так образуется морской бриз, часто в сопровождении соответствующего фронта

Морской и береговой бризы

Летом в течение дня земля прогревается весьма быстро и над сушей воздух становится менее плотным, более подвижным, его давление ниже, чем над морем. Разность давлений вынуждает воздух, лежащий на малой высоте, перемещаться в глубь суши в виде прохладного морского бриза, что подавляет конвекцию вдоль береговой полосы, поэтому небо над ней, как правило, ясное. Далее, углубляясь в континентальную область, на границе холодного морского воздуха формируется фронт морского бриза,

▼ Ночью суша и воздух над ней быстро остывают и холодный воздух опускается по склонам к морю, создавая береговой бриз



который может сопровождаться конвекционной облачностью и даже ливнями, особенно если на его пути встречается возвышенность рельефа. Такие фронты могут проникать в глубь суши на многие километры и оставаться заметными вплоть до вечернего времени. Если береговая линия образует полуостров и морской бриз дует с двух сторон, то эти воздушные потоки могут встретиться над сушей и сформировать условия с исключительно сильной конвекцией и, следовательно, осадками, которые нередко заканчиваются ливневыми паводками в области водораздельного хребта полуострова.

Если воздушная масса оказывается очень устойчивой (например, когда она морского тропического происхождения), конвекции может и не происходить, и тогда морского бриза не возникнет. Сходным образом и в случае доминирующего ветра, направленного от суши к морю в утренние часы, действие морского бриза может оказаться недостаточно сильным, чтобы преодолеть градиентный ветер.

С наступлением ночи описанные процессы обращаются. Суша быстро охлаждается, излучая тепло в открытое пространство — особенно если небо ясное, — и воздух приходит в движение по направлению к морю, образуя мягкий береговой бриз. Соответственно, появляется и фронт берегового бриза, но, в отличие от бриза морского, на его пути, разумеется, нет возвышенностей, которые могли бы обеспечить орографический подъем, и, следовательно, дополнительного усиления облачности не происходит. Фронт берегового бриза виден на спутниковых фотографиях, сделанных ранним утром, где можно различить его линию, приблизительно параллельную берегу и выдающуюся в море иногда на значительные расстояния.

Озерный бриз

Не только моря, но и крупные внутренние водоемы могут давать сходные эффекты, особенно в тех случаях, когда озеро расположено в горной местности. Большую роль играет ориентация долины и то, как она освещается солнцем. При надлежащих условиях прогрев окружающей области в течение дня может сформировать озерный бриз, дующий от воды к суше и очень напоминающий бриз морской. Особенно заметным он может оказаться, когда берег имеет крутой склон, получающий значительное количество солнечного тепла. Ночью, однако, будет преобладать обычный горный ветер. Сильные озерные ветры регулярно возникают над наиболее крупными водоемами, такими как Великие озера в Северной Америке или Каспийское и Черное моря в Евразии.

Вода и лед в атмосфере

Самым общим термином, обозначающим любой вид воды или льда, выпадающего на землю, являются осадки. Вот наиболее распространенные их виды:

морось	капли размером менее 0,5 мм
дождь	капли размером свыше 0,5 мм
снег	скопления кристалликов льда (стр. 108)
град	цельные твердые комки льда (стр. 84)
Менее часты следующие, дополнительные, виды:	
ледяные иглы (или алмазная пыль)	мельчайшие кристаллики льда, образующиеся в очень холодных условиях

переохлажденный дождь	дождь, капли которого мгновенно замерзают при соприкосновении с поверхностью (стр. 114)
ледяной дождь	замерзшие дождевые капли диаметром менее 5 мм
мокрый снег (или снег с дождем)	тающие снежные хлопья
ледяная крупа	снежное ядро, покрытое тонким слоем льда
снежные зерна	уплощенные, непрозрачные зерна льда диаметром менее 1 мм
снежная крупа	непрозрачные зерна льда диаметром 2–5 мм

Определение осадков намеренно не включает дымку и туман, росу (стр. 111), иней (стр. 113) и изморозь (стр. 114), а также капли в полосах падения (стр. 47), которые испаряются прежде, чем достигнуть земли.

Формирование дождя в результате слияния капель или их замерзания (дающих соответственно «теплый» или «холодный» дождь) уже обсуждалось выше (стр. 36). Добавим сейчас, что размер самых крупных дождевых капель составляет около 2,5 мм в диаметре, если же каким-то образом возникает более крупная капля, она будет неустойчива и вскоре разобьется на пару капель меньшего размера.

▼ Спутниковая фотография, сделанная с одного из первых аппаратов «Джемини» (1965–1966 годы). Виден фронт берегового бриза вдоль побережья Южной Индии



Облака некоторых типов, таких как слоистые и слоисто-кучевые, если и могут приносить осадки, то только в виде мороси, и лишь из самых плотных и глубоких слоисто-кучевых облаков иногда может выпадать дождь. Большинство же дождей приносят слоисто-дождевые, кучево-дождевые или кучевые мощные облака, а также иногда и высококучевые (в особенности высококучевые хлопьевидные, *altocumulus floccus*, стр. 49) и высокослоистые.

Снег

Слой снега образуется на земле и покрывает ее, когда кристаллики льда, падая, достигают ее, не тая. Каждый из таких кристалликов имеет красивую и сложную форму с симметрией шестиугольника, что обычно и называют снежинкой. В сущности, однако, такие кристаллики очень малы, и привычные для нас снежинки состоят из множества отдельных кристалликов, взаимно расположенных в определенном, весьма сложном порядке и смерзшихся вместе, надолго сохраняя свою пространственную организацию. При очень низких температурах такие сложные скопления не образуются и отдельные кристаллики падают в виде снежной пыли, которую высоко ценят лыжники, а также дорожно-транспортные службы благодаря легкости очистки дорог от такого рода осадков: их можно просто сдуть сильной воздушной струей. И напротив, снег, образующийся при температурах лишь немного ниже точки замерзания (так называемый мокрый снег), создает большие транспортные затруднения, поскольку даже от небольшого давления он смерзается в сплошной ледяной слой, который можно счистить только механически либо с применением химических средств.

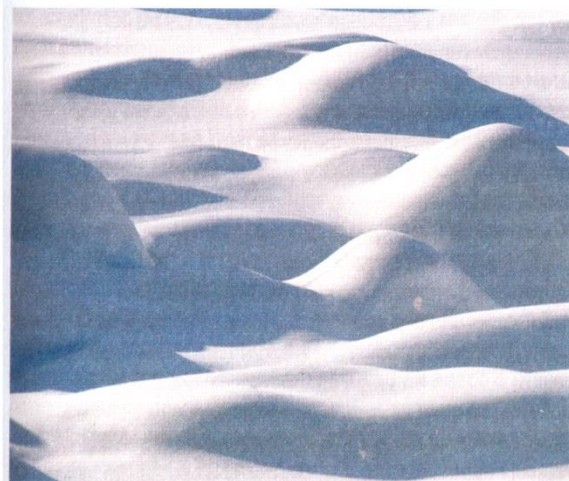
В слое свежеевыпавшего снега всегда содержится много воздуха, заполняющего пустоты между снежинками и снежными хлопьями, но с течением времени более крупные кристаллы разрастаются за счет присоединения более мелких, располагаются более компактно, и в целом слой делается более тонким и плотным. В результате непрочный слой крупных кристаллов (называемый глубинным инеем) образуется на некоторой глубине от поверхности снежного покрова. Если подстилающая поверхность имеет более или менее крутой наклон, то слой глубинного инея может привести к обвалу снежной лавины, когда тяжелые вышележащие слои соскальзывают по поверхности слоев более глубоких. Сход лавины могут инициировать вибрации как естественного происхождения, так и вызванные человеком или даже просто начало таяния снегов.

Снежный слой, продержавшийся в течение всего теплого времени года, называют фирном, который за зиму покрывается обычно слоем свежего снега. Многолетние снега постепенно спрессовываются и образуют глетчерный лед, который способен к движению в структуре ледника и, в частности, по мере опускания вниз по горному склону начинает таять, давая воду в количестве, достаточном для питания горных ручьев и рек.

Дымка и туман

И дымка, и туман образованы капельками воды, рассеянными в воздухе. Если быть точным, термин «дымка» используется, когда дальность видимости превышает 1 км, а «туман» — когда она оказывается менее этого предела. На практике, однако, только при снижении видимости до 200 м начинаются заметные затруднения в движении транспорта, и потому метеорологи, составляя прогнозы для больших аудиторий, нередко говорят о тумане лишь в случае столь низкого уровня видимости.

Как можно предполагать, туман образуется при охлаждении влажного воздуха ниже точки росы — это тот же процесс, что имеет место при формировании облаков, и потому дымку и туман можно считать просто облаком, залегающим на уровне земли. Для



◀ Горы, покрытые толстым слоем снега. Снег в высокогорьях является главным источником воды для многих крупных рек мира

особых видов тумана имеются, однако, и некоторые специальные названия: туман склонов, адвективный и радиационный туманы. Туман склонов появляется, когда воздух вынужден подниматься вверх вдоль горного склона и достигает при этом насыщения. Адвективный туман возникает при прохождении теплого воздуха над более холодными поверхностями, например над холодным морем или землей, покрытой льдом или снегом, что вызывает охлаждение и самого приповерхностного воздуха ниже точки росы. Образовавшийся таким образом туман может быть снесен течением воздуха на подветренные территории. В частности, если на море происходит охлаждение поверхностных слоев за счет подъема вод с большой глубины,

▼ Адвективный туман. Морской туман, сформировавшийся над Калифорнийским течением в Тихом океане, дрейфует к побережью Биг Сур (Центральная Калифорния)



как это бывает у берегов Калифорнии, Намибии и Чили, то над морем появляется адвективный туман, переносимый затем и на сушу. В пустынях Намиб (большая часть в Намибии) и Атакама (на севере Чили) климат настолько сух, что приносимый с моря туман является главным источником влаги, также и у Ньюфаундлендских отмелей регулярно появляется сильный туман, возникающий в результате столкновения теплого морского тропического воздуха с Лабрадорским течением.

Самым распространенным видом является радиационный туман, образующийся обычно в тихие безоблачные ночи. Земля излучает тепло в пространство и охлаждает вместе с собой и приповерхностный слой воздуха. Самый нижний его слой охлаждается сильнее вышележащих слоев, и потому он остается неподвижным, продолжая остывать все сильнее, пока его температура не достигнет точки росы — тогда появляется дымка. Со временем она может превратиться в более густой туман, который чаще всего образуется на дне долин, вдоль ручьев и рек. Отсутствие ветра имеет существенное значение, поскольку даже легкое движение воздуха вызовет турбулентность в приземных слоях, перемешивающую воздух на заметную глубину и тем самым препятствующую быстрому его охлаждению.

Самым плотным и густым туман становится к рассвету, после того как поверхность земли остывала на протяже-

*Характерные завитки ▼
тумана испарения,
поднимающегося в слое
холодного воздуха над
озером с теплой водой*



нии всей ночи. Если в утренние часы лучи солнца смогут пробиться сквозь туман и прогреть землю, вместе с ней начнет нагреваться и сам туман, так что со временем капельки влаги начнут испаряться, а слой тумана будет становиться тоньше. О том, что туман рассеется, можно судить по его значительному просветлению ранним утром, усилению ветра и появлению просветов ясного неба. В таких условиях вероятно, что туман медленно поднимется в виде слоя тонкого низкого облака (очевидно, слоистого типа), и если это происходит прежде полудня, то следует ожидать разрыва сплошного слоя и постепенного его рассеяния во второй половине дня. Чем плотнее туман, тем дольше он сохраняется, и в некоторые зимние дни прогрева солнцем может оказаться недостаточно, чтобы его рассеять, и тогда туман сохраняется весь день, особенно в долинах и над реками. Признаками того, что туман не рассеется, служат отсутствие заметного его просветления утром, слабый ветер и общее ощущение «тяжести» воздуха, то есть повышенной его влажности.

Над прибрежными территориями в конце зимы, весной и иногда даже в начале лета туман часто сохраняется в течение всего дня. Морской туман, как правило, очень густой и вторгается далеко в глубь суши, когда преобладает ветер, дующий с моря. Условием сохранения тумана в таком случае будет неизменность потока теплого, влажного и устойчивого воздуха, охлаждающегося ниже точки росы при соприкосновении с холодными морскими водами. Но, как отмечалось выше, слой тумана могут рассеять сильные ветры, вызывающие сильное турбулентное перемешивание в глубоком слое воздуха. В прибрежной зоне береговой бриз по ночам относит туман обратно к морю. Влажность воздуха может значительно меняться от места к месту, делая туман разнородным по плотности, что особенно заметно в начале ночи. Такие погодные условия могут быть весьма опасны для водителей автомобилей, поскольку видимость может резко уменьшиться на протяжении небольшого участка дороги.

Туман испарения

Когда холодный воздух движется над теплой водой, ее пар, поднимаясь, проникает в нижний слой воздушного потока и конденсируется в нем, собственно и образуя туман испарения. Характерные «завитки» — след поднимающегося испарения — часто видны над мокрой дорогой, нагреваемой солнцем. Схожий процесс нередко имеет место в гораздо больших масштабах над арктическими регионами, где это явление известно под названием испарения арктических морей. Впрочем, в большинстве случаев воздух в полярных регионах настолько сухой и холодный, что приповерхностный его слой очень неустойчив и высота такого испарения не превышает 10 м.

Иногда капельки воды, составляющие туман, могут оказаться переохлажденными (стр. 27), то есть их температура существенно ниже нормальной температуры замерзания. Поэтому они мгновенно обращаются в лед при соприкосновении с любой инородной поверхностью, образуя налет изморози, о которой речь пойдет немного ниже (стр. 113–114).

Роса

Роса, как и радиационный туман, обычно образуется при безоблачной погоде, когда предметы быстро теряют тепло в течение ночи, охлаждаясь ниже точки росы. Слой воздуха, располагающийся под каждым листиком растения, играет роль изолятора, задерживающего передачу тепла, оказываясь поэтому холоднее, чем поверхность земли, являющаяся притом и источником влаги. Кроме того, некоторое количество влаги может выпадать непосредственно из воздуха, особенно на такие предметы, как крыши автомобилей, которые очень быстро достигают сильного охлаждения.



Обильная утренняя роса ▲
на площадке для игры
в гольф

Крупные капли воды можно заметить также и на самых кончиках листьев растений и особенно травы, но это не роса, а так называемые капли гуттации. Обычно с поверхности листьев растений большие количества воды испаряются в атмосферу, но когда влажность воздуха слишком высока, вода не успевает испаряться и собирается в крупные капли, скатывающиеся на кончик листа. Два оптических явления наблюдаются при появлении росы. Одно из них — радуга росы, напоминающая обычную радугу картина, видимая над участками травы, особенно осенью. Как и обыкновенная радуга, она возникает при отражении солнечного света бесчисленными капельками, висящими на паутине, горизонтально растянутой между травинками. Другой эффект, «святой ореол», напоминает глаорию, проявляясь как яркое свечение вокруг тени, отбрасываемой головой наблюдателя. Капельки росы возвращают лучи света к его источнику примерно таким же образом, как устроены катафоты на автомобилях и дорожных ограждениях.

Иней

Инеем называют налет из частичек льда, образующийся на поверхности листвы растений, на земле и всевозможных предметах при охлаждении воздуха ниже точки замерзания, т.е. при заморозках. В прогнозах погоды различают два их типа:

- атмосферные заморозки — при температуре 0°C и ниже, на высоте 1,25 м от поверхности земли;
- заморозки на почве — при температуре 0°C и ниже, на уровне почвы.

Появление инея вызывается заморозком, когда температура падает ниже точки замерзания либо в результате излучения тепла в пространство в безоблачные ночи, либо при появлении холодных воздушных масс, приносимых извне. Появление инея может быть замедлено или вовсе остановлено непрозрачной дымкой или туманом в ясные ночи. Если воздух, напротив, очень сухой, то лед может не образовываться на земле длительное время после достижения температуры замерзания, и требуется значительно большее охлаждение, прежде чем наконец начнет конденсироваться некоторое количество атмосферной влаги. Если капельки воды в воздухе переохлаждены (стр. 27),

▼ Деревья, покрытые изморозью, на дальнем плане свидетельствуют о том, что лед образовался из замерзшего тумана, а не из-за выпадения инея



они замерзают мгновенно при соприкосновении с твердой поверхностью, образуя белый матовый слой, называемый изморозью. Замерзающие капельки тумана таят в себе значительную опасность для автомобилистов, поскольку при резком повороте лобовое стекло может практически мгновенно покрыться непрозрачным слоем льда. Когда изморозь образуется при слабом ветре, обледеневает преимущественно наветренная сторона предметов, и могут даже появляться своего рода «перья» из кристалликов льда, направленные против ветра.

Кристаллическая изморозь представляет собой налет рыхлых белых кристалликов льда, появляющийся на предметах, предварительно успевших охладиться ниже точки замерзания (как правило, за счет теплового излучения). Некоторая часть льда формируется сначала как роса, которая затем замерзает, другая же часть — из водяных паров, непосредственно десублимирующихся на поверхности. Как правило, маленькие предметы охлаждаются быстрее, чем крупные, поэтому инеем покрываются края листьев, тонкие веточки и т. п.

Несколько иной вид ледового слоя образуется при падении капель дождя на очень холодную поверхность. Часто это случается зимой, когда с областью циклона приходит теплый фронт (с обильной слоисто-дождевой облачностью), продвигающийся над слоем полярного воздуха, охлажденного у почвы до температур заметно ниже точки замерзания. Падающие на землю или другие плоские поверхности капли дождя быстро растекаются в тонкую водную пленку и лишь затем замерзают, образуя прозрачный ледяной слой, называемый гололедом. За короткое время он может разрастись до большой толщины, становясь тяжелым, что представляет угрозу обламывания ветвей деревьев, обрыва проводов и т. п. Подобная ситуация имела место после сильной бури над частью территории Канады и северо-востоком США в январе 1998 года.

Когда «ледяной» дождь падает на поверхность дороги, тонкий слой наледи, как правило, почти полностью прозрачен и потому кажется темным. Дорога на вид может казаться просто мокрой, но это впечатление обманчиво: езда в таких условиях очень опас-

на, а пешее передвижение бывает крайне затруднено.

Почва, растительность и микроклимат

В любой местности характер почвы и произрастающей на ней флоры влияет на погоду. Соотношение между количеством лучистой энергии, падающей на поверхность, и отраженным ее количеством называют альбедо, и выражают эту величину, как правило, в процентах. Значение альбедо может меняться в широких пределах и зависит от конкретных свойств поверхности, что в целом определя-

ет, насколько она может нагреваться в течение светового дня. Некоторые примеры значений альбедо приведены выше (врезка на стр. 114).

Стоит обратить внимание на большое различие альбедо воды при падении света перпендикулярно к поверхности (70%) и по касательной к ней (5%). Для сравнения: альбедо облаков в большинстве случаев составляет 50–60%. Разумеется, поверхность, лежащая под углом, более или менее близком к прямому относительно приходящего излучения, будет нагреваться интенсивнее, чем та, что лежит под острым углом к нему (в сущности, это главная причина большого различия интенсивности солнечного прогрева экватора и полюсов нашей планеты).

Очевидно и то, что в среднем поверхности с темной окраской будут поглощать больше тепла, чем светлые. Например, темная почва будет прогреваться быстрее, чем почвы светлые, и, следовательно, растения на них будут более устойчивы к ночным заморозкам.

Воздух является одним из самых эффективных теплоизоляторов, а значит, чем большее количество воздуха попадает внутрь почвы, тем менее будут прогреваться нижележащие слои в течение дня. Сухие пески, например, остаются на глубине весьма холодными, даже если поверхность их за день раскаляется на солнце. Соответственно, и ночью тепло очень быстро покидает такие почвы, так как воздух между песчинками не удерживает тепло так долго, как вода. Поэтому в пустынях песчаная поверхность земли днем может быть обжигающе горячей, тогда как ночью происходит очень сильное охлаждение.

Если же в почве задерживается вода, она препятствует как быстрому прогреву днем, так и быстрому остыванию ночью. Влажные почвы, в частности, слабо меняют свою температуру в течение дня. С другой стороны, и влажная почва, и растительный покров на ней испаряют воду в атмосферу, способствуя охлаждению земной поверхности. В результате роса и иней выпадают в первую очередь на садовых газонах и лужайках, как и слабая дымка появляется сначала над низменными участками с обильным травяным покровом, такими как поймы ручьев и рек. В течение ночи можно заметить сгустки дымки или тумана вдоль дорог там, где растительность наиболее богатая, а почва — наиболее влажная, даже если дорога и окружающая территория достаточно возвышенны и лежат вдали от водоемов и рек. Там же, где тумана практически нет, можно ожидать найти сухую почву со слабой растительностью.

Как отмечалось выше, точное значение наклона поверхности и ее ориентация по отношению к солнцу — так называемая экспозиция — вместе с типом почвы и ее составом, а также характер покрывающей ее растительности совместно образуют широкий ряд различных видов микроклимата, от чего зависит, например, какие растения можно выращивать в той или иной местности. Стены домов и ветрозащитные полосы также могут сильно увеличить число культур, способных произрастать в данном месте, а уклон земного рельефа позволяет холодному воздуху плавно уходить в низины, уменьшая тем самым опасность заморозков. Иногда человеческое вмешательство может кардинально изменить природное сочетание влияющих на погоду факторов. Долина Рикменсворт в Хертфордшире на юге Англии, известная сильнейшими заморозками, случающимися чаще, чем во всех окрестностях, никогда так не промерзала до тех пор, пока через нее не была сооружена железнодорожная насыпь, препятствующая рассеянию накапливающегося в низине холодного воздуха. Теперь здесь регулярно формируется очень холодная воздушная масса и фиксируются самые низкие температуры во всей южной части Англии.

Альбедо

Поверхность

Процент альбедо

вода (падение света по касательной к поверхности)	5
лес	5–10
скала	10
влажная почва	10–15
сухая почва	10–25
трава	25
песок	20–30
давно выпавший снег	55
вода (падение света перпендикулярно поверхности)	70
свежевыпавший снег	80



Ярко-желтая сосновая ▲
пыльца покрывает
землю и крыши
автомобилей в штате
Северная Каролина,
когда необычно теплая
погода совпадает
с периодом редких
 дождей

Для многих людей значимо то, что обильная растительность производит и большое количество цветочной пыльцы. Обычно аллергию вызывает пыльца широкого круга растений, но, как правило, самое сильное раздражение вызывает пыльца полевых трав. Наибольшее количество пыльцы попадает в воздух ранним летом, когда солнце в течение дня прогревает поля и газоны, а над ними пребывает воздух в неустойчивых условиях. Образующиеся сильные восходящие конвективные потоки поднимают пыльцу на высоту, где дуют сильные ветры, то есть выше пограничного слоя, и там она разносится на прилегающие территории, оставаясь взвешенной в воздухе до тех пор, пока конвекция не ослабнет, что происходит примерно после пяти-шести часов пополудни. Это пиковое время, в которое фиксируется максимальная концентрация пыльцы в воздухе за весь день. Увеличению ее количества способствуют несильные ветры, приносящие сухую погоду. Поскольку низшие слои воздуха, прилегающие к почве, неустойчивы ввиду большого нагрева земли, конвекционные потоки, как правило, способны рассеивать пыльцу над большими площадями.

Некоторые деревья также могут испускать большое количество пыльцы в приповерхностный слой атмосферы. Например, в Скандинавии и Канаде березовая и сосновая пыльца может присутствовать в воздухе в весьма значительном количестве; известны случаи, когда ее концентрация достигала такой степени, что можно было наблюдать корону (стр. 64) вокруг солнечного и лунного дисков. Большинство современных метеорологических служб старается заранее предупреждать население, в том числе и об особенно высоком содержании пыльцы в атмосфере.

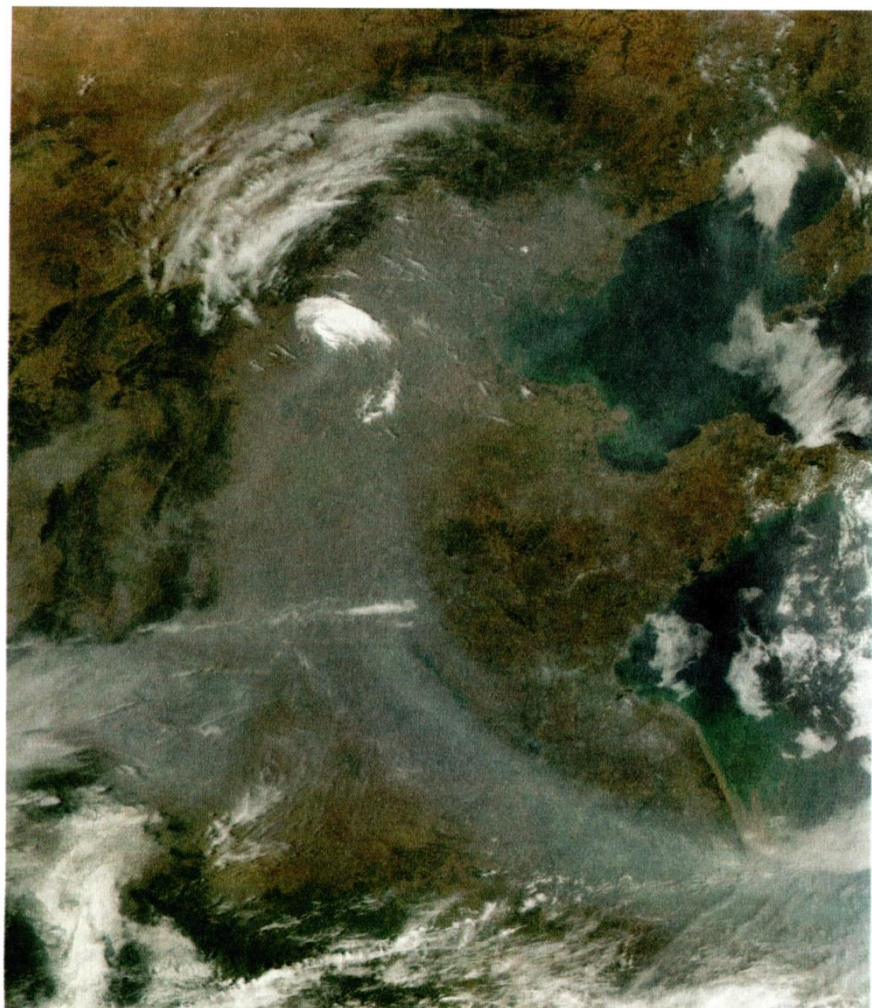
Дождь быстро смачивает частицы пыльцы и вместе с каплями воды увлекает их вниз, к земле. Поэтому фронтальные системы и сопровождающие их ливни приносят облегчение страдающим аллергией. Над прибрежными территориями пыльца нередко отсутствует или содержится в заметно меньших количествах благодаря морским бризам, несущим чистый воздух от моря в глубь материка. В зависимости от интенсивности конвекции в атмосфере и наличия инверсий нередко случается, что воздух над возвышенными участками рельефа также заметно чище.

Загрязнение атмосферы над городами

Влияние человеческой деятельности на погоду наиболее заметно в местах с плотной застройкой. Большие города и целые мегаполисы оказываются обычно теплее, чем окружающая сельская местность. Такой крупный «остров» тепла оказывает влияние на обмен теплом и влагой в атмосфере и изменяет характер местных ветров. Значительное скопление каменных зданий обладает большой теплоемкостью и в течение дня активно поглощает солнечное тепло, которое затем излучается в течение длительного времени, выступая в роли огромного теплового резервуара. Температура в больших городах всегда выше, чем на окружающей территории, и разность достигает примерно 5°C. Поэтому и появление туманов, и выпадение инея в городах происходит заметно реже.

Избыток тепла, испускаемый днем городом, служит причиной образования мощных восходящих конвективных потоков, которые вместе с прогревом атмосферы солнцем формируют искусственно возникающую область низкого давления теплового происхождения. Следовательно, над окружающими пригородами давление оказывается немного выше, и приповерхностный воздух начинает стекаться в сторону центра города, чтобы заместить теплый воздух, уходящий вверх. В результате начинается слабая, но все же заметная циркуляция, так что при заметной влажности и неустойчивых условиях могут выпадать небольшие ливни над отдельными частями города. И напротив, если в атмосфере имеется слой инверсии, служащий препятствием конвективному движению и формирующий слой слоистых или слоисто-кучевых облаков, усиливающаяся над городом турбулентность может рассеять облачный покров и принести солнечную теплую погоду над участками с плотной застройкой.

Ветры над городом могут вести себя необычным образом. Очевидно, что там, где много стен и разнообразных зданий, всегда будет немало мест, укрытых от ветра. Внутренние дворы и скверы могут оставаться в мягкой прохладе, когда за городом дуют сильные ветры. С другой стороны, ряды высоких зданий создают эффект воронки, приводя к значительному усилению ветра, когда воздушный поток вынужден проходить через узкие щели между домами или свободно проветривать длинные прямые улицы. На городских перекрестках порывы ветра могут достигать штормовой силы, создавать вихри и вздымать облака мусора, в то время когда за городом градиентный ветер может быть едва ощутимым. Сходным образом, и высокие здания представляют собой препятствия на пути воздушных потоков, создают сильные вихри и, следовательно, приводят к шквалистым порывам ветра, принимающего произвольные направления.



Обширный покров мглы ▲
над востоком Китая
в июне 2007 года.
Фотография сделана
спутником Terra,
принадлежащим НАСА

В разгар лета большие города подвергаются сильному нагреву и наиболее интенсивному загрязнению атмосферы над ними. При высоком давлении над городом, когда теплый воздух с высоты опускается вниз, нижележащие слои воздуха не перемешиваются с верхними слоями и, следовательно, не происходит их взаимного разбавления. Дым, выходящий из труб фабрик, заводов, электростанций распространяется почти горизонтально, явственно свидетельствуя об устойчивости приповерхностного слоя воздуха. Наиболее слабые турбулентные вихри способствуют постепенному опусканию загрязняющего воздух дыма до уровня улиц, где он перемешивается с другого рода источником загрязнения — выхлопными газами автотранспорта. Сжигание большого количества углеводо-

родов на ограниченной территории сопровождается выбросом в атмосферу диоксида углерода, диоксида серы, пыли и прочих веществ, резко снижающих качество воздуха. Образуется тяжелая мгла, уменьшающая прозрачность нижнего слоя атмосферы, что приводит к дальнейшему нарастанию температуры. Небо начинает выглядеть замутненным, иногда с коричневым оттенком, реже — яркого молочно-белого цвета, видимость при этом резко падает. Погода такого типа может смениться, лишь когда рост температуры настолько усиливает конвекцию, что восходящие потоки прорываются через слой инверсии и с образующимися затем сильными ливнями из атмосферы удаляются и загрязняющие вещества. Возможен и иной сценарий при условии смены картины распределения давления над местностью: тогда ветры усилятся, рассеют мглу и унесут массу загрязненного воздуха вдалеку от города.

Другого рода загрязнение воздуха может иметь место при влажной, туманной погоде. В таких условиях может возникнуть смог (густой туман с дымом и копотью) при сжигании углеводородного топлива, часто выбрасываемого как промышленными источниками, так бытовыми. Тем или иным путем все они переносятся в затуманенную область, где проявляют химическую активность, особенно это касается диоксида серы SO_2 , вступающего в реакцию с водой и образующего в результате капли серной кислоты. Такой загрязняющий реагент выпадает в виде так называемого «кислотного дождя», постепенно разрушая здания, пагубно влияя на растительность и на респираторную систему человека и животных. Несмотря на то что в последние годы во многих странах принимаются меры по снижению выбросов диоксида серы в атмосферу, тем не менее уровни содержания этого вещества над городскими территориями продолжают значительно превышать таковые над незагрязненными, экологически чистыми областями. Ненулевое содержание диоксида серы в природных условиях объясняется его выделением при естественном разложении и гниении растительности.

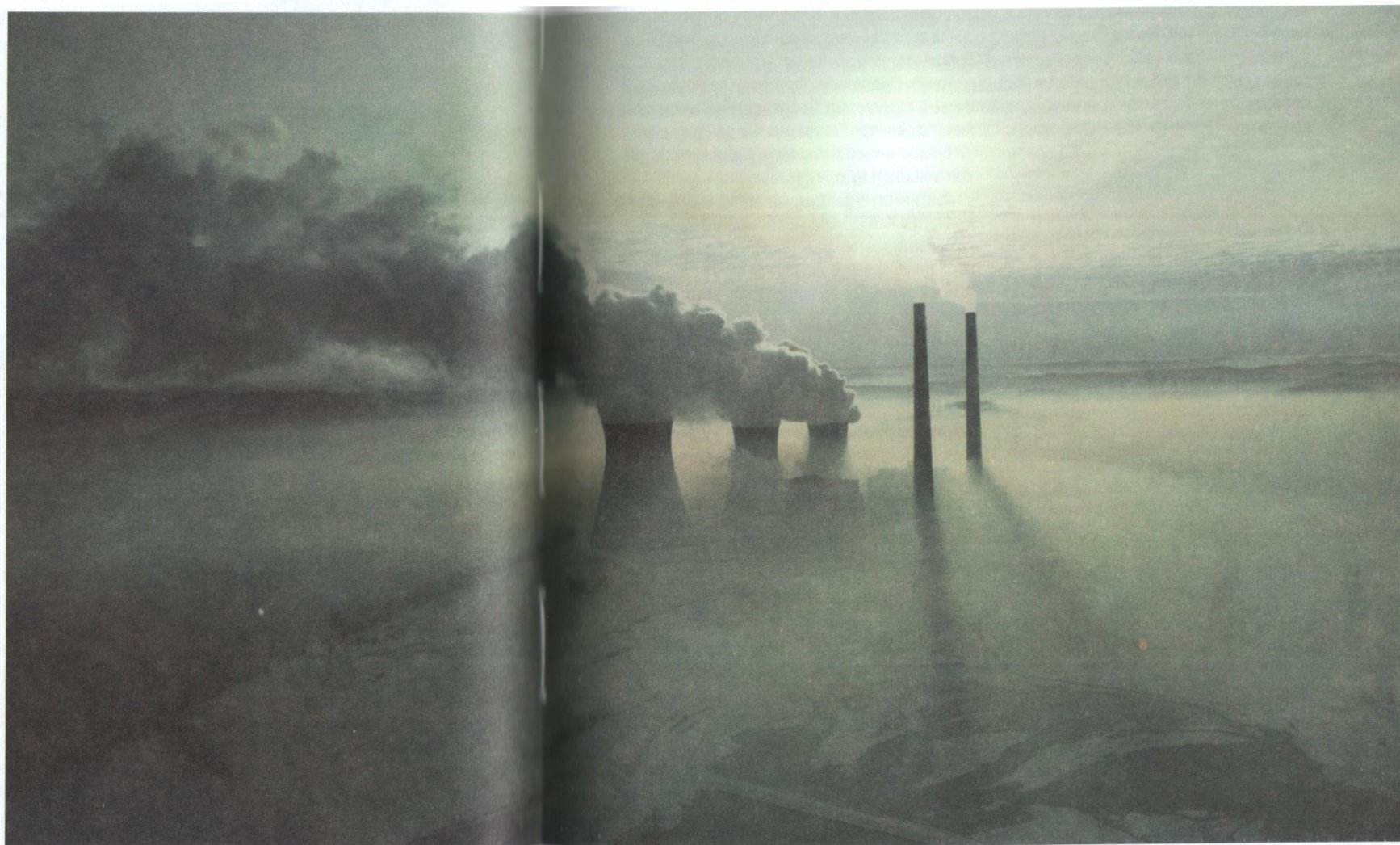
Загрязнение сухого воздуха оказывается одной из крупных проблем в таких странах, как Индия и Китай, где кроме промышленных источников дыма и копоти множество малых домашних очагов наполняют атмосферу дымом и различными веществами. На спутниковых фотоснимках часто можно наблюдать, как большие полосы сельской местности скрыты под плотной дымовой завесой. Подобная ситуация возникает и из-за лесных пожаров (не важно, начавшихся по человеческой вине или от удара молнии), а также при выжигании растительности (особенно при подсечно-огневом методе земледелия, и доныне применяемом во многих странах). Такого рода загрязнение атмосферы, как показывают исследования, снижают количество осадков, выпадающих на средних высотах, что обостряет недостаток пресной воды, и без того ощутимый в этих регионах. Несмотря на то что снижение прозрачности воздуха уменьшает прогрев почвы и тем самым несколько замедляет глобальное потепление, приносимая загрязнением воздуха угроза здоровью гораздо опаснее и требует приложения сил к ее устранению.

Часто случается, что столб дыма от лесного или какого-либо иного пожара «накрывается» сверху кучевым облаком, что иногда называют не очень удачным термином *pyrocumulus*, от греч. *pyr*, — огонь; принято также общее название: «облака пожаров». Со временем, однако, такое облако может отделиться от столба дыма и быть перенесенным ветром на заметные расстояния. Тем не менее такие облака легко узнать по коричневатому, дымчатому оттенку основания, контрастирующему с ярко-белыми капельками на вершине облака. При особенно сильных лесных пожарах конвекция может достигать такой силы, что порождает ливни и даже сильные грозы. Известны случаи, когда удары молний при таких грозах инициировали новые очаги возгорания леса на некотором отдалении от первоначального пожара.

Среди широко распространенных загрязнений атмосферы особое место занимает так называемый фотохимический смог. Возникает он по преимуществу над городами с интенсивным автомобильным движением, где, соответственно, в атмосферу выбрасывается большое количество выхлопных газов, которые состоят, среди прочего, из несгоревших углеводородов и оксидов азота. Эти вещества, подвергаясь облучению солнечным светом, вступают в фотохимические реакции, в результате которых образуется ряд вредных веществ, в частности озон, серная кислота и сульфаты — все они опасны для человека. Несмотря на то что остаются они в атмосфере на непродолжительное время и разлагаются либо рассеиваются с наступлением ночи, тем не менее они создают ощутимую угрозу для здоровья. Принимаемые в течение последних лет меры по снижению токсичности выхлопных газов автотранспорта до сих пор не обеспечили необходимой безопасности. Ситуация особенно осложняется, когда инверсии на малой высоте, часто в сочетании с холмистым рельефом, окружающим городскую застройку, удерживают воздух, насыщенный загрязняющими агентами, от рассеивания над большей площадью. Так происходило, например, в Лос-Анджелесе, где впервые смог был признан экологической проблемой.

Иные проблемы создают воздушные массы, выбрасываемые охлаждающими сооружениями электростанций. Издалека их часто путают с плотным дымом, но по существу это обыкновенный водяной пар, конденсирующийся в более холодной атмосфере. Тем не менее известно, что он вносит заметный вклад в формирование кучевых облаков непосредственно над электростанциями, а если условия оказываются достаточно неустойчивыми, — то и кучевых мощных облаков, из которых затем выпадает кратковременный ливень или дождь.

▼ Электростанция в штате Западная Виргиния, испускающая столбы дыма и облака пара из охлаждающих башен. Ниже лежит слой сформировавшегося за ночь радиационного тумана



Погода в Северной Америке

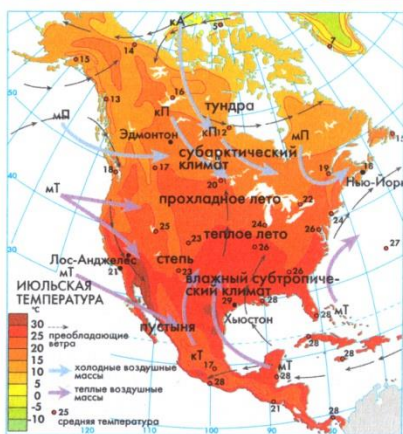
Основным географическим фактором, оказывающим наиболее значительное влияние на погоду в Северной Америке, являются Кордильеры и связанные с ними горные гряды, являющиеся самым существенным барьером на пути западных ветров. Эта горная система задерживает значительную часть влаги, несомой морским тропическим воздухом с Тихого океана, и тем самым обуславливает гораздо более сухой климат на Великих равнинах. Западные ветры, пересекая горную цепь, возбуждают местный ветер чинук (что значит «поедающий снег» на языке индейцев сэлиш) — фён, дующий с подветренной стороны и знаменитый своей способностью поднимать температуру на 22°C всего за пять минут. Области низкого давления, как правило, становятся менее интенсивными после преодоления горного массива, но, двигаясь к востоку, переформируются в очень сильные циклоны и уходят на юго-восток, а затем на северо-восток, определяя погоду над Великими равнинами и восточными штатами. В удалении от побережья теплый воздух над Тихим океаном движется над выходящими на поверхность холодными течениями, что часто (особенно летом) порождает плотный морской туман, который затем дрейфует к берегу и далее в глубь материка. Подобным образом и на восточном побережье теплый влажный воздух, проносимый ветром над Лабрадорским течением, создает густой туман над Ньюфаундлендскими отмелями. Тем не менее, однако, атлантическое побережье имеет климат скорее континентальный, чем морской.

Арктические воздушные массы, формирующиеся у Канадского Арктического архипелага, и континентальный полярный воздух с севера Канады часто движутся через центральные и восточные области континента, донося холодный воздух вплоть до штатов на побережье Мексиканского залива. Этот воздушный поток часто усиливается холодными антициклонами, которые образуются зимой над прериями. Циклоны арктического фронта часто движутся по направлению на юго-восток и объединяются с циклонами полярного фронта, принося сильнейшие снежные бури

на Великие равнины, Великие озера и восточное побережье. В начале зимы сами Великие озера поставляют значительное количество влаги в атмосферу, что приводит к сильным снегопадам на юге и к востоку от них.

Летом на юге морской тропический воздух проникает в долину Миссисипи и даже достигает Канады. Он обычно неустойчив и является основной причиной сильных гроз и торнадо, которым подвержены центральные штаты. Ситуация усугубляется, когда сухой континентальный тропический воздух приходит с территории юго-западных штатов, а за ним — снова влажный воздух с Мексиканского залива.

Циклоны, возникающие вдоль полярного фронта над Тихим океаном, часто разрушаются, не успев достигнуть суши. На востоке же, напротив, полярный фронт может иногда, двигаясь на юг, доходить даже до Мексиканского залива. Циклоны, сформировавшиеся на малых широтах, увеличиваются в размерах по мере их перемещения вдоль восточного побережья на север, усиливаясь благодаря разности температур между холодным континентальным воздухом над материком и теплым морским воздухом над Атлантикой. На пути к Аппалачам они перемешиваются, а далее к западу параллельно их пути движутся циклоны, образовавшиеся над Колорадо. Разрушительной силы ураганы, берущие начало над Северо-Атлантическим теплым течением, иногда проходят схожий путь с поворотом, прежде чем достичь восточного побережья.



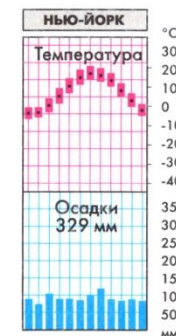
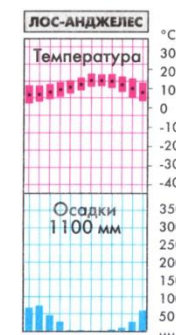
на Великие равнины, Великие озера и восточное побережье. В начале зимы сами Великие озера поставляют значительное количество влаги в атмосферу, что приводит к сильным снегопадам на юге и к востоку от них.

Летом на юге морской тропический воздух проникает в долину Миссисипи и даже достигает Канады. Он обычно неустойчив и является основной причиной сильных гроз и торнадо, которым подвержены центральные штаты. Ситуация усугубляется, когда сухой континентальный тропический воздух приходит с территории юго-западных штатов, а за ним — снова влажный воздух с Мексиканского залива.

Циклоны, возникающие вдоль полярного фронта над Тихим океаном, часто разрушаются, не успев достигнуть суши. На востоке же, напротив, полярный фронт может иногда, двигаясь на юг, доходить даже до Мексиканского залива. Циклоны, сформировавшиеся на малых широтах, увеличиваются в размерах по мере их перемещения вдоль восточного побережья на север, усиливаясь благодаря разности температур между холодным континентальным воздухом над материком и теплым морским воздухом над Атлантикой. На пути к Аппалачам они перемешиваются, а далее к западу параллельно их пути движутся циклоны, образовавшиеся над Колорадо. Разрушительной силы ураганы, берущие начало над Северо-Атлантическим теплым течением, иногда проходят схожий путь с поворотом, прежде чем достичь восточного побережья.

Карты средних температур в январе и в июле содержат отметки, указывающие положение различных природных климатических зон. Кратко опишем их:

- климат тундры: полярные регионы, практически лишены деревьев, с очень холодными зимами
- субарктический климат: произрастает лес (тайга), умеренные осадки, холодные зимы
- климат умеренный с холодным летом: умеренные осадки, холодные зимы, летом температура не поднимается высоко
- климат умеренный с теплым летом: умеренное количество осадков и холодные зимы
- климат степи: полусухой климат с малым количеством осадков, холодными зимами и теплым или жарким летом
- климат пустыни: очень малое количество осадков, исключительно жаркое лето
- климат влажный субтропический: жаркая или теплая погода и высокая влажность в течение всего года, обильные осадки
- климат средиземноморский: влажные холодные зимы, жаркое сухое лето
- климат западного побережья США: умеренное количество осадков на протяжении всего года, нет сильных перепадов температуры, погода изменчива

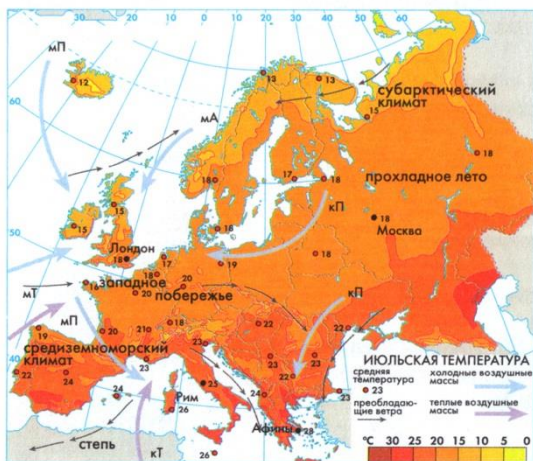


Погода в Европе и странах Средиземноморья

Погода над Европой и особенно над ее западной частью известна своей изменчивостью, поскольку в разных условиях над ней могут оказываться воздушные массы почти любого типа. Над Восточной Европой климат более устойчив и имеет континентальный характер. Циклоны часто приходят из теплых районов Атлантики и могут проникать далеко в глубь материка, особенно зимой. Довольно часты блокирующие антициклоны (стр. 81), особенно над Скандинавией, и их появление отклоняет продвижение циклонов к северу, так что их путь проходит над Исландией или к юго-востоку и северу от Альп. Местоположение блокирующих антициклонов может быть самым разнообразным, и иногда случается, что с ними приходят континентальные полярные (и даже арктические) воздушные массы, что означает наступление весьма суровой погоды на западе Европы. В иных случаях таким же образом может быть принесена более комфортная, теплая либо прохладная погода, а иногда — долгие серые, пасмурные дни, когда циклоническая область на длительное время застывает над территорией. Антициклоны также могут приносить вол-

ны холодного, но довольно сухого воздуха морского полярного типа.

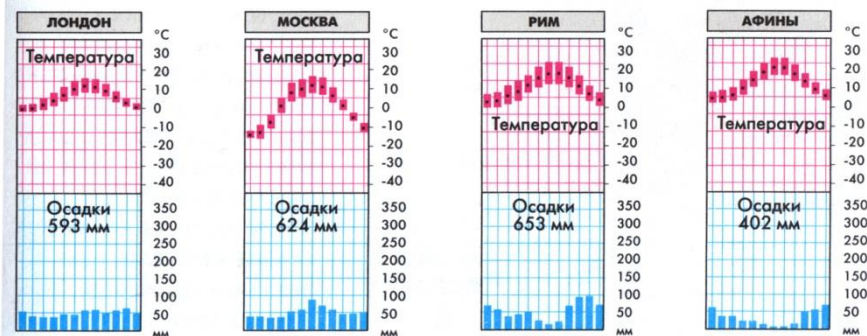
Вообще говоря, зимы в Западной Европе существенно мягче, чем это можно было бы ожидать, судя по географической широте, причиной чему служит Северное Пассатное течение (часто, но ошибочно отождествляемое с Гольф-стримом). Влияние этого течения позволяет, например, выращивать в защищенных условиях тропические и субтропические культуры на юго-западе Шотландии, то есть на той же широте, где расположен Лабрадор у противоположного берега Атлантики. Несмотря на это, впрочем, теплый и влажный морской атлантический воздух достигает поверхности холодного моря вдалеке от западного побережья, порождая плотные морские туманы. Из морского тропического воздуха, как правило, формируется теплый сектор в структуре большинства циклонов. Когда же он встречается на пути холодный



полярный или континентальный арктический воздух, приходящий с востока, может выпадать значительное количество осадков, чаще в виде снега.

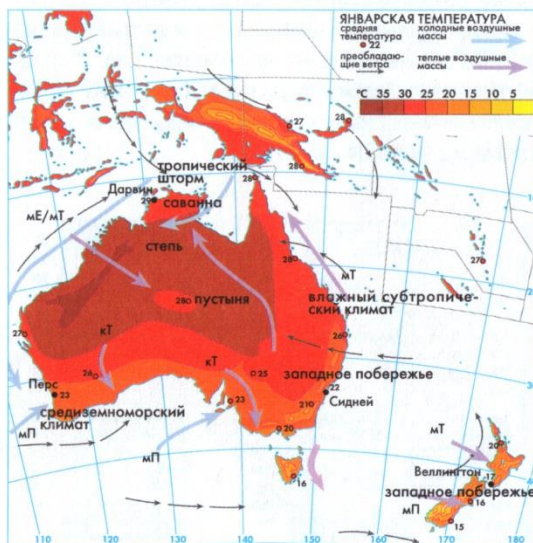
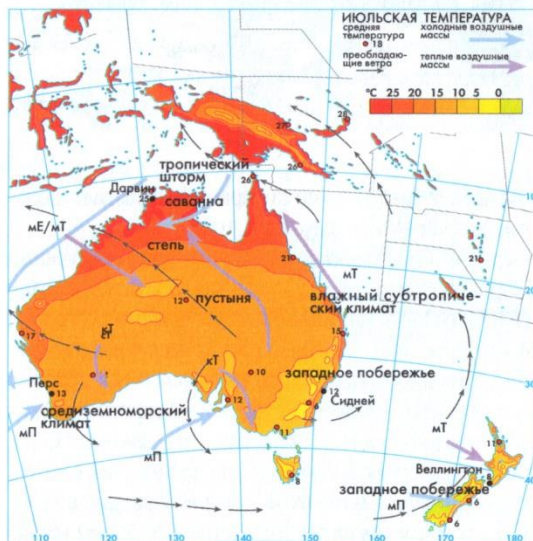
Скандинавские горы создают существенное различие климатов по обе стороны гряды, так что — наравне с Альпами — эта горная система оказывает значительное влияние на перемешивание воздуха в составе циклонов, пересекающих горы. Снижение атмосферного давления к северу от Альп может привести к тому, что теплый средиземноморский воздух преодолевает эту преграду и создает на северном склоне условия, благоприятные для появления фёна (стр. 100).

Область Средиземноморского побережья имеет свой особый климатический режим, получивший одноименное название. Характеризуется он значительным количеством осадков зимой, за которой следует жаркое и сухое лето, когда доминируют влияние субтропического региона, где давление высокое и устойчивое, и приходящие из Африки континентальные тропические воздушные массы. Зимой благодаря теплу, заключенному в морской воде, западному (как правило) ветру и средиземноморскому фронту образуются серии циклонов, которые движутся вдоль его границы в восточном направлении. Случается, что такие уходящие на восток циклоны возобновляются с новой силой по достижении восточных границ Средиземноморья, где встречаются континентальный полярный воздух, приходящий с запада России, после чего они отклоняются на северо-восток, к Черному морю. Сложный рельеф местности на северном побережье Средиземного моря оказывается причиной заметных отклонений климата над отдельными небольшими областями. Также и горы вносят свой вклад в формирование сильных кatabатических ветров (стр. 103), таких как мистраль и борей (последний обдувает побережье Адриатики). Со стороны Африки ветры сирокко и хамсин несут жаркий континентальный воздух на север, где он может набрать довольно большое количество влаги, проходя над морем.



Погода над Австралией и Новой Зеландией

Австралия находится на слишком высоких широтах, чтобы испытывать заметную зависимость от погодных условий на экваторе, и по существу климат ее северо-западного побережья (в особенности) определяется муссонным режимом, с северо-западными ветрами, преобладающими летом, и юго-восточными — зимой. Тем не менее жаркие и влажные экваториальные и морские тропические воздушные массы доходят вплоть до 21° ю. ш., а приносимые ими дожди могут уходить еще дальше на юг. С другой стороны, горная система Большого Водораздельного хребта на востоке проходит вдоль всего побережья и препятствует проникновению восточного морского тропического воздуха далее в глубь материка.



Влияние этой горной системы заметно, если сравнить морской климат береговой полосы с гораздо более сухим климатом запада, где он приобретает выраженные континентальные черты.

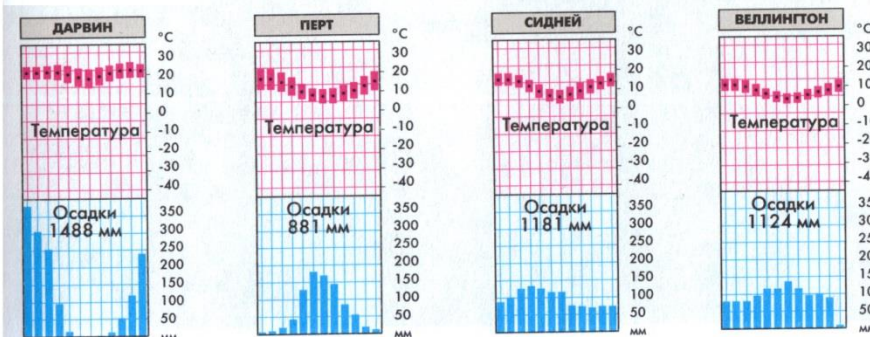
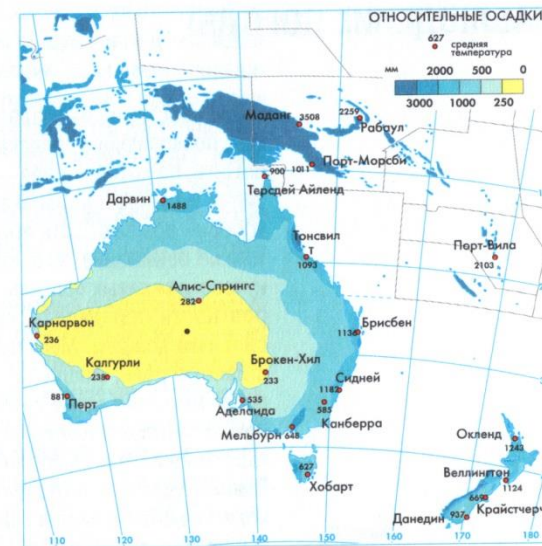
Внутренняя область материка сама является источником континентального тропического воздуха, и формирующаяся здесь воздушная масса зимой остается теплой и сухой. Летом интенсивный прогрев почвы приводит к образованию очень жаркой и сухой воздушной массы, которая дает начало сильному ветру, называемому «брикфилдер» (англ. *brickfielder* — кирпичник), такому же жаркому и сухому, несущему большое количество пыли.

На юге морской полярный воздух оказывает доминирующее влияние, с ним связано постоянное образование циклонов, в зимнее время приносящих дожди на южное побережье материка. Летом имеет место общий сдвиг циклонической активности к югу, то есть циклоны выстраиваются в том же порядке, но на более высоких широтах, и их влияние тогда простирается

лишь на территорию Тасмании. Эти южные области в результате приобретают климат, схожий со средиземноморским, то есть со значительным количеством осадков в виде дождя зимой и сухой теплой погодой летом. Резкие перемены направления ветра с северного на южное сопровождаются вторжением очень холодного воздуха на юг и юго-восток.

Разрушительной силы тропические циклоны могут поражать север континента, особенно вблизи Арафурского и Тиморского морей. Известны случаи, когда сильные грозы, образовавшись здесь, затем проходят длинный путь вдоль западной части материка. Северный остров Новой Зеландии может также подпадать под влияние грозовых систем, образующихся в западной части Тихого океана.

Острова Новой Зеландии удалены ото всех участков материковой суши, и потому на них практически не наблюдаются континентальные воздушные массы, — здесь преобладают, напротив, воздушные массы морского тропического и морского полярного типов. Из них формируется множество циклонов, вытягивающихся в цепь, пересекающих острова в направлении, задаваемом преобладающими тут ветрами — ревушими сороковыми, охватывающими весь земной шар в полосе между 40 и 50° ю. ш. Рельеф местности (особенно на Южном острове) способствует частым и сильным ливням на западном побережье и частой ясной, солнечной погоде — на восточном, находящемся в своеобразном укрытии, защищенном от северо-западных ветров. В отсутствие влияния континентальных воздушных масс устойчивая, неизменная погода наблюдается редко и недолгое время, но, с другой стороны, близость Антарктики означает, что морской полярный воздух здесь устойчиво оказывается холоднее, чем в подобных регионах Северного полушария.



НАБЛЮДЕНИЕ ПОГОДЫ

В предшествующих разделах изложены основные сведения, позволяющие предсказать вероятный ход изменения погоды, по крайней мере — в местных масштабах. Знание типов облаков и признаков устойчивых и неустойчивых условий поможет дать прогноз на текущий день, а более тонкое понимание того, как происходит, например, рост кучево-дождевых облаков, позволит с большой долей вероятности определить, есть ли угроза вымокнуть под сильным дождем. Местные условия также играют существенную роль, и если научиться узнавать, скажем, появление морского бриза с началом дня или горного ветра — ночью, многие перемены погоды, казавшиеся когда-то загадочными, станут вполне понятными и ожидаемыми. Главное условие — отдавать себе отчет в том, что происходит в небе на наших глазах: глядя в него, мы должны увидеть не просто плывущие «облака», но «летние кучевые мощные облака, за которыми может скоро последовать дождь». Также и видя утром туман, мы уже не будем задаваться риторическим вопросом о том, откуда он взялся, но вспомним, что это радиационный туман, сформировавшийся в течение ночи, и что он не рассеется, пока не поднимется ветер либо пока солнце в достаточной степени не прогреет землю.

*Тихое осеннее утро
после сильного
заморозка, наступившего
ночью под ясным небом.
Какую погоду можно
ожидать в течение дня?*



Со временем станет заметно, как наши собственные наблюдения встраиваются в более общую картину погодных условий и их дальнейшего развития, если начать сравнивать их с профессиональными прогнозами и протоколами наблюдений, которые все чаще становятся доступны благодаря Интернету. Наиболее полезна информация, представляемая в виде карт, на которых отображены результаты фактических наблюдений, а также синоптические карты и изображения, полученные с помощью метеорологических радаров (стр. 135).

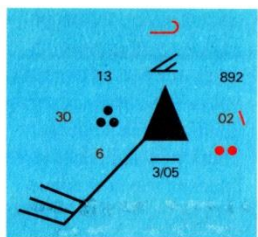
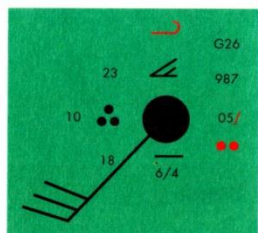
Прогнозы погоды, распространяемые средствами массовой информации, составляются на основе многих одновременных наземных наблюдений во всех частях света, равно как и на большом объеме данных из прочих источников, таких как спутники и океанические буи, снабженные регистрирующей аппаратурой. Как отмечалось выше, чтобы сделать достоверный прогноз всего на три дня вперед, уже необходима информация со всего земного шара. С развитием техники все больше наблюдений делается с помощью автоматизированных станций, но и тысячи метеорологических станций, работающих традиционным способом, то есть с опытным метеорологом (многие из которых любители), не перестают терять своего значения. Международная метеорологическая организация координирует работу наблюдателей, обработку полученных данных и передачу результатов по всему миру через систему Всемирной службы погоды. Она состоит из трех основных частей: всемирных системы наблюдения, системы обработки данных и прогнозирования и системы телесвязи. В целом эта служба являет собой выдающийся пример международного сотрудничества — каким оно, собственно, и должно быть, поскольку государственных границ для погоды не существует.

Международная метеорологическая организация (штаб-квартира ее находится в Женеве, Швейцария) утвердила стандартный набор наблюдений, которые должны выполняться на наземных станциях по всему миру. Частота наблюдений разнится для каждой отдельной станции. Например, большинство крупных аэропортов и военных авиабаз выполняют наблюдения ежечасно, причем точно в начале каждого часа. Другие станции могут проводить наблюдения с меньшей частотой: каждые три, шесть или двенадцать часов. Все станции, вне зависимости от положения на земном шаре, выполняют наблюдения в 00:00 и 12:00 по Гринвичу (точнее — по всемирному скоординированному времени, UTC), и результаты, полученные в это время, являются приоритетными входными данными для многих компьютерных программ, осуществляющих численное прогнозирование погоды.

Время

Как во многих других отраслях науки, в метеорологии проведение наблюдений и передача полученных данных осуществляются в соответствии со всемирным координированным временем (Universal Time Coordinated, UTC), которое определяется посредством сравнения показаний нескольких атомных часов, принадлежащих разным национальным организациям по стандартизации. UTC совпадает со временем на меридиане Гринвича и не меняется при наступлении зимнего или летнего периода. Часовой пояс Гринвича называют также зулусским временем, что обозначается как Zulu, или сокращенно Z, так что нередко можно встретить метеорологическую сводку помеченную, например, временем «12:00 Z».

Обозначение ▼
метеорологической
станции
на синоптической карте:
обслуживаемая
(персоналом)
метеостанция (вверху)
и автоматическая
(внизу).
Значение чисел
и символов будет
подробно объяснено
далее



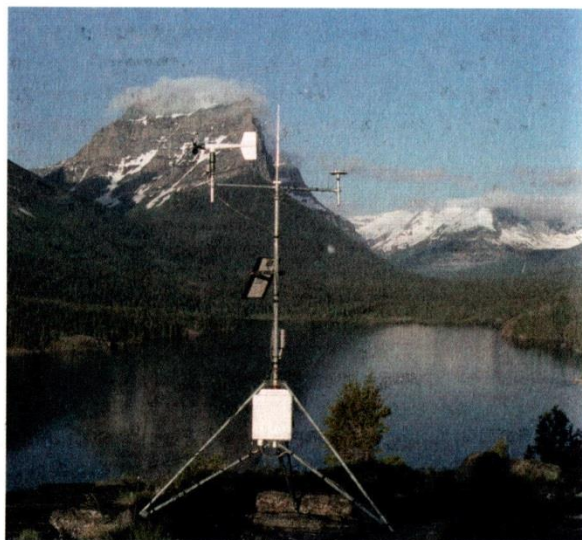
Автоматическая ►
метеостанция
в национальном парке
Глейшер (США).
Интересным является
облако, покрывающее
вершину горы на заднем
плане

Наземные наблюдения

Наземные наблюдения обычно проводятся ежечасно, и их стандартные обозначения на картах (см. стр. 138) таковы:

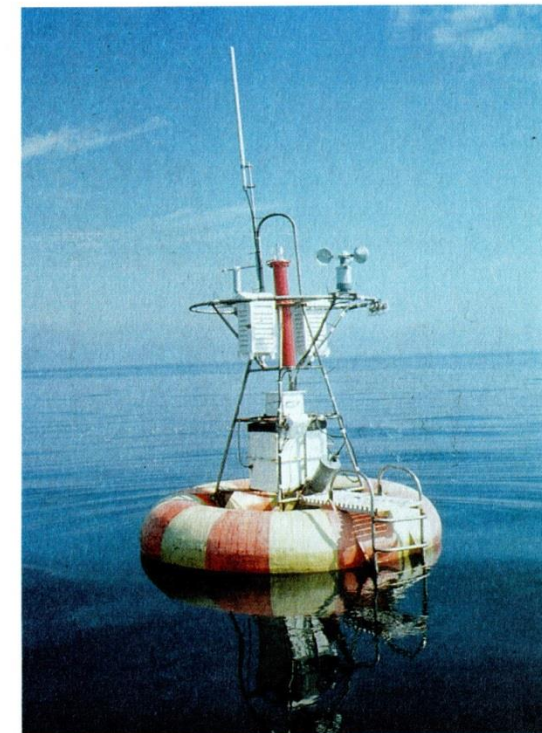
- общая облачность — N
- направление ветра
- скорость ветра
- температура воздуха по сухому термометру — TT
- температура точки росы по влажному термометру — TdTd
- горизонтальная видимость — VV
- атмосферное давление (в пересчете на уровень моря) — PPP
- трехчасовая динамика атмосферного давления (барическая тенденция) — ppa
- тип облачности — C_L , C_M и C_H
- высота облачности
- текущая погода — WW
- погода между сроками наблюдений (прошедшая погода) — W_1W_2

Кроме этого, многие станции регистрируют и передают данные о других наблюдениях, таких как количество осадков (обычно это суммарное количество за последние 12 или 24 часа) и продолжительность солнечной погоды с ежедневной, еженедельной или ежемесячной периодичностью. В частности, климатологические станции сообщают также данные о среднем значении наблюдаемых величин за прошедший месяц. Некоторые станции могут быть учреждены временно для проведения тех или иных специ-



альных исследований. Регулярные сведения о метеорологических наблюдениях поступают также с торговых судов и гражданских самолетов.

Разработка новых инструментов и развитие электроники позволяет в наши дни проводить многие из перечисленных наблюдений автоматически. Однако некоторые из них — такие, например, как определение типа облачности, — остаются доступны только человеческому наблюдению. Тем не менее число автоматических станций неуклонно растет, и судить об этом можно по различным символам, которыми на картах обозначаются станции разных типов. Автоматические станции включают придорожные установки, которые на сегодняшний день стали вполне привычны, а также посты наблюдения в удаленных и относительно труднодоступных местах, в том числе на буйках, установленных в океанах. К последним относят стационарные буйковые станции, включая поставленные на якорь посреди Тихого океана, и буйки, выпущенные в целях отслеживания условий, приводящих к появлению теплого течения Эль-Ниньо — они могут свободно дрейфовать на поверхности воды, а также представлять собой особые конструкции, свободно плавающие на заданной глубине под водой, всплывающие с заданной периодичностью для отправки данных о проведенных наблюдениях и снова опускающиеся на прежнюю глубину.



▲ Одна из первых конструкций автоматической буйковой станции для проведения наблюдений вблизи берега

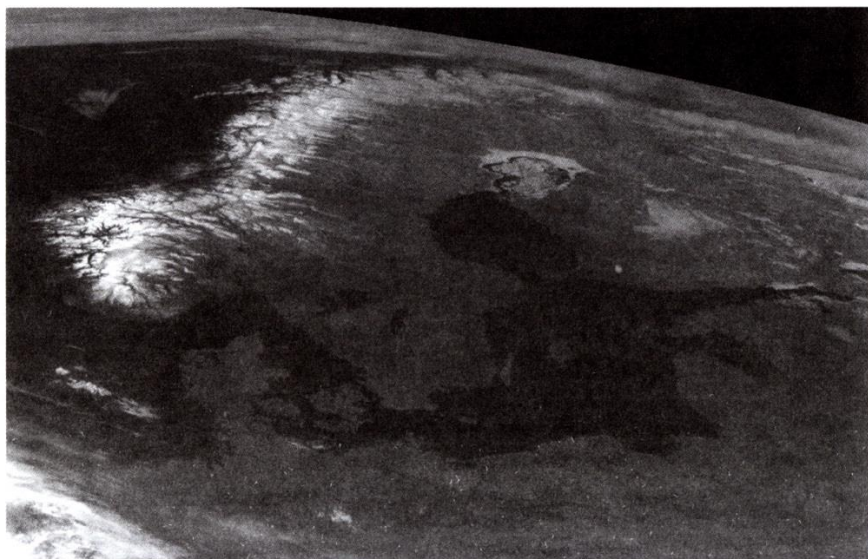
Аэрологические наблюдения

Важные сведения могут быть получены с помощью воздушных зондов, выпускаемых в небо в определенное время. Простейший вариант зонда, называемый шаром-пилотом, не несет с собой никакой измерительной аппаратуры и надувается с таким расчетом, чтобы подниматься с заранее определенной постоянной скоростью. Наблюдение за подъемом шара и его положением в пространстве — обычно ежеминутное — позволяет оценить силу



Наблюдатель готовится выпустить ▲ радиозонд со станции Эврика на острове Элсмир на северо-востоке Канадского Арктического архипелага. В правой руке наблюдатель держит блок с измерительной аппаратурой

▼ Фрагмент изображения, полученного спутником второго поколения серии Meteosat в 11.00 UTC 4 апреля 2004 года. Благодаря увеличенному разрешению камеры можно различить детали снежного покрова над горами в Норвегии и передний край циклона (депрессии), приближающегося с запада



и направление ветра в верхних слоях атмосферы — вплоть до высоты примерно в 15 км и даже более. Небольшие шары-пилоты иногда используются для измерения высоты, на которой залегают основания облаков.

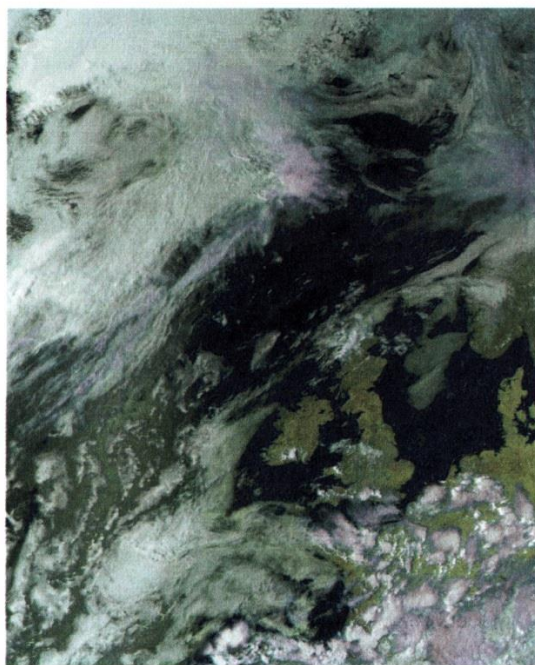
Более крупные шары, называемые радиозондами, могут в качестве полезной нагрузки поднимать различные измерительные инструменты, чаще всего — регистрирующие давление, температуру и влажность воздуха и передающие полученные данные на Землю по каналу радиосвязи. Некоторые из таких зондов снабжены приемниками сигналов глобальной системы навигации и определения положения (GPS) для точного определения своих координат. Выпускают такие устройства в воздух с постов всемирной сети метеорологических станций четыре раза в сутки: в 00:00, 06:00, 12:00 и 18:00 по Гринвичу (UTC). Направление и скорость ветра, как правило, регистрируются дважды в сутки (часто для этого используют шары с минимальным оснащением телеметрическим оборудованием, и называют их ветровыми зондами или ветрозондами), и полный набор полученных данных отправляют в 00:00 и 12:00 по Гринвичу. Наблюдения параметров ветра исключительно важны для прогнозирования погоды, поскольку (наряду с другими факторами) они дают непосредственную информацию о вертикальном градиенте температуры в атмосфере (стр. 28) на высотах вплоть до 20 км. Другие конструкции зондов могут нести самые разнообразные датчики, например позволяющие отслеживать уровень радиации или концентрации озона в воздухе.

Спутниковые наблюдения

На сегодняшний день спутниковые наблюдения стали неотъемлемой частью метеорологии и синоптики. Спутники, изначально созданные для метеорологических исследований, делятся на два класса: геостационарные и полярно-орбитальные.

Орбита геостационарного спутника проходит на высоте 35 900 км над поверхностью Земли, над линией экватора: в таком положении спутник обходит орбиту точно за сутки и поэтому фактически находится над одной и той же точкой на планете. Находясь в таком положении, с учетом кривизны поверхности земного шара угол зрения составляет 120°, а не 180°, как этого можно было бы ожидать. Однако несколько спутников, в определенном порядке размещенных над линией экватора, обеспечивают перекрывающиеся поля зрения и таким образом охватывают всю поверхность планеты. Принципиальное значение имеют следующие космические аппараты: Meteosat на долготе 0°, GOES-E над 75° з. д., GOES-W над 135° з. д. и GMS над 140° в. д. Они осуществляют непрерывное наблюдение за погодой по всему миру, днем и ночью (все спутники ведут наблюдение в нескольких диапазонах инфракрасного излучения, так как картина, получаемая только в видимом диапазоне, неинформативна в ночное время). Например, первые из спутников серии Meteosat каждые 30 минут давали картину кругового обзора, то есть полный круг в 360°, полученную в трех диапазонах: видимого света, инфракрасного и в области длин волн, позволяющих фиксировать водяной пар. Спутники второго поколения Meteosat проводили наблюдения уже по 12 каналам, с большим разрешением и справлялись со своей задачей вдвое быстрее: полученные данные отсылались каждые 15 минут.

Однако на высоких широтах атмосферу невозможно наблюдать с геостационарных спутников при достаточном разрешении, поэтому дополнительные данные получают со спутников полярно-орбитального типа. Их запускают на гораздо более низкие орбиты — 800–1000 км над Землей, а их траектории сильно наклонены под углом к экватору и поэтому проходят над высокими широтами. Каждый спутник наблюдает поверхность Земли непосредственно под ним, и поэтому область покрытия представляет собой



Фрагмент изображения ▲ пелены облаков, полученный 7 мая 2000 года со спутника NOAA-14. Можно увидеть, что над Британскими островами сравнительно небольшая облачность. Цвета изображения получились в результате наложения нескольких снимков, сделанных в разных спектральных диапазонах

замкнутую бесконечную извилистую полосу. Как правило, выбираются солнечно-синхронные орбиты, то есть параметры траектории подбираются таким образом, чтобы аппарат проходил над некоторой наперед заданной точкой на поверхности планеты примерно в одно и то же время каждый день. Орбитальный период в таком случае составляет около 90 минут, и поскольку за это время Земля также обращается, ее поверхность обходится перекрывающимися полосами, так что вся планета оказывается пройденной дважды за сутки: один раз в направлении с севера на юг и второй — с юга на север двенадцатью часами позже. Так же

как геостационарные, полярно-орбитальные спутники проводят наблюдения сразу в нескольких спектральных диапазонах, доставляя собранные данные и днем, и ночью. Первые спутники такого типа были представлены серией Nimbus, еще называемыми спутниками NOAA — это аббревиатура Национального управления по исследованию океанов и атмосферы США (United States' National Oceanic and Atmospheric Administration), которое и создало их.

Метеорологические спутники существенно облегчают проведение наблюдений над океанами и малонаселенными регионами планеты, где традиционные метеорологические станции (и сами наблюдатели) бывают редко и расположены на большом удалении друг от друга. Однако, кроме этого, спутниковые данные предоставляют информацию, которую невозможно получить никакими иными наземными средствами. Кроме упомянутого спектрального анализа, позволяющего определить содержание водяного пара в атмосфере, нужно добавить сведения о направлении ветров, высоте волн, температурах вершин облаков, равно как и о множестве других факторов, необходимых для составления различных типов современных прогнозов.

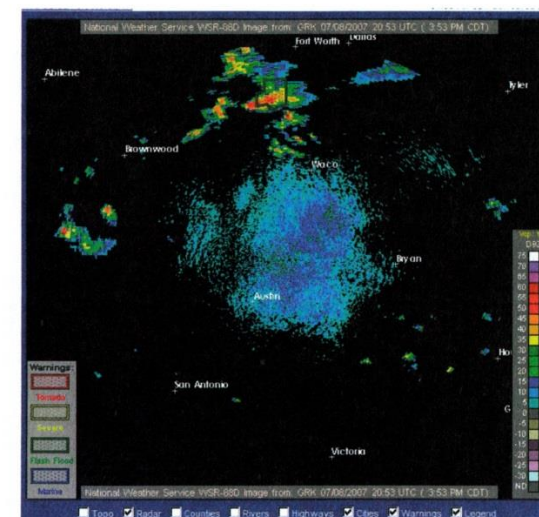
Многие спутники хотя и не включены в систему метеорологических наблюдений, тем не менее также участвуют

в наблюдении Земли, как, например, европейские спутники Envisat, следящие за экологическим состоянием поверхности планеты, а также спутники Terra и Aqua, принадлежащие NOAA. Данные, получаемые этими космическими аппаратами, не используются регулярно при составлении прогнозов, но оказываются весьма ценными, когда необходимо заполнить пробелы в данных, получаемых полярно-орбитальными спутниками во время стихийных бедствий, таких как наводнения или тропические циклоны. Также сведения, приносимые этими спутниками, полезны в самостоятельных климатологических и метеорологических исследованиях.

Наблюдения с помощью метеорологических радаров

Радиолокаторы, предназначенные специально для слежения за погодой, стали широко использоваться в метеорологии за последние годы, и в ближайшем будущем, видимо, их значение может только возрасти. Ряд стран использует радары для непрерывного наблюдения за осадками, и получаемые с их помощью данные — вместе, например, с информацией о местах появления молний — легли в основу системы сбора сведений о погоде в непосредственный момент и краткосрочного прогнозирования — на шесть часов вперед и менее. Такие прогнозы особенно важны, когда ожидаются опасные погодные явления — крупный град, сильные грозы, ливневые паводки, смерчи. Наиболее сложны по конструкции радары, основанные на эффекте Доплера, способные определять скорость и направление облаков, несущих осадки, относительно точки наблюдения. К такому типу относятся, например, радары в составе системы NEXRAD, покрывающей территорию США. Получаемые с их помощью данные очень ценны для предсказания вероятности появления смерчей, а также очень сильных, но кратковременных нисходящих ветров, представляющих исключительную опасность для взлетающих и приземляющихся самолетов.

▼ Изображение, полученное метеорологическим радаром NEXRAD в центральной части штата Техас. Видны умеренные осадки вблизи станции и существенно более сильные — неподалеку от Далласа и Форт-Уэрта. Рамкой охвачена область, которой угрожают ливневые паводки



Инструменты и методы наблюдения погоды и отображение их результатов на картах

Несмотря на все большее распространение электронных датчиков, автоматически выполняющих различные наблюдения, все же многие — быть может, даже большинство — метеорологические станции до сих пор используют классические приборы, инструменты и методы, поэтому и описание их будет полезно для понимания того, как затем полученные результаты отображаются на картах и как их можно интерпретировать. Непосредственные данные передаются через всемирную систему телесвязи (компонент Всемирной службы погоды) с помощью специального кода, который затем расшифровывается для построения синоптических карт.

Отображение на картах результатов наблюдений

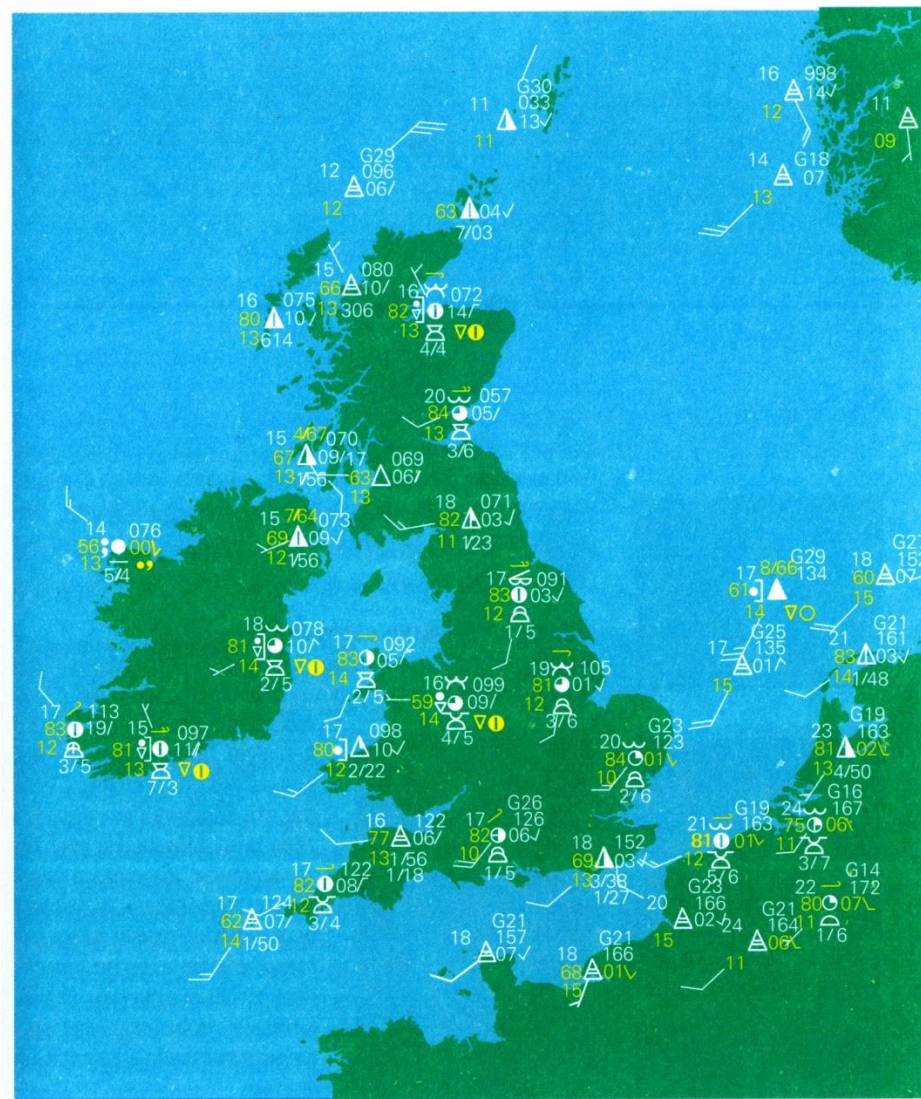
Все карты, отображающие данные, полученные на метеорологических станциях, отвечают единому стандарту, согласно которому положение различных условных знаков и символов строго фиксировано и однозначно связано с соответствующим типом наблюдений. Единственное исключение — указание направления ветра. Общий вид такого рода диаграммы показан на рисунке, где отмечены данные, полученные как обычными метеостанциями, так и автоматическими. В первом случае принято обозначение в виде кружка, во втором — треугольника. Значение каждого из знаков и символов, наносимых вокруг символа станции (круг или треугольник), так же как и их цвета, бу-

Карты метеорологических станций

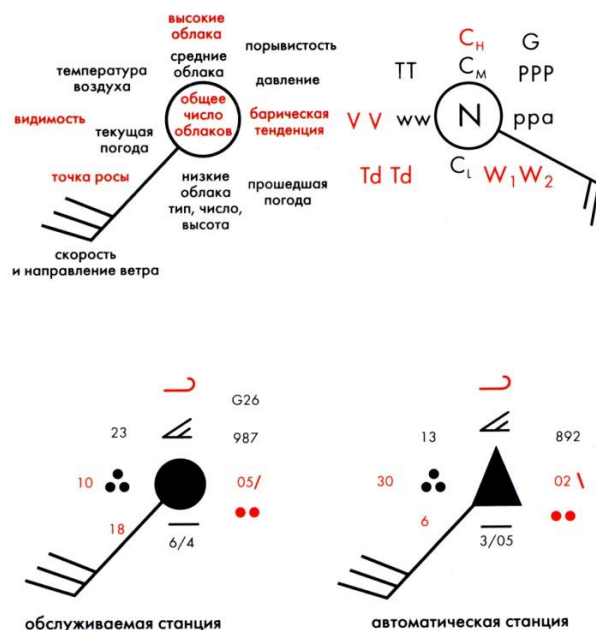
Карты метеостанций, многие из которых теперь доступны благодаря Интернету, дают весьма полезное представление о погоде над большой территорией, причем наблюдаемой всюду в одно и то же время. Наибольший интерес представляют, вероятно, направление и сила ветра на местности, а также текущая погода. К сожалению, по разным причинам карты такого рода, составленные для очень больших территорий, несут весьма разнородное содержание. В первую очередь, это зависит от того, какая национальная метеорологическая служба составляла карту. Некоторые из служб не различают автоматические и обитаемые станции, тогда как другие применяют нестандартные символы (например, звездочки) для автоматических станций, третьи же могут использовать разные цвета для отображения разных параметров. Но самым сильным ограничением служит то, что с течением времени число станций, наносимых на карту, может меняться, равно как и символы отдельных типов наблюдений могут то пропадать, то со временем появляться снова. Происходить это может из-за того, что наблюдение не было выполнено, либо из-за ошибки передачи данных. Однако основные символы и коды, а также их относительное положение на карте регламентируются международным соглашением, потому по крайней мере это остается неизменным.

дет подробно обсуждаться в следующих разделах, сейчас же мы рассматриваем примерную карту во всей ее полноте. Традиционно для маркировки использовались два цвета: черный и красный, но с появлением карт, подготовляемых с помощью компьютера, где цветная заливка используется для различения суши и моря, в употребление вошли белый и желтый цвета соответственно.

Нужно заметить, что некоторые обозначения или символы могут отсутствовать рядом с обозначением той или иной станции либо вследствие того, что наблюдение этого типа вообще не ведутся на выбранной стан-



Стандартное ► расположение числовых данных и символов (вверху слева) для обозначения результатов наблюдений, соответствующие им коды (вверху справа). А также типичные примеры записи информации на синоптической карте в случае обслуживаемой (внизу слева) и автоматической (внизу справа) метеостанций



ции (например, определение типа облаков на автоматической станции), либо потому что соответствующая информация недоступна в момент наблюдения. Это может происходить из-за невозможности наблюдения: скажем, тип высоких облаков нельзя установить, когда станция покрыта туманом или низкими слоистыми облаками; также не исключен случай ошибки наблюдателя или отказа аппаратуры.

Общее количество облаков (N)

В большинстве стран общее количество облаков оценивается в восьмых долях как отношение площади неба,

покрытой облаками, к общей его площади. Принципиальное исключение составляют США, где эта величина измеряется десятками долями. На практике, впрочем, этим различием можно пренебречь, и потому используется одна и та же система из одиннадцати символов, которым отвечают несущественно различающиеся численные значения в каждой из систем.



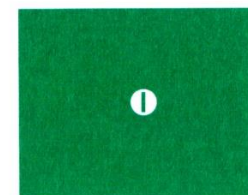
Общее количество облаков

Метеостанции с обслуживаемым персоналом	Автоматические станции	Все страны, кроме США	США
○	△	Ясно (нет облаков)	
◐	△	1/8	1/10 или менее
◑	△	2/8	2/10 — 3/10
◒	△	3/8	4/10
◓	△	4/8	5/10
◔	△	5/8	6/10
◕	△	6/8	7/10 — 8/10
◖	△	7/8	9/10 или сплошная облачность с редкими прояснениями
●	▲	Сплошная облачность	
⊗	(Нет символа)	Небо скрыто из-за тумана или другого метеорологического явления	
⊖	△	Небо скрыто по другим причинам, либо наблюдение не проводилось	

Нужно отметить, что последний символ очень часто встречается в обозначениях автоматических станций и указывает на то, что данные об облачности недоступны.

Скорость и направление ветра

Направление ветра определяется с помощью простого флюгера, к которому в наше время присоединяют электронное считывающее устройство, представляющее на своем экране направление ветра либо как радиус на круге, напоминающем шкалу компаса, либо с цифровым указанием угла в градусах; отсчет ведется по часовой стрелке, где ноль отвечает направлению на истинный (не магнитный) север. При этом, когда ветер дует точно с севера, указывают угол в 360°. Измерение проводят несколько раз с интервалом в несколько минут и затем регистрируют среднее значение, округляемое до десятков градусов. Полный штиль обозначают как 000 и в случае обслуживаемой метеостанции обозначают окружностью, в центре которой — кружок, обозначающий саму станцию. Направление ветра (с округленным значением угла) изображается пря-



▲ Значок обслуживаемой (персоналом) метеостанции, небо покрыто облаками на 7/8



Типичная конструкция ▲ чашечного анемометра, установленного над флюгаркой. Давление воздуха над вогнутой стороной чашки выше, чем над выпуклой, что приводит во вращение ось со скоростью, пропорциональной скорости ветра

мым отрезком, отходящим от символа станции и уходящим в соответствующем направлении (на север — вертикально вверх). Для автоматических станций в случае полного штиля ни этот отрезок, ни окружность не изображают.

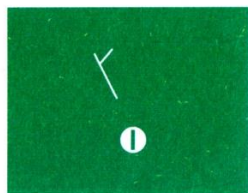
Скорость ветра измеряется специальным прибором — анемометром. На территории метеорологических обсерваторий он монтируется на стандартной высоте в 10 м, которая отвечает верхнему краю пограничного слоя, в котором преобладают трение и турбулентность. Там, где анемометр фиксируется на меньшей высоте — например, на метеорологических буйках в океанах, — проводится коррекция результатов, которые пересчитываются с тем, чтобы оценить вероятное значение силы ветра на стандартной высоте. Существуют различные варианты этих приборов, среди которых нужно назвать чашечный анемометр, представляющий собой три полусферические чашки, смонтированные симметрично на общей оси, на которой часто устанавливается и флюгарка, определяющая направление ветра. Другая разновидность, чаще применяемая в США, — анемометр по типу пропеллера, представляющий собой продолговатый корпус обтекаемой формы, на котором закреплена флюгарка, поворачивающая его крыльчаткой («пропеллером») в направлении ветра. Его ось, так же как и ось флюгарки, сочленяется с электрическим генератором, создающим ток, пропорциональный скорости вращения, а значит — и скорости ветра. Существуют и другие конструкции, включая, например, ультразвуковые анемометры, способные измерять не только горизонтальную (как и все прочие анемометры), но и вертикальную составляющую скорости ветра (в восходящих и нисходящих потоках очень большой силы, как, например, тех, что формируют кучево-дождевые облака, вертикальная составляющая скорости часто может даже превышать горизонтальную).

Скорость ветра обычно измеряется в узлах (морских милях в час), но часто в метеорологических сводках и исследовательских работах приводятся значения, переведенные в метры в секунду:

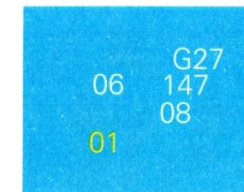
$$1 \text{ узел} = 0,514 \text{ м/с} = 1,852 \text{ км/ч.}$$

На картах скорость ветра отмечается с помощью оперения на конце отрезка, указывающего направление ветра, при этом все скорости округляются до числа, кратного пяти узлам. Оперение половинной длины отвечает прибавлению 5 узлов, полной длины — 10 узлов. Скорость в 50 узлов отмечается прямоугольным треугольником, напоминаю-

Направление ветра 350°, ▼ его скорость 3–7 узлов



щим флажок. В Северном полушарии оперение располагается по левую сторону, если смотреть на символ станции, а в Южном полушарии соответственно — по правую. Особые обозначения используются для указания полного штиля (о чем говорилось выше), ветра с меняющимся направлением и случаев, когда скорость ветра по каким-либо причинам неизвестна. Нужно заметить, что наибольшая сила порывов ветра отмечается отдельно. Порывы ветра также измеряются в узлах, округляются до ближайшего целого значения и обозначаются на карте с предшествующей буквой G, причем сведения о порывах наносят на карту, только когда их сила превышает 25 узлов.



▲ Отчет о наблюдениях автоматической станции, отмечены порывы ветра со скоростью, достигающей 27 узлов

Скорость и направление ветра

○ Штиль	23–27 узлов	53–57 узлов	83–87 узлов
— 1–2 узла	28–32 узла	58–62 узла	88–92 узла
3–7 узлов	33–37 узлов	63–67 узлов	93–97 узлов
8–12 узлов	38–42 узла	68–72 узла	98–102 узла
13–17 узлов	43–47 узлов	73–77 узлов	✕ Направление меняется
18–22 узла	48–52 узла	78–82 узла	✕ Известно только направление ветра, но нет данных о его скорости

Шкала Бофорта

Другой способ обозначения скорости ветра использует так называемую шкалу Бофорта, и тогда принято говорить собственно не о скорости, а о силе ветра. Впервые эта шкала была предложена контр-адмиралом Фрэнсисом Бофортом в 1806 году и официально принята Военно-морским министерством Великобритании в 1838 году.

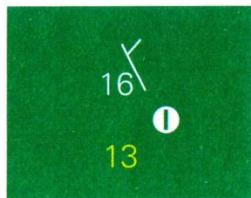


◀ Бурное море с разбивающимися волнами и пеной соответствует крепкому или очень крепкому ветру (7 или 8 баллов)

Шкала Бофорта для применения на море				
Сила ветра в баллах	Описание	Состояние моря	Скорость ветра	
			в узлах	в км/ч
0	Штиль	Море зеркально гладкое	менее 1	менее 2
1	Тихий ветер	Мелкая зыбь, нет пены	1–3	2–6
2	Легкий ветер	Небольшая рябь с гладкими гребнями	4–6	7–11
3	Слабый ветер	Сильная рябь, некоторые вершины расщепляются, редкие барашки	7–10	12–19
4	Умеренный ветер	Слабое волнение, частые барашки	11–16	20–30
5	Свежий ветер	Волнение средней силы, довольно длинные волны, много барашков, небольшое количество брызг	17–21	31–39
6	Сильный ветер	Нечастые крупные волны, вершины волн интенсивно пенятся, небольшое количество брызг	22–27	40–50
7	Крепкий ветер	Сильное волнение, хлопья пены поднимаются ветром	28–33	51–61
8	Очень крепкий ветер	Довольно длинные и высокие волны, их вершины разлетаются брызгами, пена собирается в длинные и рельефные полосы	34–40	62–74
9	Шторм	Высокие волны, плотная пена переносится ветром, вершины волн поднимаются и перекатываются друг через друга, брызги затрудняют видимость	41–47	75–87
10	Сильный шторм	Очень высокие волны с нависающими вершинами, плотная пена, легко поднимаемая ветром, море выглядит белым, слабая видимость	48–55	88–102
11	Жестокий шторм	Исключительно высокие волны могут скрывать за собой небольшие суда, море покрыто длинными белыми пятнами пены, которая обильно образуется волнами и легко поднимается в воздух; плохая видимость	56–63	103–117
12	Ураган	Воздух полон пены и брызг, чрезвычайно низкая видимость	свыше 64	свыше 118

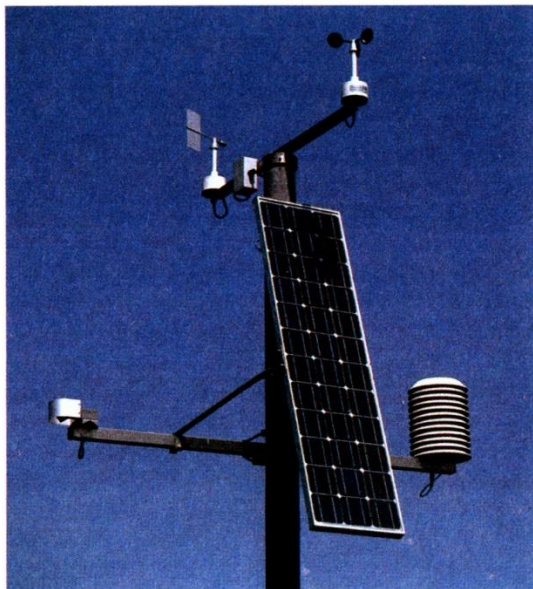
Шкала Бофорта для применения на суше				
Сила ветра в баллах	Описание	Состояние моря	Скорость ветра	
			в узлах	в км/ч
0	Штиль	Дым поднимается вертикально вверх	менее 1	менее 2
1	Тихий ветер	Направление ветра можно определить по отклонению дыма, но не по флюгеру	1–3	2–6
2	Легкий ветер	Ветер ощущается лицом, листва шелестит, флюгер указывает направление ветра	4–6	7–11
3	Слабый ветер	Листья и тонкие веточки постоянно в движении, маленькие флаги расправляются на ветру	7–10	12–19
4	Умеренный ветер	Ветер поднимает пыль и легкую бумагу, шевелятся небольшие сучья деревьев	11–16	20–30
5	Свежий ветер	Начинают качаться молодые деревья с обильной листвой, на водоемах появляется рябь	17–21	31–39
6	Сильный ветер	Приходят в движение большие сучья деревьев, ветер свистит в проводах, трудно удерживать зонт	22–27	40–50
7	Крепкий ветер	Все деревья раскачиваются, трудно идти против ветра	28–33	51–61
8	Очень крепкий ветер	Мелкие ветки срываются с деревьев, трудно идти в любом направлении	34–40	62–74
9	Буря	Легкие повреждения зданий, ветер сносит колпаки над трубами дымоходов, черепицу, антенны	41–47	75–87
10	Сильная буря	Ветер вырывает деревья из земли, причиняет значительные повреждения зданий	48–55	88–102
11	Очень сильная буря	Значительный ущерб для всех строений	56–63	103–117
12	Ураган	Повсеместное разрушение, сохраняются лишь специально спроектированные убежища	свыше 64	свыше 118

Изначально она разрабатывалась для навигации, с тем чтобы пользоваться ей при движении на парусных судах, но со временем она была приведена в зависимость только от состояния моря, а также был создан вариант и для определения силы ветра на суше. Сила ветра измеряется в баллах, от одного балла (тихий ветер) до двенадцати баллов (ураган). Особенно часто в прогнозах для судов можно услышать, например, о «силе ветра в пять баллов» или о «шторме в десять баллов». Используя приводимые таблицы, нужно помнить, что шкала определена для скорости в узлах и приведенные значения в км/ч являются лишь приблизительными.



Температура воздуха ▲
16 °C, точка росы 13 °C

Типичная маленькая ▼
автоматическая
метеостанция,
регистрирующая
направление и скорость
ветра, температуру
и количество осадков



Температура (ТТ)

Температура регистрируется несколькими стандартными типами термометров, и на метеорологической станции их должно быть, по меньшей мере, четыре. Во-первых, это так называемый сухой термометр, представляющий собой вертикально закрепленную трубку, заполненную ртутью и снабженную шкалой, по которой отсчитывают температуру окружающего воздуха, как правило, с точностью до 0,1°C. Во-вторых, это влажный термометр, отличающийся от сухого наличием оборачивающей его полоски ткани (обычно это батист), кончик которой опущен в сосуд с дистиллированной водой. Испарение воды с ткани уменьшает показания влажного термометра, и если затем сравнить показания влажного и сухого термометров, то по их разности можно судить о влажности воздуха (подробная речь об этом пойдет немного ниже). Показания этих двух термометров считываются при каждом наблюдении, то есть ежечасно или реже — в зависимости от типа метеорологической станции. Текущая температура воздуха, округленная до ближайшего целого значения и выраженная в градусах Цельсия, отображается в виде двух десятичных знаков (с предшествующим минусом для отрицательных температур) слева от символа станции.

Влажность (точка росы — TdTd)

Как только что было сказано, влажность может быть определена по разности показаний сухого и влажного термометров, установленных в психрометрической будке. Если стационарная психрометрическая будка по тем или иным причинам недоступна, часто используют ручное устройство, называемое ручным психрометром, состоящим из сухого и влажного термометров, смонтированных вместе на жесткой рамке, имеющей подвижно закрепленную рукоятку, позволяющую наблюдателю вращать конструкцию над головой наподобие пращи, чтобы обеспечить достаточное проветривание психрометра. Существуют устройства, позволяющие измерять непосредственно влажность воздуха, их называют гигрометра-

ми, число модификаций которых довольно велико. Гигрометр, соединенный с самописцем, называют гигрографом; часто используется конструкция с чувствительным элементом, выполненным особым образом из обработанного человеческого волоса, который удлиняется и сокращается в соответствии с переменами влажности. Колебания длины обрабатываются и передаются на перо самописца, оставляющего след на протягиваемой бумажной ленте — так же практически, как это делается в конструкции барографов и термографов. Так же как и температура, значение точки росы выражается в градусах Цельсия, округляется до ближайшего целого значения и наносится на карту (также в виде двух десятичных знаков и минуса при необходимости) шрифтом желтого или красного цвета.

Максимальные и минимальные температуры

Два других термометра устанавливаются, как правило, горизонтально и используются для регистрации максимальной и минимальной температуры, имевшей место за весь период наблюдений с момента их последней установки. Обычно температуры с этих термометров считывают и выполняют сброс показаний каждые 24 часа, чаще всего эту процедуру выполняют в 09:00 по местному времени. Стандартная конструкция термометра для определения максимальной температуры представляет собой заполненную ртутью трубку, имеющую сужение вблизи шарика термометра, так что ртуть свободно расширяется над этим местом, но при снижении температуры столбик ртути разрывается, и прежнее положение его вершины остается доступным для определения. Для сброса показаний термометр встряхивают — так же как и привычные медицинские градусники. В тихую погоду максимальное значение температуры за сутки достигается в послеполуденные часы, однако время достижения максимума может заметно измениться, если в течение суток над местом наблюдения проходит циклон или происходит иное погодное явление.

В термометре для определения минимальной температуры воздуха вместо ртути используется спирт по причине его более низкой температуры замерзания, а значит, возможности использования в более холодных условиях (то есть ниже -38,9°C, когда ртуть замерзает). В спирт помещается легкий указатель, который остается неподвижным при расширении столба жидкости, но смещается при его сокращении. Таким образом, можно определить минимальную температуру с момента сброса показаний, и этот минимум, как правило, достигается ночью, за некоторое время перед рассветом. Впрочем, как и в случае с максимумом температуры, время достижения минимума может сильно изменяться при смене преобладающей воздушной массы в течение суток. Сброс показаний обычно осуществляется путем легкого взбалтывания термометра, при котором указатель всплывает на поверхность спиртового столбика. Известна конструкция, называемая термометром Сикса, состоящая из U-образной трубки с двумя шариками на концах, один из которых заполнен прозрачной жидкостью, столбик которой расширяется и сокращается с переменной температуры и воздействует на короткий ртутный столбик, снабженный указателем-поплавком на каждом из концов. Поплавки имеют подпружиненные распорки, удерживающие их внутри трубки в максимальном и минимальном положениях, пока они не будут возвращены к исходной точке, для чего обычно используют магнит, проносимый вдоль трубки снаружи.

Кроме термометров на некоторых станциях ведутся наблюдения и с помощью термографа, в котором изменения температуры приводят к соответствующему изменению изгиба биметаллической полоски. Механическая деформация усиливается с помощью системы рычагов и передается перу самописца, наносящего линию на диаграммную

ленту, закрепленную на медленно вращающемся барабане. В автоматических станциях используются термодатчики, электрическое сопротивление которых меняется с перепадами температуры.

Чтобы обеспечить точность считываемых показаний, термометры устанавливают внутри специально сконструированных будок, защищающих их от прямых солнечных лучей, но при этом не препятствующих естественной циркуляции воздуха. На наземных станциях для этого часто используют камеры с двойной крышей и двойными жалюзиными стенками. Такие конструкции получаются достаточно просторными, чтобы вместить внутри и прочую аппаратуру, например термограф или гигрограф (записывающий значения влажности воздуха). Автоматические станции используют цилиндрическую конструкцию, напоминающую внешне стопку перевернутых тарелок (см. рис. на стр. 144).

Современный экземпляр ▼ классической конструкции ртутного барометра. Видны резервуар в основании устройства и термометр для внесения поправок на считываемые данные



Давление (РРР)

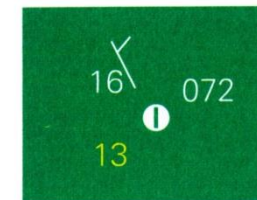
Для регистрации давления ранее использовался барометр классической конструкции в виде вертикальной трубки, запаянной с верхнего конца и опущенной другим, открытым концом в резервуар со ртутью. Предварительно и сама трубка заполняется ртутью, герметично закрывается, переворачивается и затем вскрывается, уже когда ее конец погружен во ртутный резервуар. В этот момент столбик ртути падает, оставляя вакуум в верхней части трубки. Высота оставшегося в трубке столба ртути (примерно 75 см) — непосредственная мера веса столба атмосферного воздуха над прибором, и потому она меняется вместе с атмосферным давлением. Один из недостатков такого барометра — необходимость корректировать его показания (то есть высоту столба ртути, определяемую по градуировке, наносимой на стекло) в соответствии с температурой устройства. Поэтому термометр часто встраивают в корпус барометра.

Другой вариант конструкции использует вместо ртутного столба металлическую капсулу с откачанным воздухом, чувствительную к перепадам давления. Такой барометр называют анероидом (от греч. «без воздуха»), и такого типа прибор чаще всего можно встретить у нас дома. Под действием атмосферного давления металлическая поверхность прогибается, чему противодействует внутренняя пружина (или упругость самой анероидной капсулы). В некоторых конструкциях деформация усиливается за счет соединения нескольких капсул, составленных стопкой одна на другой в так называемый анероидный столб. В домашних барометрах деформация механически преобразу-

ется в перемещение указателя над шкалой, по которой и осуществляется считывание давления. В высокоточных барометрах, применяющихся на метеорологических станциях, показания анероида считываются с градуированного барабана, сигнал на который поступает с сенсорного устройства.

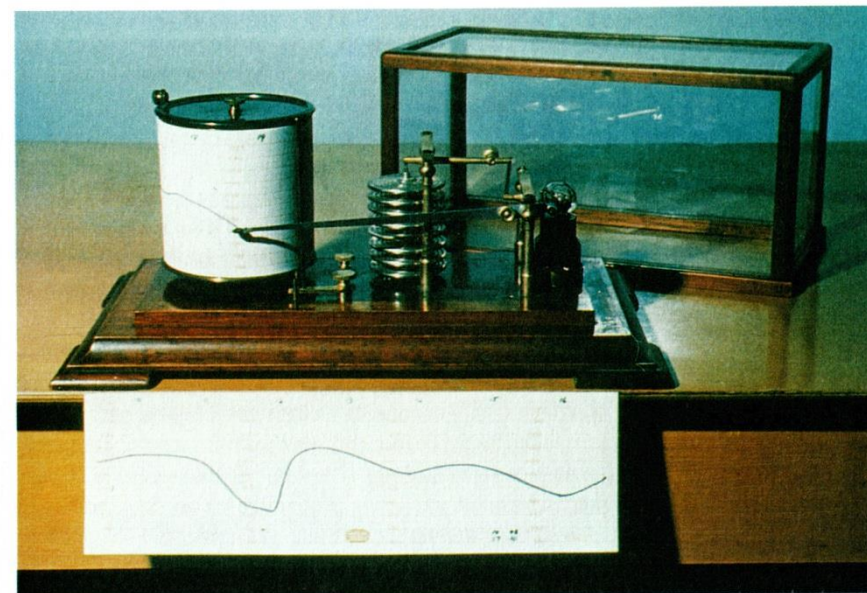
Подобные анероидные капсулы используются и в барографах, непрерывно записывающих атмосферное давление в течение недели на диаграммную ленту, закрепленную на вращающемся барабане. Барограф особенно полезен тем, что непосредственно указывает барическую тенденцию, то есть растет ли давление, падает или остается неизменным, что является важным фактором для предсказания того, каким образом и как быстро будет меняться погода в ближайшие часы. Не имея записи барограммы на бумаге, приходится сравнивать текущие показания барометра с наблюдениями, сделанными раньше. Если наблюдения выполняются ежедневно, то это не составляет трудности, но на станциях, где давление измеряется лишь один или два раза в сутки, такое сравнение будет бессмысленным.

Давление измеряют в миллибарах (мбар), то есть тысячных долях теоретического среднего значения атмосферного значения на уровне моря (что соответствует давлению в один бар). Метеорологи также пользуются единицей гектопаскаль (гПа), поскольку основная единица, паскаль (Па), имеет более четкое фиксированное значение, в отли-



▲ Текущее атмосферное давление 1007,2 гПа

▼ Чаще всего можно встретить барограф именно такой конструкции. Он вычерчивает график атмосферного давления на узкой диаграммной ленте за период в одну неделю





Барическая тенденция ▲
за последние три часа:
увеличение на 1,4 гПа;
растет, затем
стабилизируется

чие от бара. На практике, впрочем, принято пренебрегать различием между одним миллибаром (1 мбар) и одним гектопаскалем (1 гПа). В прогнозах погоды, передаваемых по радио и телевидению, давление часто указывают в миллибарах как единице, более знакомой широкой аудитории. Кроме этого, применяются и единицы миллиметров ртутного столба (мм рт. ст.), в том числе и на барометрах-анероидах, но все же официально принятой единицей (даже в США) является миллибар или гектопаскаль.

Значения давления в большинстве случаев округляют до ближайших десятых долей гектопаскаля — 0,1 гПа (0,1 мбар). Однако, прежде чем принимать эти значения, нужно делать поправку на высоту барометра при измерении над уровнем моря. Давление уменьшается приблизительно на 1 гПа с подъемом на каждые 10 м, поэтому необходимо добавлять пропорциональную высоте величину, чтобы получить значение у теоретического уровня моря (кроме, разумеется, случая, когда метеорологическая станция находится ниже уровня моря — тогда соответствующий член нужно вычитать). По скорректированным значениям, приведенным к уровню моря, могут быть построены карты изобар. Заметим попутно, что среднее давление над уровнем моря составляет не в точности 1000 гПа (то есть 1000 мбар, или 1 бар), а 1013,25 гПа.

На практике для получения точных измерений необходимо еще учитывать разную силу земного притяжения на разных широтах, но для наших целей эти тонкие поправки вполне можно опустить. Значение атмосферного давления (PPP) выражается в гПа (или мбар) с точностью до одной десятой, и три последних знака отображаются на картах. Поэтому давление в 991,7 мбар будет обозначено как 917, а 1007,3 мбар — как 073.

Барическая тенденция

↗	Поднимается, затем падает
↗	Поднимается и стабилизируется
↗	Поднимается
✓	Падает, затем поднимается
✓	Падает, затем поднимается
↘	Падает и стабилизируется
↘	Падает
↘	Поднимается, затем падает

Барическая тенденция (ppa)

Барическая тенденция определяется как величина и характер изменения давления, оцениваемые по данным наблюдений, выполненных за последние три часа. Регистрируется собственно разность за три истекших часа (выраженная в гПа), а также тип изменения (неизменно, растет, падает, растет и затем падает и т. д.). Изменение за период наблюдения отсчитывается также с точностью до десятых долей гектопаскаля и наносится на карту в виде двух десятичных знаков (шрифтом красного или желтого цвета). Таким образом, отметка 30 будет отвечать перемене в 3 гПа. Характер изменения давления отображается восемью разными символами, причем все из них, указывающие на преобладающее повышение, маркируют черным или белым цветом, а на понижение — красным или желтым.

Типы облаков (C_L , C_M и C_H)

Наблюдение, регистрация и символическое обозначение типов облаков основаны на разделении их на высотные ярусы — низкие (C_L), средние (C_M) и высокие (C_H) облака, как это описывалось выше (стр. 33). Символ облачности нижнего яруса располагают внизу под символом станции; сверху над символом станции — символ облачности среднего яруса, и выше над ним — верхнего, причем последний изображается красным или желтым цветом. При плотной низкой облачности может случиться, что наблюдение высших ярусов невозможно, и тогда соответствующий символ не наносится.

Нужно отметить, что мощные высококучевые и слоисто-дождевые облака обозначаются одним и тем же символом.



▲ Низкие облака — кучево-дождевые, средние — высококучевые, образовавшиеся из расходящихся в стороны кучевых или кучево-дождевых облаков, высокие — плотные перистые облака

Типы низких облаков (C_L)

☁	Кучевые небольшой вертикальной мощности
☁	Кучевые средней или большой вертикальной мощности
☁	Кучево-дождевые без вершины волокнистого типа или в виде наковальни
☁	Слоисто-кучевые, образовавшиеся из расширяющихся в стороны кучевых облаков
☁	Слоисто-кучевые, образовавшиеся иным образом
—	Слоистые в виде более или менее сплошного слоя
---	Слоистые разорванные при плохой погоде
☁	Кучевые и слоисто-кучевые на разных уровнях
☁	Кучево-дождевые с вершиной волокнистого типа или в виде наковальни

Типы средних облаков (C_M)

☁	Высокослоистые, через которые слабо просвечивает солнце или луна
☁	Высокослоистые, достаточно плотные, чтобы скрывать солнце или луну, либо слоисто-дождевые
☁	Высококучевые, большая часть которых полупрозрачна и находится на одном уровне
☁	Ключья высококучевых облаков, большая часть которых полупрозрачна и занимает один или несколько уровней
☁	Полупрозрачные высококучевые в виде полос либо высококучевые в виде одного или нескольких относительно сплошных слоев, постепенно заполняющих небо
☁	Высококучевые, образованные расширением в стороны кучевых (или кучево-дождевых) облаков
☁	Высококучевые в два и более слоя, не заполняющие постепенно небо, либо высококучевые вместе с высокослоистыми и слоисто-дождевыми
☁	Высококучевые башенкообразные
☁	Высококучевые, хаотически распределенные по небу, обычно на нескольких уровнях



Низкая облачность ▲
составляет 4/8, высота
облаков
от 1000 до 1999 футов

Автоматические станции

Код	Высота в футах
00	< 100
05	500
10	1000
15	1500
20	2000
30	3000
40	4000
50	5000
60	6000

Обслуживаемые станции

Код	Высота в футах
0	0–149
1	150–299
20	300–599
3	600–999
4	1000–1999
5	2000–2999
6	3000–4999
7	5000–6499
8	6500–7999
9	8000 и выше
/	нет данных

Типы высоких облаков (C_H)

→	Перистые волокнистые, котгевидные, хлопьевидные, не заполняющие небо
→	Плотные участки перистых облаков, которые не увеличиваются и похожи на остатки вершин рассеявшихся кучево-дождевых облаков; иначе, перистые плотные и башенкообразные
→	Плотные перистые, часто в форме наковальни; остатки вершин рассеявшихся кучево-дождевых облаков
→	Перистые котгевидные или волокнистые либо обоих типов сразу, постепенно заполняющие небо; в целом они становятся все более плотными
→	Перистые и перисто-слоистые или только перисто-слоистые, постепенно заполняющие небо, но не достигающие высоты в 45° над горизонтом
→	Перистые и перисто-слоистые или только перисто-слоистые, постепенно заполняющие небо, достигающие высоты в 45° над горизонтом, но не покрывающие небо полностью
→	Покров перисто-слоистых облаков, полностью скрывающий небо
→	Перисто-слоистые, не заполняющие постепенно небо и не скрывающие его полностью
→	Только перисто-слоистые или перисто-кучевые вместе с перистыми или перисто-слоистыми либо обоих типов, но перисто-кучевые преобладают

Высота облачности

Прежде высота облачности оценивалась наблюдателем визуально, без специальных приборов, что, разумеется, требовало значительного опыта для достижения даже невысокой точности. На некоторых метеорологических станциях имеется возможность выпустить шар-пилот и определить, когда он достигнет основания облака. Но чаще современные наблюдения осуществляются с помощью специального измерителя высоты облаков (иногда называемого облакомером). Такой прибор представляет собой лидар (от англ. Light Detecting and Ranging) — систему лазерного обнаружения предмета и измерения расстояния до него, основанную на измерении времени, за которое световая вспышка лазера достигает облака, отражается от него и возвращается к измерительному датчику. Такой метод позволяет определить высоту облаков со значительной точностью. Кодировка высот облаков разнится в зависимости от того, определена ли она на обитаемой или авто-

матической станции, для которых высота выражается соответственно в тысячах либо сотнях футов, как показано в соответствующих таблицах для обоих типов станций, см. пред. стр. (Напомним, 1 фут равен примерно 0,305 м. — Примеч. ред.)

На картах облачность, рассчитанная отдельно для низких облаков, выраженная в восьмых долях и записанная числом, располагается снизу от символа облаков нижнего яруса. За этим числом следует косая черта / и далее — код высоты облачности этого типа.

Видимость (VV)

Видимость может быть приблизительно оценена при определении, видны ли те или иные объекты, находящиеся на известном удалении от точки наблюдения (в ночное время соответственно выбираются светящиеся объекты, например маяки). Автоматические приборы измеряют падение интенсивности света на относительно коротком расстоянии, а затем пересчитывают полученный результат, приводя его к принятой шкале расстояний.

Наибольшее значение имеют условия, при которых видимость мала, поскольку именно они создают существенную угрозу для автотранспорта, судов, авиации. Поэтому для дистанций менее 5 км используется шкала более точная, а на больших расстояниях, вплоть до 70 км, даются более грубые оценки. На картах наносятся два десятичных знака, обозначающих видимость: при дальности менее 5 км они означают собственно дальность видимости, выраженную в десятых долях километра, десятичная точка в записи опускается. Коды от 51 до 55 не используются. В диапазоне от 5 до 30 км дистанция определяется с точностью до одного километра и к полученному числу прибавляется 50, чтобы получить соответствующий код. Так, 56 означает 6 км, а 80 — 30 км. Свыше 30 км шкала меняется с шагом в 5 км, так что 81 означает 35 км, а 88 — 70 км. Для больших расстояний, то есть превышающих 70 км, используется код 89. Все эти коды сведены в таблицы ниже, на картах код видимости отмечается красным или желтым цветом с левого края от символа метеорологической станции.

Текущая погода

Информация, обозначаемая кодом или символом «текущей погоды», охватывает широкий диапазон всевозможных погодных условий. Это, пожалуй, самый информативный из элементов, приводимых на картах, но, к сожалению, его часто опускают в почасовых метеосводках. Тем не менее это не мешает воссоздать в уме общую картину погоды, преобладающей в заданное время, что затем су-



▲ Дальность видимости обозначена кодом 82 (желтый шрифт), что соответствует расстоянию в 40 км

Коды для расстояний менее 5 км

Код	Дистанция (км)
00	< 0,0
01	0,1
02	0,2
.	.
.	.
.	.
50	5,0

Коды для расстояний свыше 5 км

Код	Дистанция (км)
56	6
57	7
58	8
.	.
.	.
.	.
80	30
81	35
82	40
.	.
.	.
.	.
88	70
89	> 70

щественно помогает понять, как она будет развиваться в дальнейшем. Система кодов может показаться сложной, поскольку покрывает сотню различных условий, которые, однако, могут быть разделены на несколько групп. Не старайтесь запомнить наизусть все приводимые ниже символы. Просмотрев несколько синоптических карт, вы поймете, какие из символов встречаются чаще всего, и постепенно они запомнятся сами, тогда как более редкие из них всегда можно отыскать в одном из списков ниже.

Коды		
Коды текущей погоды (WW) от 00 до 19: Никаких осадков, тумана (кроме кодов 11 и 12), пыльных или песчаных бурь, позёмки или низовой метели на станции не было ни во время наблюдения, ни (кроме кодов 09 и 17) в течение предыдущего часа		
Символ	Код	Описание
	00	Образование облаков не наблюдалось либо недоступно для наблюдения
	01	Облака рассеиваются или уменьшаются в размерах
	02	Состояние неба в целом неизменно
	03	Облачность в целом появляется или усиливается
☁	04	Видимость уменьшена из-за слабой дымки
	05	Дымка
S	06	Повсеместно пыль в воздухе, но не поднимаемая ветром на территории станции и вблизи нее во время наблюдения
\$/e	07	Пыль или песок поднимаются ветром на территории станции или вблизи нее во время наблюдения, при этом пыльные вихри или пыльная буря не наблюдаются; на море брызги переносятся ветром во время наблюдения
ℰ	08	Сформированные пыльные и песчаные вихри на территории станции или вблизи нее в момент наблюдения или в течение предшествующего часа, но нет ни пыльной, ни песчаной бури
(S)	09	Пыльная или песчаная буря в поле зрения в момент наблюдения либо на самой станции в течение предшествующего часа
=	10	Слабый туман
≡≡	11	Клочья неплотного тумана либо ледяной туман
≡≡	12	Более или менее сплошной неплотный туман либо ледяной туман менее чем в 2 м над сушей или 10 м над морем
⚡	13	Наблюдалась вспышка молнии, но гром не слышен
☺	14	Осадки в поле зрения, но не достигают поверхности суши или моря
)•(	15	Осадки в поле зрения, достигающие поверхности суши или моря, но отдаленные, то есть на расстоянии свыше 5 км от станции
(•)	16	Осадки в поле зрения, достигающие поверхности суши или моря, вблизи станции, но не на самой станции
⚡	17	Наблюдаются вспышки молнии и гром, но без осадков во время наблюдения
∇	18	Шквальный ветер на станции или в поле наблюдения

Символ	Код	Описание
)(	19	Воронка смерча, опускающаяся из облака, наблюдаемая на станции либо в поле наблюдения в течение предыдущего часа
Коды текущей погоды (WW) от 20 до 29: Осадки, туман, ледяной туман или гроза в течение предыдущего часа, но не в момент наблюдения		
☼	20	Морось (не переохлажденная) либо снежные частицы, не образующие снегопада
•☼	21	Дождь (не переохлажденный), не выпадающий в виде ливня
*	22	Снег, без сильного снегопада
☼*	23	Дождь, снег или снежная крупа, не образующие снегопада
~☼	24	Переохлажденная морось или переохлажденный дождь, не ливневый
☼	25	Ливневый дождь
☼*	26	Снегопад либо снегопад с мокрым снегом
☼	27	Выпадение града либо града с дождем
≡☼	28	Туман или ледяной туман
⚡☼	29	Гроза (с осадками или без)
Коды текущей погоды (WW) от 30 до 39: Пыльная или песчаная буря, позёмка, низовая метель		
☼	30	Слабая или умеренная пыльная или песчаная буря, ослабевшая за предыдущий час
☼	31	Слабая или умеренная пыльная или песчаная буря, без изменения силы за предыдущий час
☼	32	Слабая или умеренная пыльная или песчаная буря, начавшаяся или усилившаяся в течение предыдущего часа
☼	33	Сильная пыльная или песчаная буря, ослабевшая за предыдущий час
☼	34	Сильная пыльная или песчаная буря, без изменения силы за предыдущий час
☼	35	Сильная пыльная или песчаная буря, начавшаяся или усилившаяся в течение предыдущего часа
⇄	36	Слабая или умеренная низовая метель, в основном низкая (ниже уровня глаз)
⇄	37	Сильная низовая метель, в основном низкая (ниже уровня глаз)
⇄	38	Слабая или умеренная низовая метель, в основном высокая (выше уровня глаз)
⇄	39	Сильная низовая метель, в основном высокая (выше уровня глаз)
Коды текущей погоды (WW) от 40 до 49: Туман или ледяной туман во время наблюдения		
≡	40	Туман или ледяной туман на удалении от станции во время наблюдения, но не на самой станции в течение прошедшего часа; туман или ледяной туман простирается до уровня выше головы наблюдателя

Символ	Код	Описание
--	41	Клочья тумана или ледяного тумана
≡	42	Туман или ледяной туман, сквозь который видно небо; слой тумана истончался в течение прошедшего часа
≡	43	Туман или ледяной туман, сквозь который неба не видно; слой тумана истончался в течение прошедшего часа
≡	44	Туман или ледяной туман, сквозь который видно небо; толщина слоя тумана не менялась за прошедший час
≡	45	Туман или ледяной туман, сквозь который неба не видно; толщина слоя тумана не менялась за прошедший час
≡	46	Туман или ледяной туман, сквозь который видно небо; слой тумана появился или утолщался в течение прошедшего часа
≡	47	Туман или ледяной туман, сквозь который неба не видно; слой тумана появился или утолщался в течение прошедшего часа
≡	48	Туман или ледяной туман, сквозь который видно небо
≡	49	Туман или ледяной туман, сквозь который неба не видно

Коды текущей погоды (WW) от 50 до 59: Морось

,	50	Морось не переохлажденная, с перерывами — слабая на момент наблюдения
,,	51	Морось не переохлажденная, непрерывная — слабая на момент наблюдения
;	52	Морось не переохлажденная, с перерывами — умеренная на момент наблюдения
,;	53	Морось не переохлажденная, непрерывная — умеренная на момент наблюдения
;	54	Морось не переохлажденная, с перерывами — сильная на момент наблюдения
,;	55	Морось не переохлажденная, непрерывная — сильная на момент наблюдения
~	56	Слабая переохлажденная морось
~	57	Умеренная или сильная переохлажденная морось
;	58	Слабая морось с дождем
;	59	Умеренная или сильная морось и дождь

Коды текущей погоды (WW) от 60 до 69: Дождь

•	60	Дождь не переохлажденный, с перерывами — слабый на момент наблюдения
••	61	Дождь не переохлажденный, непрерывный — слабый на момент наблюдения

Символ	Код	Описание
•	62	Дождь не переохлажденный, с перерывами — умеренный на момент наблюдения
••	63	Дождь не переохлажденный, непрерывный — умеренный на момент наблюдения
••	64	Дождь не переохлажденный, с перерывами — сильный на момент наблюдения
••	65	Дождь не переохлажденный, непрерывный — сильный на момент наблюдения
~	66	Слабый переохлажденный дождь
~	67	Умеренный или сильный переохлажденный дождь
•*	68	Легкие дождь или морось со снегом
•*	69	Умеренные или сильные дождь или морось со снегом

Коды текущей погоды (WW) от 70 до 79: Твердые осадки

*	70	Слабое на момент наблюдения выпадение снега в виде снежинок, с перерывами
* *	71	Слабое на момент наблюдения выпадение снега в виде снежинок, непрерывное
* *	72	Умеренное на момент наблюдения выпадение снега в виде снежинок, с перерывами
* *	73	Умеренное на момент наблюдения выпадение снега в виде снежинок, непрерывное
* *	74	Сильное на момент наблюдения выпадение снега в виде снежинок, с перерывами
* *	75	Сильное на момент наблюдения выпадение снега в виде снежинок, непрерывное
↔	76	Ледяные иглы («алмазная пыль») — с туманом или без него
△	77	Снежные зерна — с туманом или без него
✕	78	Отдельные звездообразные кристаллики — с туманом или без него
△	79	Снежная крупа

Коды текущей погоды (WW) от 80 до 90: Ливневые осадки либо осадки во время грозы — текущей либо прошедшей

•	80	Ливневый дождь незначительной силы
•	81	Ливневый дождь, умеренный или сильный
•	82	Ливневый дождь, чрезвычайно сильный
•	83	Ливень из дождя и снега незначительной силы
•	84	Ливень из дождя и снега, умеренный или сильный

Символ	Код	Описание
	85	Снегопад незначительной силы
	86	Умеренный или сильный снегопад
	87	Слабый снегопад снежной крупы или мелкого града, в сопровождении дождя или без него, либо с мокрым снегом
	88	Умеренный или сильный снегопад снежной крупы или мелкого града, в сопровождении дождя или без него, либо с мокрым снегом
	89	Незначительной силы выпадение града, с дождем либо без него, либо с мокрым снегом, без грозы
	90	Умеренное или сильное выпадение града, с дождем либо без него, либо с мокрым снегом, без грозы

Коды текущей погоды (WW) от 91 до 94: Гроза, бывшая в течение предшествовавшего часа, но закончившаяся к моменту наблюдения

	91	Незначительный дождь во время наблюдения
	92	Умеренный или сильный дождь во время наблюдения
	93	Незначительные снег, либо мокрый снег, либо град во время наблюдения
	94	Умеренные или сильные снег, либо мокрый снег, либо град во время наблюдения

Коды текущей погоды (WW) от 95 до 99: Гроза во время наблюдения

	95	Гроза незначительная или умеренной силы, без града, но с дождем и/или снегом во время наблюдения
	96	Гроза незначительная или умеренной силы, с градом во время наблюдения
	97	Сильная гроза без града, но с дождем и/или снегом во время наблюдения
	98	Гроза, сочетающаяся с пыльной или песчаной бурей во время наблюдения
	99	Сильная гроза с градом во время наблюдения

Текущая погода: ▼
ливневые дожди
в течение
предшествующего часа,
но не в момент
наблюдения

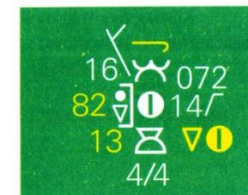


Погода между сроками наблюдений

Погода между сроками наблюдений, или прошедшая погода, относящаяся ко времени, истекшему с момента предыдущего наблюдения, передается с помощью упрощенной системы символов, используемых для обозначения погоды текущей. Соответствующие символы размещают справа внизу от символа станции и используют для этого красный или желтый цвет.

Прошедшая погода

	Облачность закрывала небо не более чем на 1/2 за весь прошедший период
	В течение части прошедшего времени облака закрывали небо не более чем на 1/2, а в течение другой части — свыше 1/2 небесного свода
	Облачность закрывала небо более чем на 3/4 за весь прошедший период
	Песчаная или пыльная буря или метель — видимость менее 1000 м
	Туман или плотная дымка — видимость менее 1000 м
	Морось
	Дождь
	Снег или мокрый снег
	Ливень
	Гроза, с осадками или без них



▲ Прошедшая погода с момента последнего наблюдения: ливневые дожди, более половины площади неба было покрыто облаками

Прочие наблюдения

На обслуживаемых метеостанциях выполняются и многие другие наблюдения, периодичность которых может варьироваться от ежедневной до ежемесячной. Такие измерения не используются для прогнозирования погоды и потому не отображаются на синоптических картах, но могут быть необходимы для климатологических исследований или для проверки некоторых типов прогнозов (например, по количеству выпавших осадков). К таким наблюдениям относятся, например, измерение температуры почвы (на разных глубинах), интенсивности испарения, количества осадков, продолжительности солнечного сияния в течение дня и интенсивности солнечного излучения. Перечисленные параметры представляют существенный интерес и будут сейчас описаны подробнее.

Количество осадков

Знание о количестве дождевых осадков имеет принципиальное значение, но точное измерение этой величины оказывается одной из наиболее трудных задач среди всех метеорологических наблюдений. Дождемер, как правило, представляет собой металлический цилиндр с острым верхним краем строго определенного диаметра (обычно 127 мм), так что сечение отверстия всегда точно известно. Ниже отверстия сосуду придана воронкообразная форма, и он сужается в узкий канал, что уменьшает испарение. Через него вода отводится затем в подходящий объема приемный сосуд. Раз в сутки собранная вода сливается в измерительный цилиндр, и считается высота водяного столба с точностью до 0,1 мм.

Как было показано выше, термин «осадки» применяется не только к дождю, но и к мороси, снегу и граду (а также к другим, более редким формам атмосферного льда). В случае выпадения твердых осадков их растапливают, измеряют объем воды и регистрируют как эквивалентное количество осадков. В местностях, где часты обильные снегопады, используют дождемеры больших размеров.

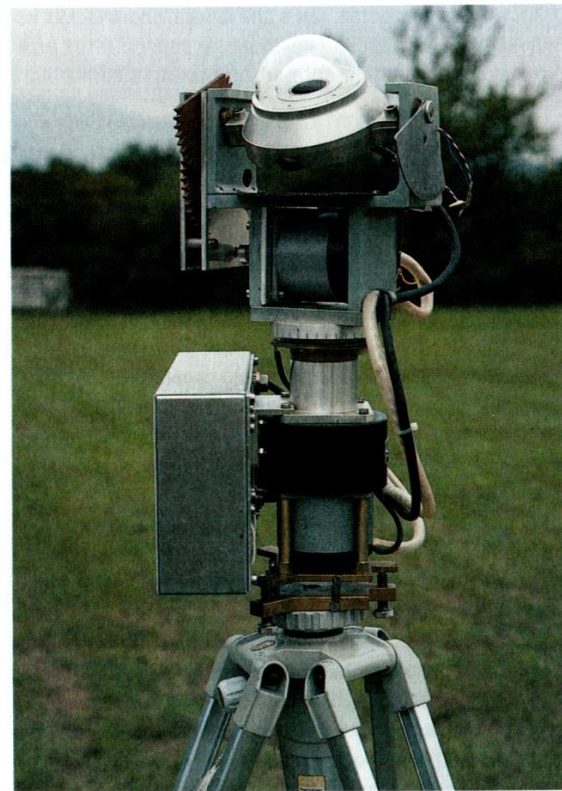
Многие метеостанции снабжаются также дождемерами с самописцем, который осуществляет непрерывную регистрацию количества выпавших осадков, что особенно ценно, позволяя выяснить время, за которое выпадают осадки в течение дня, и пропорциональное их количество. Такие дождемеры имеют чаще всего конструкцию с парой опрокидывающихся сосудов, где вода наполняет одну из двух таких емкостей, закрепленных на общей оси. Когда она наполняется, качающийся механизм переворачивает эту пару, опорожняя наполненный сосуд и подставляя под водную струю другой, бывший до этого пустым. Каждое такое опрокидывание регистрируется. В старых конструкциях использовалась диаграммная лента, на которой результат измерения фиксировался примерно так же, как в конструкции барографа, но большинство современных приборов используют электронные способы регистрации. Вся вода из опрокидывающихся сосудов собирается в большую емкость, чтобы можно было сверить сумму показаний регистрирующего механизма с общим количеством осадков за сутки.

Одним из затруднений, связанным с использованием дождемеров, является попадание в них брызг, летящих с земли. Для обеспечения точности прибор устанавливается таким образом, чтобы его отверстие находилось на стандартной высоте в 30,5 см над окружающей поверхностью, состояние которой также жестко регламентировано. Кроме того, дождемер должен находиться вдали от любых деревьев, кустарников или зданий, которые могут создавать завихрения воздуха и приводить к ошибочным результатам. На открытых участках дождемеры часто окружают круговой защитной насыпью на некотором отдалении, причем ее внутреннюю стенку делают вертикальной. Ее диаметр и наклон внешней стенки также строго регламентированы во избежание погрешностей измерений.

Длительность солнечного сияния и интенсивность солнечного излучения

Традиционным инструментом для регистрации положения солнца на небосводе признан прибор Кемпбелла-Стокса, представляющий собой стеклянный шар, фокусирующий солнечные лучи на специально подготовленной пластине.

Стандартный медный ▼ дождемер. Видны тонко выточенный латунный обод на верхнем крае сосуда и коротко подстриженная трава вокруг

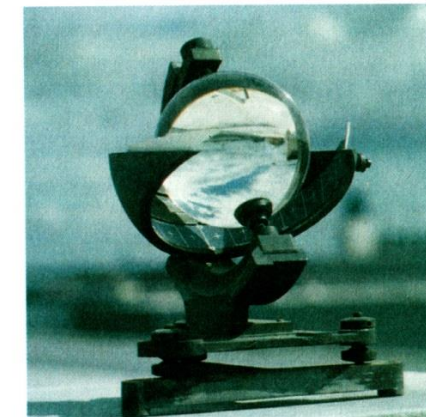


◀ Электронный соляриметр записывает длительность и интенсивность солнечного сияния

▼ Прибор Кемпбелла-Стокса. Чтобы учесть меняющуюся в течение года высоту солнца над горизонтом, используются три типа особых чувствительных пластинок — каждый для своего времени года

На ней солнце прожигает след, и после захода солнца пластина вынимается и заменяется на новую. Затем длина прожженного следа измеряется и пересчитывается в число часов солнечного сияния. И хотя получаемые таким образом результаты иногда бывает довольно сложно интерпретировать, этот метод применялся в течение многих лет, и его ограничения хорошо изучены. В последние годы разрабатываются разнообразные электронные устройства, которые, по всей видимости, войдут в более широкое употребление в будущем. Сегодня приходится корректировать показания таких приборов для приведения их в соответствие со схемой Кемпбелла-Стокса.

Другое устройство, все шире входящее в употребление, — электронный соляриметр. С его помощью измеряется интенсивность солнечного излучения, что особенно важно как для сельского





Типичная конструкция ▲ ручного метеорологического измерительного прибора, отображающего на дисплее значение атмосферного давления и барической тенденции. Подобные устройства могут не только содержать анемометр, но и отображать температуру, влажность, точку росы, охлаждение ветром и высоту над уровнем моря

хозяйства и садоводства, так и для климатологических исследований. Очевидно, по показаниям соляриметра можно прямо определить и продолжительность солнечного сияния в течение дня.

Измерительные приборы для метеорологов-любителей

Для любителей, служащих внештатными наблюдателями и передающих свои результаты национальным метеорологическим службам, требуются стандартные типы приборов, оборудования для проведения наблюдений и т. п. — по существу, такие же, что и описывались выше. Такие метеорологические посты, как правило, регулярно проверяются на предмет удовлетворительного состояния измерительной аппаратуры и правильного ее размещения, а также соответствия получаемых результатов наблюдений данным официальных обитаемых и автоматических станций.

В последние годы, впрочем, в продаже появились разнообразные и сравнительно недорогие электронные устройства, многие из которых могут быть подключены к компьютеру для автоматической записи показаний через регулярные интервалы времени. Без заметных усилий таким образом получают записи, напоминающие диаграммы барографов, термографов и подобных им приборов (пример графика изменения давления со временем при прохождении циклона приведен на стр. 178). Многие подобные «неофициальные» отчеты о проведенных наблюдениях стали доступны благодаря Интернету.

Хотя доступные электронные приборы, как правило, весьма точны, существенное затруднение вызывает их правильная установка и расположение при выполнении наблюдений. Например, если датчик температуры не установить в стандартной жалюзийной будке с естественной вентиляцией, то измеренные значения будут заметно искажаться в зависимости от направления ветра и теплового излучения окружающих предметов. Поэтому даже если прибор с совершенной точностью регистрирует температуру воздуха, его влажность (точку росы), максимальные и минимальные температуры, атмосферное давление и т. д., то это еще не означает, что полученный результат будет близок к данным профессиональных метеорологов. Особенно велики ошибки измерений направления и силы ветра, количества выпавших осадков и продолжительности солнечного сияния. Лишь немногие любители имеют возможность установить десятиметровую мачту для крепления анемометра и флюгарки, и им приходится монтировать их где-либо на крыше или вблизи нее, где показания сильно искажаются при турбулентном движении воздуха и сама

погрешность сильно зависит от направления ветра. Подобным образом могут искажаться показания и дождемеров или соляриметров, и о них надлежит помнить при планировании наблюдений в течение длительного срока, равно как и при сравнении результатов своих наблюдений с данными близлежащих метеорологических станций.

С недавних пор стали распространяться устройства, помещающиеся в руке наблюдателя и использующиеся для различных работ на открытом воздухе. Так, например, портативные анемометры уже несколько лет используются при плавании на маломерных судах. Многие современные приборы содержат встроенный анемометр с мельничкой («пропеллером»), позволяющий дать значение скорости ветра, что будет полезно, если не забывать об ограничениях, накладываемых их конструкцией. Некоторые из них отображают даже полный спектр параметров погоды, включая температуру воздуха, точку росы, относительную влажность, атмосферное давление, высоту над уровнем моря, степень охлаждения ветром и его скорость.

▼ Правильная установка анемометров и флюгеров составляет определенные затруднения для любителей. Даже если на пути ветра анемометр встретится раньше, чем крыша дома, все равно сильная турбулентность приведет к получению искаженных результатов



MetMaps

В Великобритании Королевская ассоциация парусного спорта и Королевское метеорологическое общество готовят основные типы карт территории вокруг Британских островов и публикуют их — под названием MetMaps — в Интернете (по адресу: <http://www.metmets.org/faq.php> и далее см. размещенные там ссылки). На картах приводятся очертания береговой линии, названия морей и заливов, расположение береговых метеостанций. Поскольку все карты имеют фиксированный масштаб и используют стандартные бланки, зная интервал между последующими наблюдениями, можно оценить силу ветра и скорость движения атмосферных фронтов — то есть всю информацию, особенно необходимую для вождения малых судов. И наоборот: знание величины и направления градиентов давления помогает приготовить верную синоптическую карту.

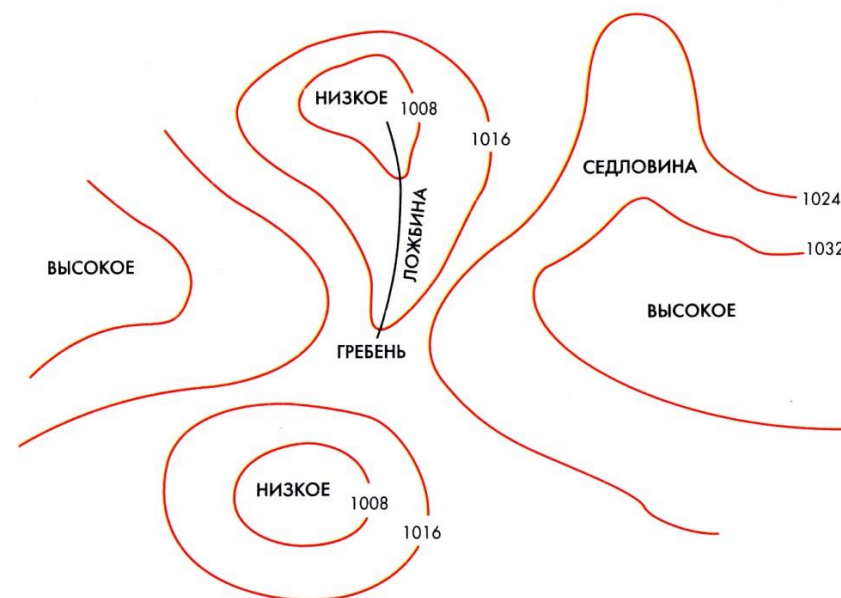
Синоптические карты

Среди разнообразия метеорологических карт наиболее информативны карты синоптические, на которых отображаются значения давления в различных точках в заданный момент наблюдения, а также расположение фронтальных систем. Последние, впрочем, определяются, собственно, по совокупности данных об атмосферном давлении, приходящих с разных метеостанций. Например, по информации, передаваемой в метеопрогнозах для судовождения, можно построить целиком свою собственную синоптическую карту. Хотя в этой книге мы не дадим подробного руководства, но такой навык составления карт чрезвычайно полезен для моряков, особенно оказывающихся в ситуации, когда нет возможности получить синоптическую карту от наземных метеослужб, но сохраняется прием радиовещания.

Другой вид — изобарические карты, отображающие распределение атмосферного давления на значительной высоте, а не над Землей, как это принято для синоптических карт. Для получения исходных данных пользуются наблюдениями, выполняемыми атмосферными радиозондами, метеорологическими спутниками, сведениями, поступающими с бортов самолетов.

Спутниковые снимки часто показывают в телевизионных прогнозах погоды, также доступны они из многих источников в Интернете. Однако на таких изображениях видны преимущественно такие крупные системы, как циклонические области, в то время как различные малые подробности на них не просматриваются, в отличие от четких контуров построений на синоптических картах. Попутно заметим, что черно-белые спутниковые фотографии, полученные в одном узком спектральном канале, гораздо проще интерпретировать, чем более эффектные цветные изображения, воссозданные по данным из нескольких спектральных каналов.

В последние годы, к сожалению, в телевизионных прогнозах погоды все реже стали демонстрироваться карты с нанесенными изобарами, которые, по мнению редакторов программ, слишком сложны для понимания широкой аудитории. Однако, если все же удастся увидеть в эфире такую карту, полезнее не обращать внимания на комментарии диктора и сконцентрироваться на ней, чтобы зрительно запомнить картину изобар и взаимного расположения фронтов. Возможно, это не даст полной информации о дальнейшем развитии погоды, зато снабдит рядом других немаловажных сведений. Также весьма информативны и подлинные спутниковые фотографии (или серии снимков).



Вспомним, что мы видели выше (стр. 72), как замкнутые линии изобар выстраиваются вокруг областей высокого и низкого давления. Эти области обозначают, соответственно, буквами В и Н и иногда дополняют цифрой, обозначающей давление в центре. В зависимости от того, какая метеослужба подготовила карту, интервал между соседними изобарами составляет, как правило, 4 или 5 гПа (мбар). В отдельных случаях может быть и шаг в 2 или 8 гПа, но тогда на соседних или перемежающихся изобарах отмечается цифрами абсолютное значение давления на уровне моря.

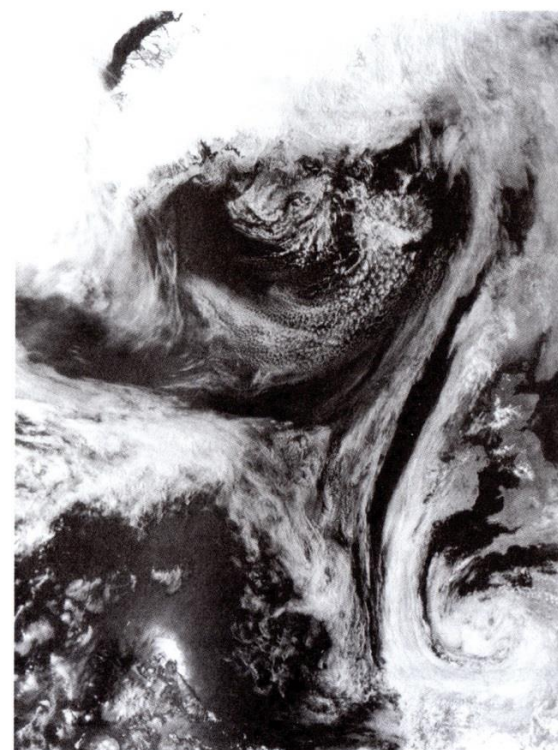
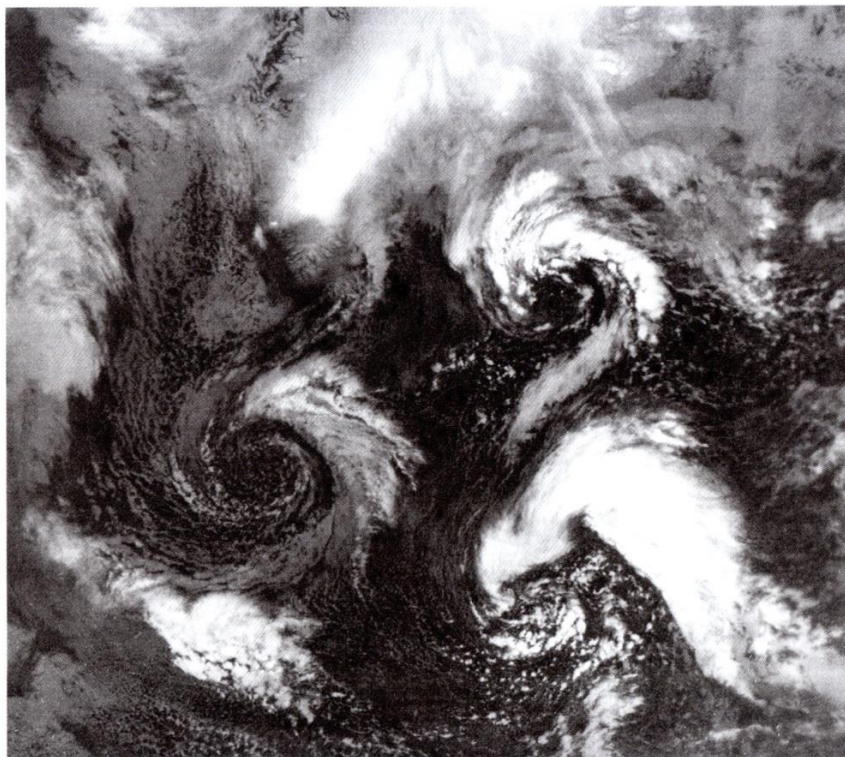
Области высокого давления простираются в виде своеобразных гребней, на которых изобары имеют большую кривизну и ориентированы вогнутой частью к центру антициклона. Области низкого давления, напротив, имеют вид ложбины, вдоль которых изобары также изогнуты сильнее и тоже ориентированы к центру — только уже циклона. Ложбины сопутствуют как теплым, так и холодным фронтам, но и нефронтальные ложбины часто можно встретить в области циркуляции циклонов. На картах изобар, где отмечаются фронтальные системы, часто обозначают и особенно активные нефронтальные ложбины с помощью непрерывной черной линии. Обычно в таких областях скорость ветра заметно выше (изобары лежат плотнее друг к другу), наблюдаются повышенная облачность и осадки.

▲ Основные элементы, отображаемые на картах изобар

В холодных (как правило, полярных) воздушных массах активная нефронтальная ложбина может превратиться в выраженную линию неустойчивости или линию шквальных ветров, где идет интенсивное образование кучево-дождевых облаков или грозовых систем. Подобная линия, простирающаяся от центра циклона и входящая в зону циркуляции полярного воздуха со стороны полюса или с запада, может иногда образовать вторичный циклон меньшего размера, со своей собственной замкнутой циркуляцией и областями выпадения осадков. Такие циклоны можно легко отличить от вторичных циклонов, развивающихся вдоль основного полярного фронта (стр. 13).

Другая особенность, встречающаяся на синоптических картах, — так называемая седловина — область слабо меняющегося давления, лежащая между парой антициклонов и парой циклонов. Седловина всегда отчетливо просматривается на синоптических картах, но на спутниковых снимках с ней не связано никаких особенностей облачности, в отличие от циклонов, всегда сопровождаемых облаками, выстраивающимися в форме запятой, по которым легко обнаружить циклон, даже если он только не-

Два небольших циклона ▼ с полярным воздухом и со своими облачными системами и замкнутой циркуляцией, образовавшиеся из сравнительно слабого первичного циклона

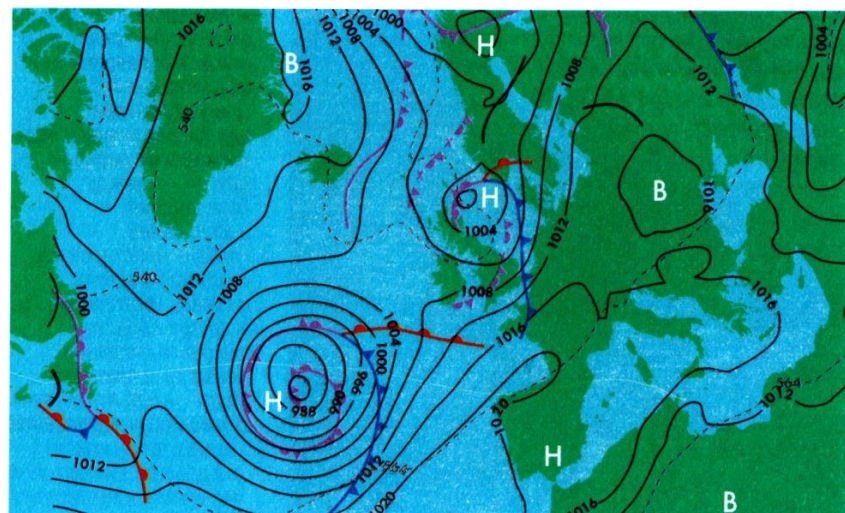


◀ Невидимая на фотографии седловина лежит к северо-западу от Шотландии. Один из центров циклона находится над Бискайским заливом, другой — между Гренландией и Исландией. Гребень простирается от северо-востока к северу Шотландии, и другая область высокого давления лежит за пределами кадра — над Атлантикой в западном направлении

давно начал формироваться. Седловина может существовать в течение ограниченного времени, когда сохраняется равновесие между двумя парами центров высокого и низкого давления, и потому всякое изменение их взаимного расположения может приводить к резким перемещениям седловины или даже полному ее исчезновению.

Ветры и их скорости

Как уже описывалось, циркуляция ветра вокруг области высокого давления (антициклона) направлена по часовой стрелке, а вокруг области низкого давления (циклона) — против; это справедливо для Северного полушария, тогда как в Южном направления меняются на противоположные. Приповерхностные ветры будут дуть под углом к линиям изобар, поворачиваясь к центру области низкого давления и от центра — к области высокого давления. Чем плотнее друг к другу расположены изобары, тем сильнее ветер. В целом, однако, ветры антициклонов оказываются несколько сильнее, чем это можно заключить, судя по густоте линий изобар. В холодном воздухе плотность изобар довольно точно отвечает средней силе ветра, но в действительности он



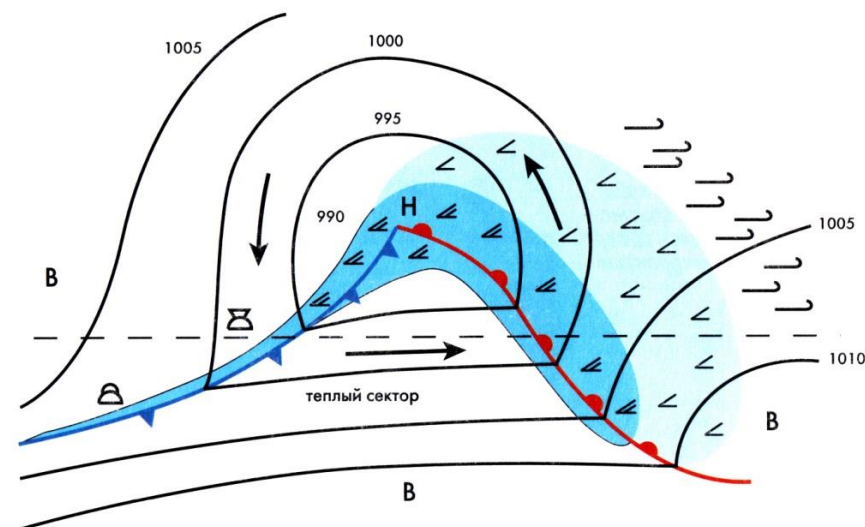
Типичная ▲
синоптическая карта.
Виден сильный циклон
с фронтом окклюзии
в центре Атлантики.
Далее к востоку лежит
еще один циклон
с развивающимся
фронтом окклюзии над
югом Англии.
Значение красных
штриховых линий
объясняется ниже
(см. стр. 169)

дует с очень сильными порывами (это происходит ввиду большой неустойчивости воздуха, когда перемешиваются приповерхностные и вышележащие слои атмосферы и воздух, движущийся на большой высоте и с большой скоростью, опускается к поверхности земли). В теплом воздухе, напротив, ветры оказываются довольно устойчивыми и менее сильными, чем этого можно ожидать.

Циклоны

Хотя антициклоны всегда четко видны на синоптических картах, так как они приносят с собой вполне тихую погоду, но из картины распределения давления может быть извлечено немного полезной информации, разумеется, за исключением возможной оценки скорости ветра, как это было только что описано. Если имеется последовательность синоптических карт, то по ним уже можно предположить, как антициклон может двигаться в течение нескольких следующих дней. В противном случае, когда дополнительной информации не имеется, кроме сведений о циркуляции ветра в антициклоне, можно судить лишь о том, к северу или к югу отклонится от него какой-нибудь из приближающихся циклонов.

В отношении циклонов, однако, синоптические карты дают заметно больше существенных сведений. О значении теплых и холодных фронтов, фронтов окклюзии и сопровождающих их перемен погоды уже подробно говорилось выше (стр. 72–81). Некоторые из официальных синоптических карт, например составляемые Метеорологической службой Великобритании, включают символы увеличения



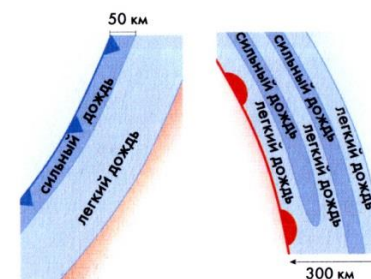
или падения интенсивности атмосферного фронта. Оценить скорость движения фронта бывает обычно затруднительно (если карты не составляются в одном масштабе, как в случае описанных выше MetMaps, см. врезку на с. 162). Но общая закономерность такова, что холодные фронты и фронты окклюзии движутся быстрее теплых фронтов (по этой именно причине холодный фронт нагоняет теплый и, поднимая от поверхности земли теплый воздух, создает окклюзию). С высотой ветер всегда поворачивает по часовой стрелке относительно градиента в Северном полушарии и против часовой стрелки — в Южном.

Важная информация о вероятном движении центра циклона может быть получена при анализе изобар внутри теплового сектора. Нелишне напомнить, что геострофический ветер (то есть дующий на такой высоте над Землей, где на него не влияет поверхностное трение) направлен строго параллельно линиям изобар; поэтому, если известен масштаб карты, всегда можно определить параметры геострофического ветра по интервалам между изобарами. Как эмпирическое правило можно принять, что центр циклона движется приблизительно параллельно линиям изобар в теплом секторе и со скоростью, примерно равной скорости геострофического ветра. Если на линии

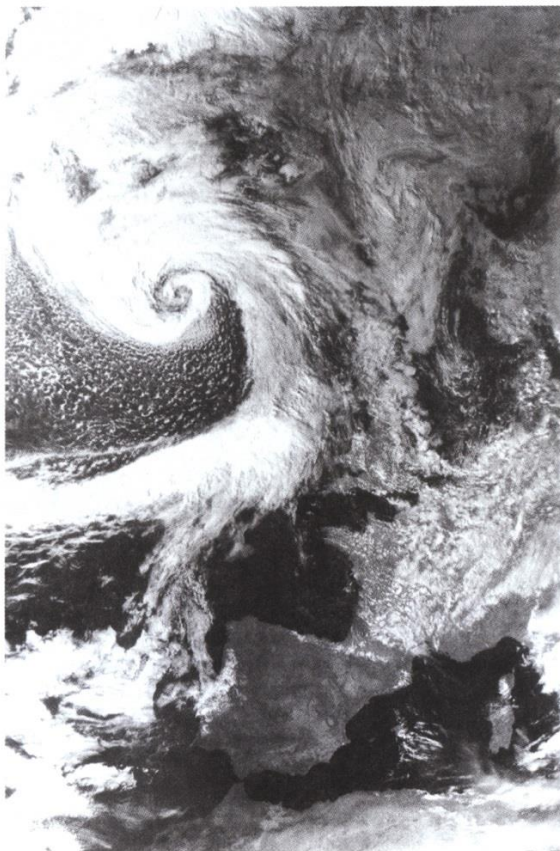
▲ Идеализированная
схема циклона
(депрессии).
Отмечено характерное
распределение типов
облаков и областей
выпадения осадков.
Стрелками отмечено
направление
геострофического ветра

- Облака:
- перистые
 - < тонкие высокослоистые
 - << толстые высокослоистые и слоисто-дождевые
 - ⊗ кучево-дождевые
 - ⊕ кучевые мощные

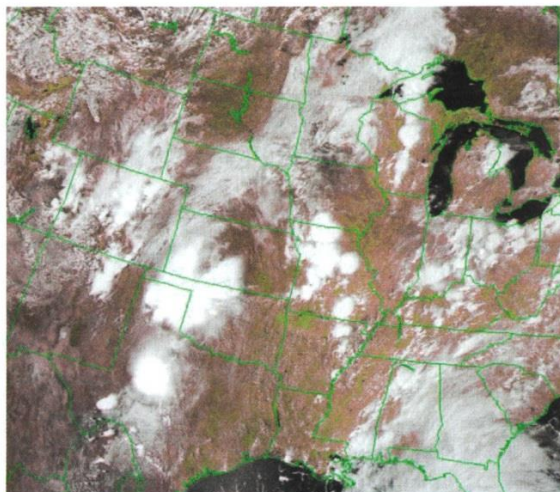
◀ Схема областей
выпадения осадков
у теплого (справа)
и холодного (слева)
фронтов



Хорошо видны ►
характерные крапинки
на поверхности
ливневых облаков
в области морского
полярного воздуха;
хуже просматривается
полоса ясного неба,
обычно
располагающаяся сразу
за холодным фронтом



Большие скопления ►
кучево-дождевых
облаков и мощных
грозовых систем
(суперъячеек) над
территорией США.
Огромная суперъячейка
покрывает части штатов
Техас, Оклахома
и Канзас

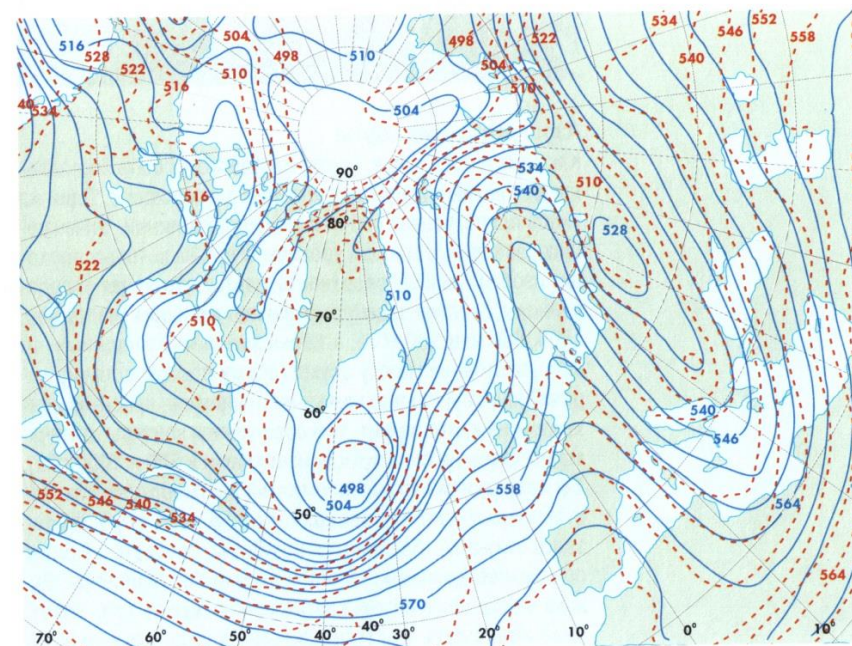


холодного фронта, следующего за первичным циклоном, образуется вторичный (стр. 73), то два циклонических центра придут во вращение друг относительно друга против часовой стрелки (в Северном полушарии), изменяя ожидаемый характер движения первичного центра.

Облака и осадки

Общая картина облачного покрова и вероятность выпадения осадков могут быть довольно четко выявлены из общего поведения большинства циклонов. Обычно перед теплым фронтом мы наблюдаем попеременно меняющиеся полосы более сильного и более слабого дождя (стр. 75), тогда как у холодного фронта одна полоса умеренного дождя сменяется более узкой полосой дождя более сильного. Несмотря на то что общую облачность можно определить по спутниковым снимкам, точный тип облаков узнать по ним очень трудно. Впрочем, частота и сила ливней конвективного происхождения позади фронта могут быть оценены без больших затруднений. Подобным образом и скопления кучево-дождевых облаков, включая грозовые системы (стр. 88), не видны непосредственно на синоптических картах, хотя, впрочем, может быть отображена связанная с ними ложбина. С другой стороны, такие объекты всегда хорошо просматриваются на спутниковых снимках.

▼ Высоты
изобарической
поверхности в 1000 гПа
(сплошные синие линии)
и толщина слоя между
поверхностями в 1000
и 500 гПа (красные
штриховые линии)



Перистые облака ► в струйном течении накрывают теплый фронт циклона (депрессии). Пройденный ими путь мог лежать вдоль линии холодного фронта



Аэрологические карты

Как отмечалось выше, карты изобар могут быть составлены для разных высотных уровней в атмосфере. Один из типов представляет собой совокупность линий, отмечающих равные высоты над уровнем моря, на которых проходит изобарическая поверхность, соответствующая определенному, заранее заданному уровню давления (например, 1000, 500 или 300 гПа), а также значения «толщины», то есть расстояние между двумя такими поверхностями, выраженное обычно в декаметрах (например, красным пунктиром на карте на стр. 166 обозначены контуры, отвечающие толщине слоя между изобарами в 500 и 1000 гПа). Так получают карты, напоминающие синоптические, составляемые для приповерхностного слоя атмосферы; здесь также отображаются ложбины, соответствующие понижению давления, гребни и барические градиенты. Однако на аэрологических картах можно, кроме того, отчетливо наблюдать местоположение и силу струйных те-

чений и, вообще говоря, распределение главных ответвлений теплого и холодного воздуха вдоль полярного фронта и подобных ему пограничных областей.

Контуры толщины слоя между изобарическими поверхностями прямо отражают температуру соответствующего слоя атмосферы. Поскольку теплый воздух расширяется, то и слой теплого воздуха будет толще, чем аналогичная область с холодным воздухом. Например, на карте, приведенной на стр. 169, сплошными линиями отмечены высоты над усредненным уровнем моря изобарической поверхности в 1000 гПа, тогда как красные штриховые кривые отвечают толщине слоя между изобарическими поверхностями в 1000 и 500 гПа. Самый холодный воздух располагается над севером полуострова Лабрадор в Канаде и над территорией Финляндии, где толщина слоя между изобарическими плоскостями составляет 510 дам (декаметров). Самый теплый воздух находится, как можно ожидать, южнее, и значение в 552 дам составляет максимум среди помеченных числовыми значениями контуров. Это различие между параметрами теплого воздуха на юге и холодного на севере создает заметный градиент давления, сопровождающийся полосой сильных ветров, проходящих над Атлантикой, а затем и над Скандинавией. Сила воздушного потока над Атлантическим океаном настолько велика, что его можно классифицировать как струйное течение.

На спутниковых снимках, сделанных в одном узком спектральном диапазоне, струйные течения обнаружить часто бывает затруднительно ввиду того, что сопровождающие их перистые облака слишком тонки и едва заметны. Чтобы разрешить эту трудность, можно применить метод оценки температуры вершин облаков, сравнивая спутниковые снимки одного и того же вида Земли, сделанные в разных спектральных диапазонах. Однако наиболее достоверны, разумеется, прямые наблюдения скорости ветра на соответствующих высотах.

Профессиональные прогнозы погоды

Все разнообразие данных проведенных наблюдений поступает от метеорологических станций во всемирную систему телесвязи, принадлежащую Международной метеорологической организации. Все сведения постепенно собираются вместе и направляются по «главной магистрали», берущей начало в Вашингтоне в США, проходящей через Эксетер в Англии и Оффенбах в Германии и заканчивающейся в австралийском Мельбурне. Все национальные и региональные метеослужбы так или иначе связаны с этим главным путем.

Отдаленное представление об объеме информации, обрабатываемой ежедневно и используемой для составления разнообразных прогнозов, может быть получено из нижеследующей сводки наблюдений, подлежащей учету типичным национальным метеорологическим центром:

- свыше 40 000 отчетов от обслуживаемых наземных станций традиционного типа
- около 7000 отчетов от свободно дрейфующих и закрепленных океанических буев
- примерно 10 000 отчетов с морских судов
- свыше 30 000 отчетов с воздушных судов
- около 1200 сводок о температуре, влажности и давлении, доставляемых атмосферными радиозондами
- около 700 отчетов о ветровой обстановке по результатам запусков шаров-пилотов
- примерно 140 000 значений температуры и влажности, получаемых с полярно-орбитальных спутников
- около 8500 сообщений о силе и направлении ветров, доставляемых геостационарными спутниками
- более 1 000 000 спутниковых наблюдений, позволяющих определить скорость и направление ветра над поверхностью морей и океанов
- примерно 600 отчетов о скорости и направлении ветров от специальных измерителей профиля ветра на территории США

Это изображение ► было получено спутником *Meteosat* в спектральном канале, соответствующем полосе поглощения паров воды. Более темным областям отвечает наименьшая влажность. Такие изображения очень полезны для составления прогнозов погоды и отслеживания барических систем



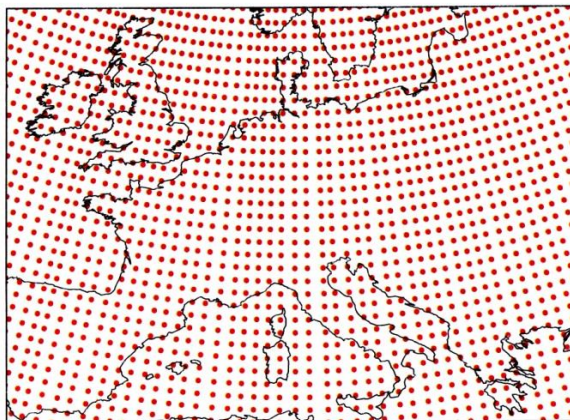
Последний источник метеорологических наблюдений не описывался выше: это устройство состоит из специальной радарной установки, настроенной таким образом, чтобы измерять параметры атмосферы непосредственно над станцией. Измерение доплеровского смещения частоты отраженного сигнала позволяет определить направление ветра и его силу на разных высотных уровнях. Некоторые из таких установок снабжены также микроволновыми измерительными приемниками, позволяющими построить высотные профили температуры и влажности атмосферы.

Все крупные метеорологические центры на сегодняшний день используют методы численного прогнозирования погоды, иными словами, будущее состояние погоды вычисляется с помощью компьютеров. К этой работе привлечены некоторые из самых быстрых и сложных суперкомпьютеров в мире. В основе своей метод заключается в решении систем математических уравнений, дающих зависимости изменения таких параметров, как атмосферное давление, температура, влажность, скорость и направление ветра, в течение заданного промежутка времени и согласно заданной модели атмосферы. Расчеты обычно выполняются дискретными шагами, соответствующими состоянию атмосферы через каждые следующие 15 минут. Такие шаги повторяются до тех пор, пока не будет достигнут заданный временной интервал. Для разных прогнозов этот период может составлять от нескольких часов до нескольких дней.

По вычисленным данным строятся синоптические отчеты, представляющие собой множество значений прогнозируемых параметров атмосферы, рассчитанных для регулярной сетки точек на поверхности всей Земли, а также на разных высотных уровнях над ее поверхностью. В качестве примера можно привести методику, принятую Европейским центром прогноза погоды, расположенным в английском городе Рединг (этот международный центр непосредственно поддерживают 18 европейских стран и еще десять работают в рамках соглашений о взаимном сотрудничестве). Глобальная модель атмосферы, применяемая Центром в расчетах, использует координатную сетку с размером ячейки 25 км и с 62 уровнями высоты; по ней формируются прогнозы на трех- и десятидневный сроки. Для прогнозов на 21 день применяется более грубая сетка, с ячейкой в 80 км; она же используется и для усредненных прогнозов (англ. *ensemble forecast*) на 10 дней. Глобальные прогнозы волнения в океанах (на срок до 10 дней) выполняются на сетке в 55 км, а прогнозы на срок до пяти дней для водных бассейнов Европы рассчитываются на более мелких ячейках — в 27 км.

Упомянутые усредненные прогнозы составляются с использованием одного примечательного метода, основанного на математической теории хаоса. Но сразу нужно оговориться, что широко распространенное представление о теории хаоса далеко от истинного положения дел. Часто говорят, что малозначительные на первый взгляд события могут приводить к большим последствиям, что обычно называют «эффектом бабочки», подразумевая под этим, что взмах крылышек бабочки в Бразилии может привести к торнадо в Техасе. В сущности, малый эффект действительно иногда может приводить к более значительным последствиям. Но теория хаоса предполагает нечто иное: существуют принципиальные ограничения, налагаемые на точность наблюдений атмосферы, на область определения используемых уравнений и на точность машинного счета. В итоге всякое предсказание поведения погоды (как и любой другой подобной системы) всегда будет неточным в той или иной степени. Может показаться удивительным, но из этого обстоятельства может быть извлечена существенная польза. Для составления усредненного прогноза проводится серия вычислений для одного и того же периода, но с небольшими вариациями значений входных параметров (в методе, применяемом Европейским центром прогноза погоды, в настоящее время усредненный

Пример сравнительно ► грубой координатной сетки с расстоянием между узлами в 50 км, нанесенной на очертания береговой линии Западной Европы. Очевидно, размер ячеек не одинаков всюду, поскольку сетка должна покрывать всю (приблизительно) сферическую поверхность Земли



прогноз составляется из 51 расчетного прогноза). Если результаты этих вычислений по большей части согласуются друг с другом, то можно говорить о высокой вероятности того, что полученный прогноз верен. Если же, напротив, велик разброс результатов, то это свидетельствует о таком состоянии атмосферы, когда его изменения могут пойти совершенно разными путями. Таким образом, описанный метод позволяет оценить вероятность сбываемости составленного прогноза.

По мере увеличения вычислительных мощностей суперкомпьютеров профессиональные синоптики используют их для уточнения погодных и климатических моделей — прежде всего, переходя на все более мелкие координатные сетки и увеличивая число высотных уровней в атмосфере. На сегодняшний день координатные сетки слишком грубы, чтобы учитывать в модели такие локальные особенности, как холмы, долины, озера и т. д., тогда как они могут оказывать существенное влияние на местную погоду. Поэтому численное прогнозирование погоды используется для получения пространной и не очень подробной картины развития погоды в основном на территории целой страны (или отдельных регионов в странах с большой площадью, каковы, например, США). Находясь же в той или иной местности и зная ее особенности, профессионал-синоптик может дать гораздо более подробный, детальный прогноз местной погоды. Он может корректировать свой прогноз, используя всю доступную информацию, такую как карты выпадения осадков, составленные на основе наблюдения радаром и доступные благодаря сети Интернет почти в реальном времени. Такой локальный прогноз становится все более и более актуальным в последнее время (см. стр. 135).

СОСТАВЛЕНИЕ ПРОГНОЗА

Чтобы составить надежный прогноз, нужно учитывать множество различных факторов. Думается, приводимый сейчас краткий обзор окажется полезным. Кроме этого, в нем легко можно найти ссылки на места в этой книге, где подробно обсуждаются те или иные вопросы. В целом, всегда полезно своими глазами наблюдать небо несколько раз в день, проверять показания приборов и читать синоптические карты как можно чаще.

Состояние неба и облаков

Состояние облачности дает одновременно ценные указания на текущую погоду и самые ранние указания на грядущие ее изменения. Особенно отчетливо это просматривается, когда приближается область низкого давления. Прежде всего нужно попытаться распознать различные типы облаков и сопровождающие их оптические явления. Описание типов облаков можно найти на стр. 31–59, а оптических явлений — на стр. 60–71. Более общие подробности об условиях внутри и вокруг атмосферных систем означены на стр. 72–81.

Приводимая ниже таблица дает самое приблизительное представление о том, какую погоду можно ожидать, судя по отдельным признакам. Различия реальной ситуации будут обусловлены, прежде всего, местными особенностями рельефа, например тем, с какой, наветренной или подветренной, стороны от возвышенностей находится наблюдатель (стр. 98–101), насколько близко море (стр. 104–105), дуют ли горные или долинные ветры (стр. 101–104).

Облака		
Типы и виды облаков	Описание	Ожидаемая погода
Кучевые плоские (<i>cumulus humilis</i>)	Разрозненные, умеренной величины	Ясная погода, если не появляются кучевые мощные или высокие перисто-слоистые облака
Кучевые плоские (<i>cumulus humilis</i>) и перистые (<i>cirrus</i>)	Кучевые облака перестают расти, а перистые увеличиваются	Приближается теплый фронт, особенно если перистые облака постепенно превращаются в перисто-слоистые; в ближайшие 12 часов вероятен дождь
Кучевые мощные (<i>cumulus congestus</i>)	Вздымающиеся, высокие облака	Возможен ливень в ближайшие несколько часов
Кучевые облака, расширяющиеся в стороны, образуя слоисто-кучевые или высококучевые	Сокращается площадь ясного неба	Осадки маловероятны, если только сильная конвекция не преодолеет слой инверсии; небо будет проясняться медленно

Типы и виды облаков	Описание	Ожидаемая погода
Перистые	Высокие тонкие облака, их число незначительно	В целом, ясная погода, но она может ухудшиться, если облака будут увеличиваться и упорядочиваться на небе
Перистые, утолщающиеся с образованием перисто-слоистых	Вокруг солнца или луны может наблюдаться гало	Приближается теплый фронт, чему сопутствует ухудшение погоды; дождь вероятен в ближайшие 6–12 часов
Перистые или перисто-слоистые и высокосоистые	Облачность нарастает; сильные ветры на высоте быстро рассеивают инверсионные следы	Приближается теплый фронт, возможно усиление ветра; дождь вероятен в ближайшие 6–12 часов
Перистые облака, сопровождающие струйные течения	Высокие, быстро движущиеся полосы перистых облаков, часто волнистого вида	Сильный циклон приближается с наветренной стороны; облачный покров будет усиливаться; в ближайшие 10–15 часов ожидается сильный приповерхностный ветер
Инверсионные следы	Быстро рассеиваются	Ясная погода, без существенных перемен в ближайшие 24 часа, если только сильный прогрев земли солнцем не возбудит интенсивную конвекцию
Инверсионные следы расширяются в стороны	Разрастающиеся следы становятся матовыми и стойкими	На большой высоте увеличивается влажность; возможно, приближается теплый фронт с сопутствующим ухудшением погоды
Высококучевые хлопьевидные (<i>altocumulus floccus</i>) или башенкообразные (<i>castellanus</i>)	Комки высококучевых облаков (часто с полосами падения, <i>virga</i>) либо линии «башенок»	В ближайшие 24 часа вероятны грозовые ливни, возможно весьма сильные
Высококучевые (<i>altocumulus</i>) и перистокучевые (<i>cirrocumulus</i>)	Увеличиваясь в протяжении, превращаются в высокосоистые и перисто-слоистые	Быстрое ухудшение погоды, дождь в ближайшие 6–12 часов
Высокосоистые (<i>altostratus</i>) с ключьями (<i>pannus</i>)	Небо покрыто высокосоистыми облаками, разрозненных ключев становится все больше	Поблизости находится теплый фронт, дождь неизбежен, сначала перемежающийся, но потом становящийся практически непрерывным; вероятно усиление ветра

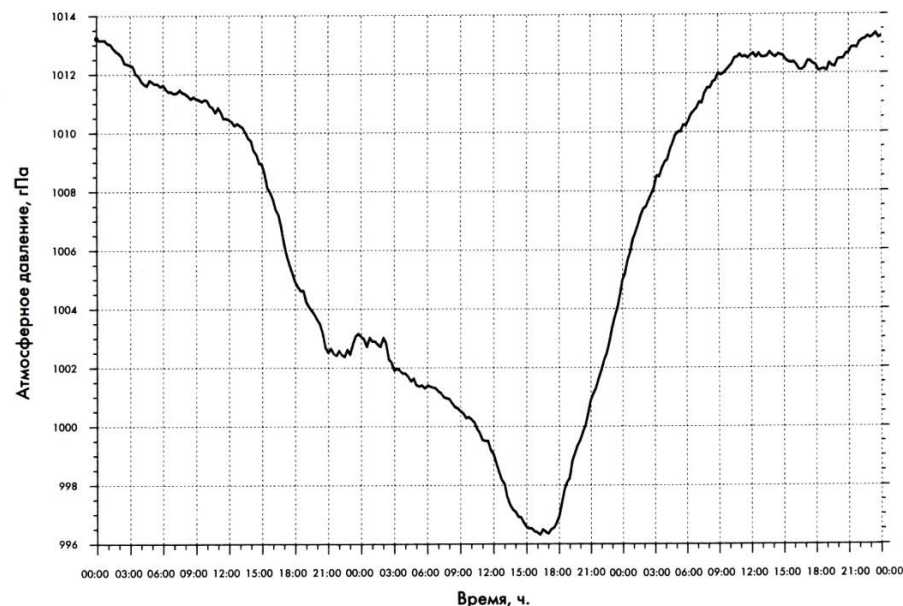
Типы и виды облаков	Описание	Ожидаемая погода
Слоисто-дождевые (<i>nimbostratus</i>)	Небо полностью покрыто облаками	Более или менее непрерывный дождь, длящийся в течение нескольких часов
Кучево-дождевые (<i>cumulonimbus</i>)	Отдельные облака ограниченного размера в ширину	Умеренной силы ливневый дождь с порывами ветра, общей длительностью 20–30 минут
Кучево-дождевые (<i>cumulonimbus</i>)	Крупные облака, составляющие несколько грозовых облаков и/или наковальни	Сильные ливни, возможно, с градом или грозой; сильные порывы ветра; общая длительность — несколько часов
Кучево-дождевые (<i>cumulonimbus</i>)	Упорядоченные ряды или грозди массивных облаков	Очень сильные ливни, начинающиеся с сильного града, если это часть холодного фронта, то затем последует череда ливней (возможно, также сильных)
Слоисто-кучевые (<i>stratocumulus</i>)	Низкие облака с редкими просветами	Без существенных осадков; вероятно, небо будет медленно проясняться
Устойчивые облака разных типов	Слоисто-кучевые (<i>stratocumulus</i>), высокосоистые (<i>altostratus</i>) и ключья перисто-слоистых (<i>cirrostratus</i>) облаков	Облачность теплого сектора; погода без значительных перемен может простоять в течение нескольких дней
Слоистые (<i>stratus</i>)	Низкие облака	Без существенных осадков; если облака образовались при подъеме тумана, то могут рассеяться в течение дня; в противном случае будут устойчивы

Ветер

Оценить направление ветра на разных высотах можно по движению облаков соответствующего яруса. Зная о характере изменения ветра в зависимости от высоты, можно определить вероятную погоду, особенно в условиях приближающейся циклонической воздушной массы (стр. 72–79). Но особенно полезны в этом случае результаты наблюдений на метеостанции (стр. 136–157) и синоптические карты (стр. 162–171). По мере приближения и прохождения фронтальной системы будут происходить характерные изменения направления ветра (стр. 76).

Атмосферное давление и его перемены

Значение атмосферного давления и барической тенденции в текущий момент всегда важно для определения возможных изменений погоды. Для этого полезнее всего ана-



Барографическая диаграмма — это график, отображающий изменение атмосферного давления в течение определенного периода. На графике видно, что давление медленно снижается, что указывает на приближение теплого фронта. После этого происходит резкое падение давления, что свидетельствует о прохождении фронта и приближении холодного фронта. В конце графика наблюдается быстрый рост давления, что указывает на стабилизацию погоды.

лизировать синоптические карты (стр. 162–171), а также результаты наблюдений на метеостанции (стр. 136–157), которые могут сообщить дополнительные важные сведения, в частности, об особенностях локальных условий, что даст представление об отклонениях местной погоды от усредненной картины. Значения барической тенденции (стр. 148) также дают ранние указания на вероятные изменения погоды.

Приближение циклона (стр. 74) — значительное событие, которое может оказать существенное влияние на погоду в течение нескольких дней. Ему предшествует выраженное падение атмосферного давления, тогда как резкие его перепады сопровождаются, в свою очередь, сильными ветрами (стр. 165). После прохождения фронта происходит падение давления с дальнейшей его стабилизацией либо спад с последующим возрастанием. Напротив, повышение давления свидетельствует о близком антициклоне (стр. 81). Определив направление геострофического ветра в теплом секторе (стр. 167), можно получить указание на то, куда будет, вероятно, двигаться центр циклона в дальнейшем.

Воздушные массы

Преобладающие над данной местностью воздушные массы, равно как и приходящие с других территорий (стр. 19), в значительной мере определяют характер погоды, хотя

это влияние нередко и перекрывается появлением циклонов или антициклонов, особенно в условиях области высокого давления. Определение типа воздушной массы может представить некоторое затруднение, если этого не сделать по уже имеющейся информации о температуре и влажности. Впрочем, для практических целей иногда бывает достаточно простого «ощущения воздуха». Сухой и очень холодный континентальный полярный (или даже арктический) воздух обычно легко отличить от пронизывающей влаги холодного морского арктического воздуха, тогда как морской полярный воздух хотя столь же влажный, но приносит бодрящее ощущение свежести. Влажность морского тропического воздуха так же легко можно почувствовать.

Приняв обыкновение выходить на улицу, чтобы почувствовать характер воздуха, и, по возможности, сравнивать возникшее ощущение с типами воздушных масс, упоминаемых в метеорологических сводках, со временем можно научиться узнавать вероятное направление потока воздуха. Чтобы получить приблизительное представление о происходящем, достаточно уже одного простого правила, гласящего, что в Северном полушарии полярный воздух поворачивает при движении с запада к северу, а затем к востоку (270° — 360° (0) — 90°), а тропический — с юго-запада к югу и затем на юго-восток (225° — 180° — 135°). Очевидные поправки нужно делать, чтобы учесть местные особенности. Весьма полезны в этом случае карты изобар (а особенно — несколько последовательных карт), позволяющие проследить, какой путь проходили воздушные массы и как менялись при этом их характеристики.

Знания о воздушных массах особенно полезны при составлении прогнозов — как, впрочем, и представление о максимальных температурах, о чем пойдет речь далее.

Температура

С изменением температуры в течение дня тесно связано образование облаков (стр. 26), что может, в частности, приводить к ливням (стр. 83) или, при более высокой температуре, грозам (стр. 86), граду (стр. 84), воронкообразным облакам, из которых затем формируются водные смерчи (стр. 92) или даже торнадо (стр. 92–94).

Максимальная дневная температура

Даже для тех, кто не ведет собственных записей погоды, знание о максимальной и минимальной температуре в данной местности может принести практическую пользу. Эту информацию можно получить, проанализировав метеосводки по подшивке газет в местной библиотеке, либо из сводок, публикуемых в сети Интернет, а также из метеорологических справочников, хотя в них, вероятнее всего, удастся найти сведения по одной, в лучшем случае — по нескольким метеостанциям на близлежащей местности. Обычно величины максимумов и минимумов приводят усредненными по декадам месяца для всего года. Типичный фрагмент такой таблицы представлен ниже (все значения округлены до ближайшего целого).

По такой таблице можно легко узнать среднюю температуру для каждого дня года. Если теперь удастся узнать максимальную температуру воздуха в тот или иной день по собственным наблюдениям или из каких-либо других источников, нужно вычесть из этой величины табличное значение средней температуры. Так получится относительная величина, по которой можно судить, что выбранный день оказался «весьма жарким для своего времени года» или, напротив, «холодным для этого времени года». Учитывая тип воздушной массы, состояние неба (насколько велика облачность) и силу ветра, можно дать вероятный прогноз температуры в ближайшее время — также по отношению «к этому времени года». Эту операцию иллюстрирует схема на стр. 181.

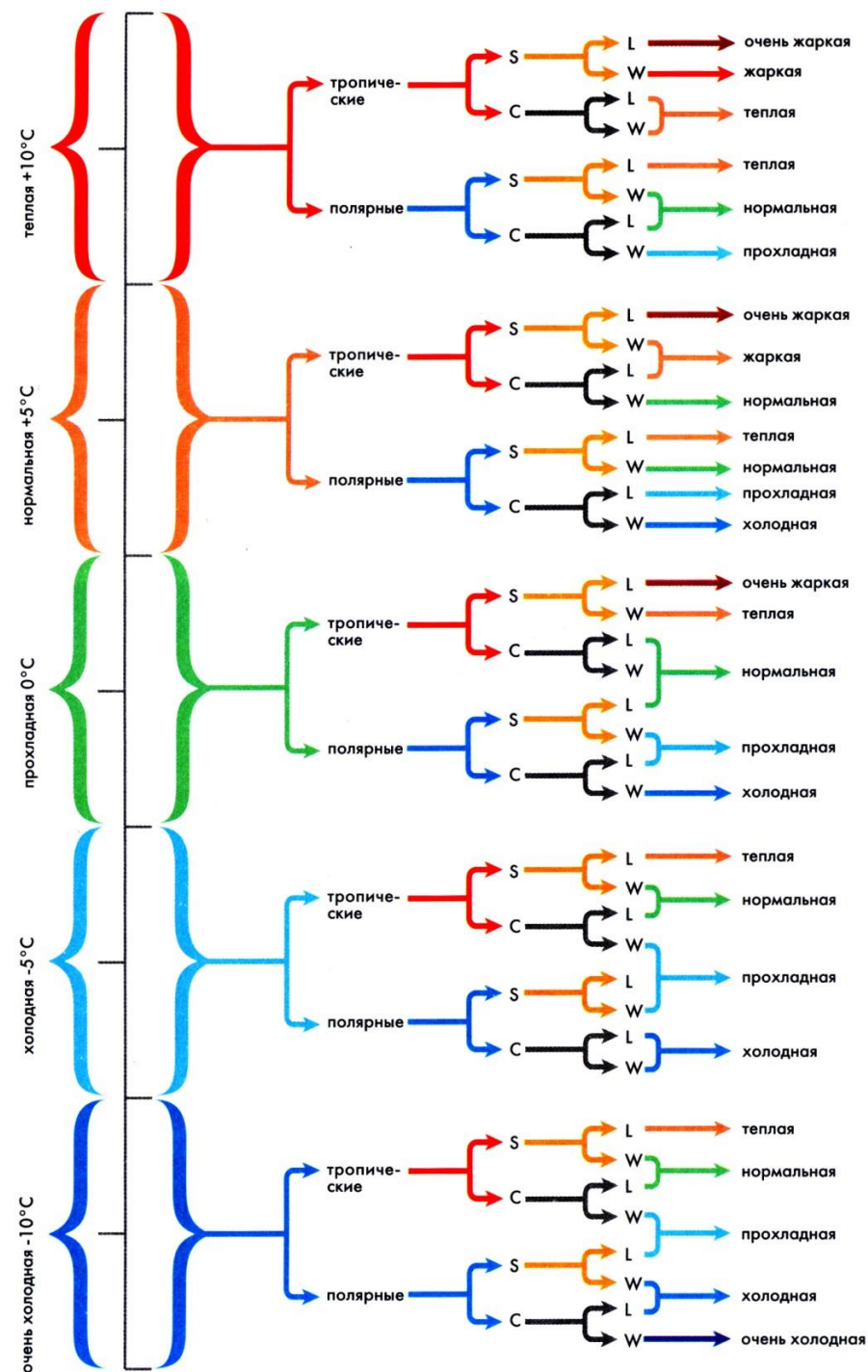
Максимальные и минимальные дневные температуры		
Период (среднее за 10 дней)	Максимальная температура, °С	Минимальная температура, °С
2–11 марта	9	2
12–21 марта	10	2
22–31 марта	11	4
1–10 апреля	12	4
11–20 апреля	13	5
21–30 апреля	14	6
1–10 мая	15	7

Температура ночью

Ночные температуры также поддаются прогнозированию, что особенно полезно знать при угрозе ночных заморозков. Для этого разработаны различные методы, но они требуют знания температур сухого и влажного термометров в 15:00 предшествующего дня, скорости ветра, а также, в некоторых методах, еще и облачности и числа прошедших дней с тех пор, как последний раз шел дождь. Однако если в течение ночи можно ожидать ясного неба, то неплохие результаты даст и более простой способ. Чтобы им воспользоваться, нужно знать время восхода и захода солнца, а также иметь возможность сделать точное измерение температуры воздуха. После достижения максимума в первые часы полудня температура начинает падать, и вскоре после захода солнца скорость остывания стабилизируется, определяясь лишь радиационным охлаждением земли. Поэтому, чтобы оценить минимальную ночную температуру, нужно выполнить два измерения температуры воздуха с часовым интервалом, причем перед первым измерением должно пройти достаточное время после захода солнца. Теоретически это время определяется географической широтой места наблюдения и месяцем года (чем ниже широта, тем меньший интервал нужно выдерживать перед первым измерением). Впрочем, на большинстве умеренных широт описываемый способ дает удовлетворительные результаты.

Когда скорость охлаждения, выраженная в градусах в час, станет известна после второго измерения, легко оценить, успеет ли температура опуститься до 0°С за ночь. Полезно помнить, что самая низкая температура будет наблюдаться примерно за час до рассвета, после чего она будет постепенно расти, если, конечно, небо будет оставаться по большей части ясным.

Определение ► вероятного значения максимальной температуры.
S — ясное небо или слабая облачность
C — сильная или сплошная облачность
L — штиль или слабый ветер
W — сильные ветры.
 Температуры даются как отклонения от нормального значения для данного времени года



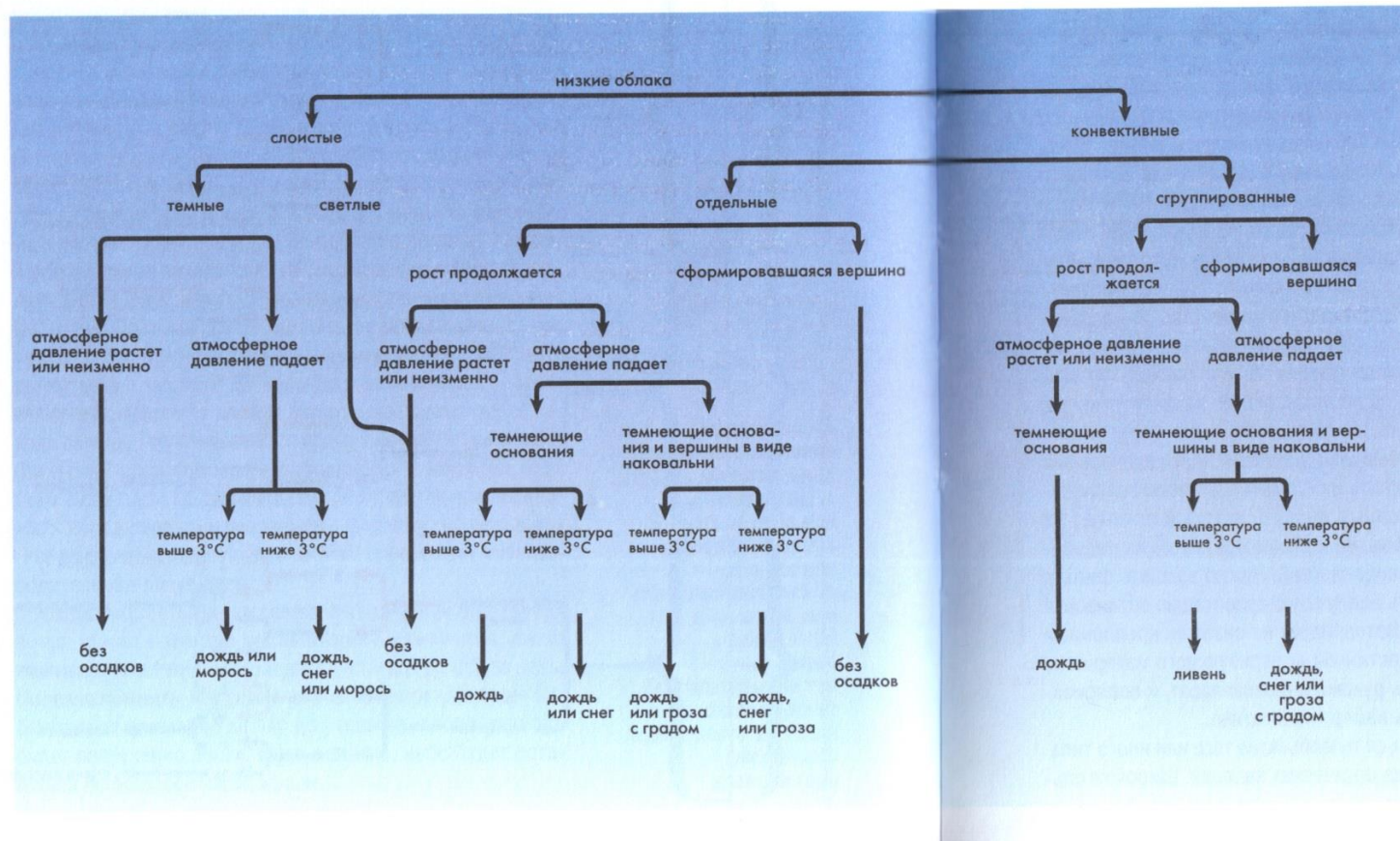
Вероятность осадков

На схеме графически иллюстрируется метод определения вероятных осадков, и едва ли здесь нужны подробные пояснения. Чтобы воспользоваться им, нужно уметь различать типы облаков, знать барическую тенденцию и температуру воздуха. Полезно проанализировать эту схему, обращаясь к описаниям отдельных типов облаков, особенностям изменений облачного покрова в областях низкого давления и образования ливней и гроз — все, о чем подробно говорилось выше.

Влажность

Высокая влажность, низкие температуры и слабый ветер вместе указывают на возможность появления тумана, выпадения росы или инея (стр. 108–114). Высокая влажность и температура, напротив, составляют условия появления грозы (стр. 86). Приближение теплого фронта предваряет увеличение влажности, тогда как антициклоны сопровождаются обычно низкой влажностью (стр. 81).

Вероятные осадки ▼



◀ Оценка вероятного значения минимальной температуры за ночь. Первое измерение выполняется, когда скорость охлаждения воздуха стабилизируется, примерно через час после заката

Местные особенности

Особенности местности могут приводить к существенным отклонениям погоды от картины, наблюдаемой над большими областями. В наибольшей степени это касается облачности (стр. 99), количества осадков (стр. 101) и образования тумана или выпадения инея (стр. 108–114). Погода береговой полосы может существенно отличаться от погоды над территорией в глубине материка, равно как и местности вблизи гор или высоких холмов будут наиболее подвержены воздействию горных и долинных ветров, а также фёнов (стр. 101–104).

НАБЛЮДЕНИЕ И ФОТОГРАФИРОВАНИЕ НЕБА

Для каждого, кто интересуется погодой, наблюдение неба и особенно знакомство с разными видами облаков приносит весьма ценный опыт. Есть несколько простых правил, которые могут облегчить наблюдение. Может показаться очевидным, но нужно сказать, что всегда надлежит обеспечивать ясный обзор неба, облаков и оптических явлений, их сопровождающих. Главным препятствием здесь оказывается ослепляющее сияние солнца (и иногда луны). Если встать за каким-нибудь предметом, закрывающим солнце в поле зрения, то станет гораздо легче наблюдать бледную иризацию или гало. В этом отношении также полезны солнечные очки, особенно с зеркальным покрытием стекол. Полезно иметь под рукой небольшие кусочки пластиковой поляризующей пленки. С помощью такого поляризатора, глядя через него на небо и поворачивая его в плоскости, перпендикулярной линии взгляда, можно увеличить контраст между небом и облаками. Сложив вместе пару таких пластинок вместе и вращая их друг относительно друга, можно получить полный диапазон затенения — от почти полной прозрачности до полного прекращения пропускания света. Также можно рассматривать отражения облачного неба на глади водоема или на тонированных стеклах, используемых в строительстве современных зданий, что также поможет рассмотреть детали, теряющиеся при ярком сиянии солнца.

Другой совет также может показаться слишком очевидным: полезно рассматривать облака через бинокль. Это поможет увидеть, как растут облака и как со временем меняются их мелкие детали, которые обычно с трудом заметны для невооруженного глаза. Например, рассматривая в бинокль вершины кучевых мощных (*cumulus congestus*) облаков, можно гораздо раньше заметить, как они начинают замерзать, превращаясь в кучево-дождевые лысые (*cumulonimbus calvus*), что свидетельствует о вероятности скорого дождя. Рассматривая в бинокль чечевицеобразные облака, вероятно, удастся различить слабые колебания их краев, по которым можно судить об их формировании на наветренной стороне и о рассеивании — на подветренной, тогда как невооруженному глазу облако в небе покажется неподвижным. Нужно помнить, что нельзя смотреть на солнце ни через бинокль, ни через любое другое оптическое устройство, это особенно важно знать при попытке рассмотреть что-либо в небе вблизи солнечного диска. Через бинокль нельзя смотреть и на восходящее или заходящее солнце, поскольку невидимое инфракрасное излучение, сфокусированное на глазе, может нанести тяжелые повреждения, прежде чем это будет почувствовано.

В фотографировании облаков нет никаких особенных трудностей, и это прекрасный способ лучше познакомиться с их типами и запомнить их. Самым полезным вспомогательным средством здесь остается поляризационный фильтр, который поможет не только увеличить контраст между облаками и небом, но и рассмотреть тонкие подробности как контура облака, так и его внутренних особенностей. Нужно вращать фильтр перед объективом фотоаппарата, чтобы подобрать наилучшую ориентацию оптической оси для достижения желаемого эффекта. Если фотоаппарат не снабжен креплением светофильтра, то можно пользоваться той же пластинкой поляризующего материала, удерживая ее перед объективом. Обычно держать руками и фотоаппарат, и поляризатор довольно неудобно, и потому легче закрепить камеру на штативе.

Рассматривая детали облаков, может понадобиться телеобъектив того или иного типа, что особенно полезно при фотографировании ряда оптических явлений. Широкоуголь-

ный объектив, напротив, поможет охватить возможно большую часть небесного свода. Весьма впечатляют панорамные снимки, которые сравнительно легко можно получить с помощью современных цифровых фотокамер. Нужно, впрочем, помнить, что на некоторых компакт-камерах опция «панорамный снимок» может не дать сколько-нибудь лучшего изображения по сравнению с нормальными установками — происходит просто обрезание полосы вверху и внизу кадра. Если размер кадра при этом не меняется, то «панорамный» режим просто оставляет метку, по которой принтер затем распечатает снимок, обрезая верхнюю и нижнюю полосы кадра. Того же эффекта можно достичь, просто увеличивая соответствующий участок кадра 35-миллиметровой фотопленки.

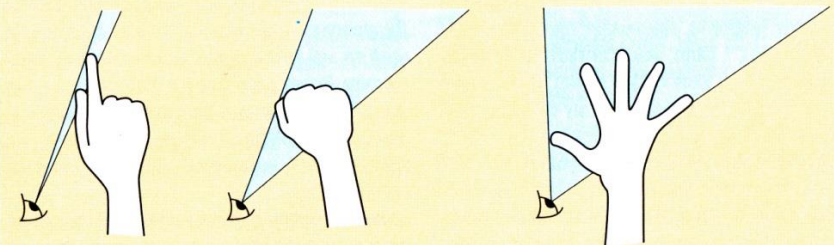
Измерение угловых размеров

Умение приблизительно оценивать угловые размеры объектов в небе важно для того, чтобы различать слоисто-кучевые, высококучевые и перисто-кучевые облака. Можно использовать сантиметровую линейку, держа ее на расстоянии вытянутой руки, тогда каждое сантиметровое деление будет приблизительно равно одному угловому градусу. Не имея линейки, можно ориентироваться на длину своих пальцев и кисти так же на расстоянии вытянутой руки:

1° = ширина кончика одного пальца
7° = ширина костяшек четырех согнутых пальцев (без большого)
10° = ширина сжатого кулака
22° = ширина разжатой кисти и широко расставленных пальцев (от большого пальца до мизинца)

Угловые размеры различных оптических явлений можно свести в такой перечень:

52° = угловой радиус вторичной радуги
46° = угловой радиус внешнего (вторичного) гало
42° = угловой радиус основной радуги
30° = угловая высота над горизонтом, на которой определяются размеры разных типов облаков
22° = угловой радиус внутреннего (основного) гало
10° или более = ширина отдельных слоисто-кучевых облаков на угловой высоте в 30°
5–1° = ширина отдельных высококучевых облаков на угловой высоте в 30°
1° или менее = ширина отдельных перисто-кучевых облаков на угловой высоте в 30°
0,5° = диаметр диска Солнца или Луны



Глоссарий

Адиабатический. Атмосферный процесс, не сопровождающийся поступлением или отдачей тепла во внешнюю среду. В большинстве случаев *воздушные массы* в атмосфере поднимаются и опускаются без обмена теплом с окружающим их воздухом.

Анабатический. Движущийся с подъемом вверх. Термин обычно употребляется по отношению к ветрам (например, долинным) или воздуху во фронтальных системах.

Антисоллярная точка (противосолнечная точка). Точка небесной сферы, диаметрально противоположная Солнцу относительно наблюдателя.

Антициклон. Область высокого атмосферного давления, в которой воздух опускается с более высокого уровня. Воздух покидает антициклон, распространяясь над окружающей территорией. В Северном полушарии циркуляция в антициклоне направлена по часовой стрелке.

Антициклонический. Движущийся или изогнутый в том же направлении, в котором циркулирует воздух в *антициклоне*, то есть по часовой стрелке в Северном полушарии и против часовой стрелки — в Южном.

Аэрозоль. Любые мельчайшие твердые или жидкие частицы, распыленные в атмосфере.

Барическая тенденция. Изменение атмосферного давления (которое может оказаться уменьшающимся, увеличивающимся или неизменным) в течение последних трех часов.

Бофорта шкала. Числовая шкала, применяемая для обозначения скорости ветра. Измеряется в баллах Бофорта, принимает значения 0 баллов (штиль), 1 балл, чему соответствует ветер скоростью 1–3 узла (0,3–1,5 м/с), и так далее до 12 баллов, отвечающих ветру со скоростью свыше 64 узлов (свыше 33 м/с).

Вертикальный градиент температуры. Скорость, с которой меняется температура с ростом высоты. Градиент положителен, когда с высотой температура уменьшается, и отрицателен в противном случае.

Влажность относительная. Выражаемое в процентах отношение количества влаги, содержащейся в воздухе при данных условиях, к содержанию влаги в насыщенном воздухе при той же температуре.

Воздушная масса. Значительный объем воздуха, приобретшего устойчивые характеристики, а именно температуру и влажность, в процессе

пребывания над определенной территорией — очагом. При перемещении в другую область воздушная масса стремится к сохранению своих влажности и температуры и потому оказывает значительное влияние на погоду в тех регионах, над которыми пролегал ее путь.

Гало. Оптический феномен в атмосфере, обычно имеющий вид светящегося кольца. Как правило, наблюдается вокруг Солнца, Луны или иных мощных источников света. Существует множество типов гало, но вызваны они преимущественно ледяными кристаллами в перистых облаках на высоте 5–10 км в верхних слоях *тропосферы*.

Геострофический. Так называют гипотетический ветер, дующий в точности параллельно линиям *изобар*, приводимым обычно на картах. Наиболее близок к геострофическому ветер, дующий на уровне облаков нижнего яруса (600 м над поверхностью земли).

Горный ветер. Ветер, обдувающий горную долину в ночное время. Появляется главным образом по причине того, что воздух над открытыми областями на большой высоте охлаждается быстрее, чем в укрытой долине. Противоположен дующему днем *долинному ветру*.

Гребень. Вытянутый участок, в котором увеличивается область высокого давления. На картах выглядит как V-образный изгиб *изобар*, направленный узкой частью от центра *антициклона*. С прохождением гребня связано установление ясной, постепенно улучшающейся погоды.

Депрессия. Технический термин, обозначающий то же, что и область низкого давления, *циклон*. Воздух втекает в депрессию и поднимается вверх в ее центральной части. Циркуляция ветра в депрессии имеет циклонический характер (против часовой стрелки в Северном полушарии).

Долинный ветер. Ветер, обдувающий горную долину в дневное время. Появляется по причине того, что воздух над вершиной и склонами нагревается сильнее и, поднимаясь, создает разность давлений, приводящую к восхождению по склону воздуха с давлением более низкого уровня. Противоположен дующему ночью *горному ветру*.

«Задний ход» ветра. Изменение направления ветра с высотой против часовой стрелки (с запада через юг на восток), наблюдаемое в Южном полушарии.

Зенит. Точка пересечения отвесной линии, проходящей через место наблюдения, с небесной сферой.

Изобара. Линия, соединяющая точки на карте, которые отвечают одному и тому же значению барометрического давления.

Инверсия. Слой атмосферы, в котором температура неизменна либо увеличивается с ростом высоты.

Катабатический. Движущийся в нижнем направлении, спускающийся. Термин употребляется преимущественно по отношению к ветрам, спускающимся вдоль склонов с возвышенностей и возникающим обычно за счет пониженной температуры на вершинах. Также термин используется применительно к движению воздуха в ряде фронтальных систем.

Кельвин. Единица абсолютной температурной шкалы, начинающейся в точке абсолютного нуля (0 К соответствует $-273,15^{\circ}\text{C}$). Значения температуры выражаются собственно в кельвинах (а не «градусах Кельвина», то есть верна запись, например, 300 К, но не «300°К»).

Конвекция. Перенос тепла при движении текучей среды (например, воды или воздуха). В атмосфере конвективное движение по преимуществу вертикальное. Существуют два рода конвекции: естественная, при которой воздушные потоки свободно поднимаются или опускаются за счет баланса силы тяжести и Архимедовой силы; и вынужденная конвекция, когда воздух механически перемешивается внутри атмосферных вихрей.

Континентальный климат. Климат, типичный для областей в глубине материковой суши, его характерные черты — очень холодная зима и жаркое лето. В таких условиях часто наблюдается низкое годовое количество осадков.

Кориолиса сила. Сила, возникающая в результате вращения Земли, отклоняющая траекторию движения любого объекта (в том числе и ветра или океанического течения) от прямолинейной. В Северном полушарии отклонение происходит вправо, а в Южном — влево. Чем быстрее движение, тем более выражено действие силы Кориолиса.

Латентная теплота. См. *скрытая теплота*.

Ложбина. Вытянутый участок, в который расширяется область низкого давления. На картах выглядит как V-образный изгиб *изобар*, направленный узкой частью от центра *циклона*. Прохождение ложбины над местностью сопровождается усилением облачности и дождем.

Ложное солнце. Один из эффектов *гало*, состоящий в появлении яркой светящейся точки, часто слабо окрашенной и сопровождаемой белым хвостом. Лежит на той же высоте, что и диск истинного солнца, и удалена от него в сторону на 22° . Также называется *паргелием*.

Мезосфера. Атмосферный слой, расположенный над *стратосферой*, в котором температура уменьшается с ростом высоты и достигает абсолютного минимума в мезопаузе, расположенной на высоте от 86 до 100 км, в зависимости от времени года и географической широты.

Морской климат. Климат, в сильной степени обусловленный близостью территории к океану. Такой климат отличается большим количеством осадков за год; зима обычно мягкая, а лето не бывает слишком жарким.

Неустойчивость. Условия, при которых *воздушная масса*, смещенная вверх или вниз от равновесного положения, будет продолжать (или даже ускорять) сообщенное ей движение. Противоположно понятию *устойчивости*.

Окклюзии фронт. Фронт области низкого давления, в котором теплый воздух поднимается от поверхности земли, за счет заполнившего образовавшийся промежуток холодного воздуха. При этом фронт может оставаться значительным источником облачности и осадков.

Осадки. Термин, обозначающий все виды воды в жидком или твердом состоянии, выпадающей из атмосферы и достигающей земли. По определению, осадками не являются капли воды, из которых состоят облака, дымка, туман, роса, иней, изморозь, а также полосы падения.

Охлаждение ветром (*англ.* wind chill). Потеря тепла под действием обдувающего ветра. Даже умеренный ветер создает потерю тепла (выражаемую для человека в определенном дисконфорт), сравнимую с той, что происходит в штиль при заметно меньших температурах.

Паргелий. Название одного из эффектов *гало*, то же что *ложное солнце*.

Переохлаждение. Условия, в которых вода может оставаться в жидкой фазе, несмотря на то что ее температура составляет менее 0°C . В атмосфере такие условия наблюдаются часто ввиду отсутствия подходящих ядер замерзания. При температурах ниже -40°C вода замерзает спонтанно.

Поворот ветра. Поворот ветра с высотой по часовой стрелке в Северном полушарии.

Полосы падения. Следы осадков (капли дождя или кристаллики льда), выпадающих из облаков и не достигающих земли, но таящих и испаряющихся в более сухом воздухе ниже на пути от облака к поверхности земли.

Росы точка. Температура, при которой объем воздуха с заданной влажностью достигнет насыщения. В точке росы пары воды начинают конденсироваться в капельки, из которых затем может образовываться облако, дымка или туман либо роса, выпадающая на землю.

Сдвиг ветра. Изменение направления или силы ветра при изменении точки наблюдения. Вертикальный сдвиг ветра определяется как изменение скорости ветра с изменением высоты (обычно скорость растет при подъеме вверх). Горизонтальный сдвиг ветра имеет место, когда сила ветра меняется между точками, лежащими на одной и той же высоте.

Седловина. Область малоподвижного воздуха, расположенная между парой центров низкого давления и парой центров высокого давления. Незначительные изменения барической топографии приводят к резкому смещению седловины или даже ее исчезновению.

Синоптическая карта. Карта, на которой отмечены значения заданного параметра (например, температуры, давления, влажности и т. д.) в различных точках наблюдения в одно и то же указанное время. Типичный пример синоптической карты — карта *изобар*.

Скрытая теплота. Количество тепла, выделяющееся при конденсации водяных паров либо замерзании жидкой воды. Равно количеству тепла, необходимому для осуществления испарения или таяния соответствующего количества воды или льда.

Стратосфера. Второй от поверхности Земли протяженный слой атмосферы, в котором температура воздуха сначала остается примерно неизменной, а затем нарастает с высотой. Стратосфера лежит между *тропосферой* и *мезосферой*, нижняя граница находится на высоте от 8 до 20 км в зависимости от географической широты, а верхняя — на уровне 50 км.

Струйное течение. Узкая полоса ветров, обладающих большой скоростью, обычно залегает вблизи разрыва уровня *тропопаузы*. Имеются по два наиболее сильных струйных течения в каждом из полушарий (течение, сопровождающее полярный фронт, и субтропические струйные течения). Другие струйные течения

находятся в тропической зоне и на больших высотах.

Термик. Восходящий поток воздуха, поднимающегося от нагретой поверхности земли. В зависимости от атмосферных условий может достигать высоты, на которой температура достаточно низка, чтобы началась конденсация водяных паров, что приводит к образованию облака.

Тропопауза. Слой *инверсии*, отделяющий *тропосферу* от лежащей над нею *стратосферы*. Тропопауза залегает на высоте от 8 км над полюсами до 18–20 км над экватором.

Тропосфера. Низший из слоев атмосферы, в котором лежит большинство облаков и наблюдается большинство погодных явлений. Температура в нем уменьшается с ростом высоты на всем его протяжении.

Ураган. Принятое в Северной Атлантике и на востоке Тихого океана название потенциально разрушительных тропических *циклонов*.

Устойчивость. Условия, при которых *воздушная масса* при смещении вверх или вниз от положения равновесия стремится вернуться в начальное положение, а не продолжать движение (ср. с *неустойчивостью*).

Фён. Жаркий, сухой (и часто иссушивающий землю) ветер, нисходящий вдоль подветренной стороны гор. Оставив значительную часть несомой влаги на наветренном склоне, он затем спускается гораздо более жарким и сухим, чем на сравнимой высоте по другую сторону горной гряды.

Цельсия шкала. Числовая шкала для обозначения температуры, в которой принято температуру замерзания воды обозначать 0°C и температуру ее кипения 100°C.

Циклон. Барическая система, в которой воздух циркулирует вокруг центра низкого давления. Имеются два различных термина: 1) тропический циклон — самоподдерживающаяся тропическая грозовая система, называемая также ураганом или тайфуном; 2) внетропический циклон или просто циклон (см. также *депрессия*) — область низкого давления. Системы этого рода оказывают одно из наиболее сильных влияний на погоду в умеренных широтах.

Циклонический. Движущийся или изогнутый в том же направлении, в котором циркулирует воздух в *циклоне*, то есть против часовой стрелки в Северном полушарии и по часовой стрелке — в Южном.

Указатель иноязычных и русских терминов

altocumulus 33
— castellanus 47
— floccus 49
— lenticularis 49
— stratiformis 47
altostratus 43
Aqua (спутник) 135

cirrocumulus 54
— castellanus 55
— floccus 55
— stratiformis 55
— undulatus 55
cirrostratus 53
— fibratus 53
— nebulosus 53
cirrus 50
— fibratus 50
— intortus 51
— spissatus 50
— uncinus 50
cumulonimbus 36
— calvus 38
— fibratus 38
— incus 38
cumulus 34
— congestus 36
— fractus 34
— humilis 35
— mediocris 36

Envisat (спутник) 135

GOES-E (спутник) 133
GOES-W (спутник) 133

incus 38
lenticularis 57

mamma 39
MetMaps 162
Meteosat (спутник) 133
NEXRAD (радарная система) 135

nimbostratus 45
Nimbus (спутник) 134
NOAA-14 (спутник) 134

pannus 44
pile d'assiettes 57
pyrocumulus 119

stratocumulus 41
— undulatus 42
stratus 39
— fractus 40
— nebulosus 41

Terra (спутник) 135

UTC 44
virga 44

азот 9, 69
азота оксид 120

алмазная пыль 106
альбедо 114
анабатический 81, 103, 186
анемометр 140, 61
антициклон 72, 81, 165
— блокирующий — см.
максимум блокирующий
— субтропический 13–14
аргон 9
атмосфера 6
атмосферы структура 6
— циркуляция 9, 12

бабочки эффект 173
барическая тенденция 130,
138, 147, 148, 160
барограф 145, 147, 158,
160, 178
барометр 11, 146–148
Бейс-Балло правило 16
борей 125
Бюфорта шкала 141–143
бриз 104–107
— береговой 105, 106, 107, 111
— морской 105, 117
— озерный 106
буй метеорологический 129, 131
буря 88, 91, 114, 143, 152, 153
— песчаная 152, 153, 156, 157
— пыльная 152, 153, 156, 157
— снежная 122

венец 41, 44, 46, 54, 64
ветер 9, 11–14, 15, 165, 177
— анабатический восходящий
31, 82, 84, 92, 98, 100, 103,
140
— геострофический 17, 167,
178
— горный 103, 104
— градиентный 84, 102, 117
— долинный 104
— направление 139–143
— кататический нисходящий
82, 88, 92, 103, 135, 140, 188
— скорость 15, 24, 93, 94,
104, 130, 133, 139–143
видимость 78, 100, 108, 111,
119, 130, 138, 142, 151, 152,
157
вихрь 8, 92–94, 98, 99
влажность 19, 27, 44, 111, 112,
133, 144
вода, пар 27, 29
вода, роль в формировании
погоды 27
вода, свойства 27
водяной смерч 92
воздушная масса 9, 13, 15, 19
— континентальная 19
— арктическая 19
— полярная 19
— тропическая 19
— экваториальная 19
волна вторичная 21

воронкообразное облако 91,
92, 95, 179
восточные полярные ветры 8,
15–16
время всемирное скоордини-
рованное 129
Всемирная система наблю-
дения за погодой 129
Всемирная система обработ-
ки данных и прогнозирова-
ния 129
Всемирная система теле-
связи 129
Всемирная служба погоды 129
вымя, форма облака —
см. облака, разновидности,
вымяобразные выступы
высота облачности 130, 150

гало 41, 46, 53, 60
гелий 9
геостационарный спутник 133
гетеросфера 9
гигрометр 144
глория 68
гляциация 38
гололед 144
гомосфера 9
горы 25, 28, 39, 84, 98, 99,
102, 109, 124, 125, 130
град 38, 72, 83, 84
градиент 11, 17, 23, 28, 29,
30, 100
— адиабатический насыщен-
ный 28, 29
— сухоадиабатический 28, 29, 30
— температуры атмосферы
вертикальный 28, 29, 30
гребень 163
гроза 31, 39, 47, 78, 83, 85, 86
грозы в многоочечковых
системах 87, 88
гуттация 112

давление атмосферное 9, 10,
146–148
— градиент 16, 17, 23
депрессия 11, 72, 80, 132, 167,
170
— вторичная 164
— фронтальная 81
— формирование 80, 81
— циркуляция 80, 81
дивергенция 17
диоксид серы 69, 119
— углерода 119
длительность солнечного
сияния 157, 158, 159
дождь 18, 36, 41, 44, 45, 67,
74, 99, 157
долина 98, 99, 101
Доплера эффект 135
дымка 27, 28, 40, 98, 101, 102,
107, 108, 152, 157
дыры озоновые 8

Европейский центр
прогнозирования погоды
на средние сроки **173**

загрязнение 117, 118, 119
заморозки 27, 113, 128, 180
— на почве 113
западные ветры 12, **15–16**
зенит **62**
«зловещие пятидесятые» 12
зонд метеорологический 30,
131, 133
зоны климатические 123

изморозь 107, **114**
изобара 10
инверсионный след 74, 75,
176
инверсия **30, 31**
иней 101, **113**
интенсивность солнечного
излучения 157
ионосфера **7–8**
иризация 44, **65**
испарение арктических
морей **111**

карта
— аэрологическая 170
— изобар 148, 162, 163, 165
— метеорологических
станций 172
— синоптическая 162
Кемпбелла-Стокса прибор 158
кислород 9, 69
климат средиземномор-
ский 123
климатические зоны — см.
зоны климатические
коалесценция — см.
слияние капель
количество осадков 76, 81,
84, 100
крупномасштабные зоны
конвенции (КЗК) **90–91**
конвекция 28, 34, 35, 47, 54,
78, 81, 84, 90, 92, 94, 100,
104, 106, 116, 119, 175, 176
конвергенция 14, 17, 28
конденсация 27, 28, 29, 34,
35, 42, 111, 113, 120
Кориолиса сила 17
Кориолиса эффект **15, 16**,
17, 23
корона — см. венец
ксенон 9

латентная теплота — см.
скрытая теплота
лед 27, 33, 38, 84, **106–108**,
11, 113
— глетчерный 108
— кристаллы 27, 33, 36, 38,
41, 46, 50, 54, 61, 63, 83,
100, 106, 108, 114
ледник 108
ледяная крупа 84, 107, 156
ледяной дождь 107, 114

ледяные иглы 106, 155
ливень — см. ливневые
осадки
ливневые осадки 67, 78, **83**,
84, 88, 100, 120, 153, 155,
157, 169, 175, 177, 182, 183
ливневый дождь — см.
ливневые осадки
линия снеговая — см. снего-
вая линия
линия шкваловая — см.
шкваловая линия
ложбина 163–164, 169
ложное солнце — см. паргелий
луна 41, 45, 54, 60, 63, 64, 69,
117, 149, 176, 184, 185

максимум
— атмосферного давле-
ния 16–18
— блокирующий 82, 124
— континентальный 12
— сибирский 10, 11, 18
— субтропический 13, 14, 16
— теплый 145, 179
— холодный 145
масса воздушная 10, 13, 15,
17–18, **19**
массы воздушные, классифи-
кация 19
Международная метеорологи-
ческая организация 129, 172
мезопауза 7, 8, 58, 59
мезосфера 7–9
мезоциклон 88, 92
мельничка (пропеллер) аномо-
метра 161
местная погода **98**
метель 152, 153, 157
метель низовая 153
метеорологическая станция
129–133, 136, 137, 144, 148,
150, 152, 160
— автоматическая 129–133,
138–141, 146, 150
— обитаемая 129–133,
138–141, 150, 157
метеорологический зонд 30,
131–133, 172
микроклимат 104, **114–117**
минимум 10, 11, 16–18
— азиатский 11
— алеутский 10, 11
— атмосферного давления 10
— исландский 10, 11
— теплый 145
— холодный 145
мистраль 125
многоячейковые системы 87–88
молния 38, 86, 87–92, 119, 135,
152
морось 41, 81, 104, 106, 108,
153
морская воздушная масса 19
— арктическая 19
— полярная 19
— тропическая 19
— экваториальная 19

муссон 11–13, **18**
наблюдение погоды **128**
навстречный 6, 56, 99, 100,
114, 184
наковальня, форма облака — см.
облака, разновидности, наковальня
— наледь 114
Национальное управление
по исследованию океанов
и атмосферы США 134
неон 9
неустойчивость **28–30**, 164, 166
облака 8, 9, 18, 23, 24, 25, 26–71,
74–97, 99, 108, 119, 134,
138–139, 149
— перистые, влияние
на депрессии 74, 77
— скорость ветра 75, 81, 93, 94,
104, 139
— перламутровые 57
— пожаров 119
— серебристые 58
— классификация 31
— наблюдение 138–139, 150,
169, 184–185
— типы 32, 149
высококучевые 46, 55, 56
высоко слоистые 43–44
кучево-дождевые 36
кучевые 34
перисто-кучевые 54
перисто-слоистые 53
перистые 25, 50, 53
слоисто-дождевые 45
слоисто-кучевые 41, 54
слоистые 39, 46, 53
— виды
башенкообразные 47, 49
волокнистые 38, 53
когтевидные 50, 51
лысье 38
мощные 35
нитевидные 50
плоские 35
плотные 50
разорванные 34, 46
слоистообразные 47
средние 36
туманообразные 41, 51
хлопьевидные 47
чечевицеобразные 49, 55, 57
— разновидности
волнистые 42–43, 53, **55**
вымяобразные выступы 38
наковальня 37, 38, 39, 50
— дополнительные особенности
перепутанные 51
полосы падения 46, 51
воронка 91, 92, 93, 95
— формирование 27, 30, 38, 42
— формы 31
облако
— волнистое 25, 36, 39, 42, 43,
49, 53, **55–57**, 58, 59, 98, 99,
98, 99
— конвективное 28, 30, 34, 35,
47, 49, 54, 57, 78
— орографическое 28, 99

облаков ключья 34, 44, 45, 46, 76
облачность 69, 71, 75, 99, 104
облачность общая 130, 139
область высокого давления 10
— субтропическая 13
— циркуляция 13
озон 8
окклюзия 19
окологоризонтальная дуга 62
околозенитная дуга **62**
оксид азота 120
осадки 41, 44, 45, 46, 72, 74, 76, 78,
81, 83–86, 91, 96, 99, 106, 107,
119, 122–127, 144, 152–158,
163, **169**, 175–177, 182
— классификация 106–107
— типы 106–114

паргелий 46, 60, **61–62**
пассат **15–16**
переохлаждение 27
переохлажденный дождь **107**
песчаная буря 152, 153, 157
погода между сроками
наблюдений **156**
погодная система 14
подветренный 56, 98, 99, 100
подъем орографический 28, 99
пожар лесной 119
позёмка 152, 153
полосы падения 44, 176
полярная воздушная масса 72,
74, 104
полярно-орбитальный
спутник 133
поток
— воздушный 12, 171
— воздушный восходящий 24, 85
— воздушный нисходящий 24
почва **114**
прибор измерительный **160**
прогноз 172, 173, 175
прогнозирование 173, 175
— для судоходства 143
— краткосрочное 135
«пронзительные шестиде-
сятые» 12
прошедшая погода 156
психрометр 144
пыльная буря 152, 153, 157
пыльца 64, 116, 117

радар метеорологический 129, **135**
радарные метеонаблюдения 135
радиозонд 162, 172, 132
радуга 60, **66**
— белая 68
— туманная 68
«ревушие сороковые» 12
роса **111**
росы точка — см. точка росы

сдвиг ветра 24, 94
— вертикальный 24
— горизонтальный 24
седловина 163, 164, 165
серная кислота 120
синевя неба 69

сирокко 125
система низкого давления 10
скрытая теплота 27, 30, 49
слияние капель 36, 107
слой пограничный 17, 98, 116, 140
смерч **92–94**
смог 119
смог фотохимический 120
снег **108**
снеговая линия 100
снежинка 108
снежная крупа 107, 153, 156
снежные зерна 107, 155
солнце 8, 9, 29, 35, 41
солариметр электронный 159
спутник 133
спутниковые метеонаблюдения 162
средиземноморский климат 123
средиземноморский фронт 125
станция метеорологическая 130
столб световой 26
стратопause 7, 8
стратосфера 7, 8
струйное течение 14, **21**
сульфаты 120

тайфун 72, 94
текущая погода 156
температура 28
— воздуха 28, 76
— максимальная / минималь-
ная 145
— моря 104
— ночная 43, 103
тенденция барическая — см.
барическая тенденция
теплый сектор 167, 177
термограф 146
термометр 145–146, 180
— влажный 130, **144**, 180
— Сикса 145
— сухой 29, 130, **144**, 180
термосфера 8
течение
— североатлантическое 123
— струйное — см. струйное
течение
типы климата 123
торнадо **92–94**
точка антисоларная — см.
точка противосолнечная
точка противосолнечная 68
точка росы **144**
трение поверхностное 17, 167
тропическая воздушная масса 72
тропический циклон — см.
циклон тропический
тропопауза 7, 8
тропосфера 7, 8
туман 27, 28, **108**
— адвективный 109
— склонов 109
— испарения **111**
— радиационный 109
турбулентность 17, 24, 36,
117, 118

углеводороды 118, 119
углерода диоксид 119
ураган 188
уровень конденсации 42
устойчивость **28**

фён 188
фёновый эффект 100
фреон 8
фронт **19**
— анабатический 81
— антарктический 19, 20
— арктический 19, 20
— атмосферный 19
— катабатический 80, 81, 82
— катабатический,
движение облаков 81
— морского бриза 104, 105
— окклюзии 76–79
— полярный 14, **20**, 82
— полярный, депрессии 14, 20
— теплый, движение облаков
28, 36, 44, 46, 50, 53
— холодный 20, 72, 73

хамсин 125
хаоса теория 173
холмы 101

центр высокого давления — см.
максимум
центр низкого давления — см.
минимум
циклон (см. также депрессия) 166
— внетропический 94
— тропический **94**
циркуляция 9, **12**
— атмосферная — см.
атмосферы циркуляция
— атмосферы общая 8, **12**, 14,
45
— в депрессии — см.
депрессия, циркуляция
— замкнутая 13
— круговая 13

чинук 100

шкваловая линия 77, **90**
шторм 24, 97, 117, 126, 142, 143

экваториальная область затишья
штилевая полоса 12, 13
экран прибор для метеонаблю-
дений 139

явления оптические 26, **60–69**,
184–185
ядро 27, 94, 96
— конденсации 27
— кристаллизации 27, 85
ярус облачности высотный 33,
149, 151, 177

Научно-популярное издание

Сторм Данлоп

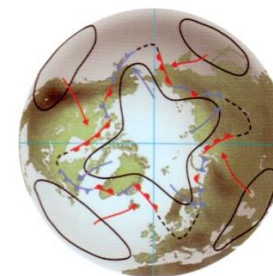
АТЛАС ПОГОДЫ АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ПРОГНОЗЫ

Ответственный редактор *Александр Галат*
Дизайн и верстка *Екатерины Завадской*
Технический редактор *Елена Траскевич*
Корректор *Валентина Важенко*

Подписано в печать 9.02.2010.
Формат издания 60 × 90 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 12,0. Тираж 4000 экз.
Изд. № 90464. Заказ № 36.72.

Издательство «Амфора».
Торгово-издательский дом «Амфора».
197110, Санкт-Петербург,
наб. Адмирала Лазарева, д. 20, литера А.
E-mail: secret@amphora.ru

Отпечатано по технологии CtP
в ООО «Северо-Западный Печатный двор».
188300, Ленинградская обл.,
г. Гатчина, ул. Железнодорожная, д. 45Б.



АТЛАС ПОГОДЫ как самому составить прогноз

Сторм Данлоп — автор многочисленных книг по метеорологии и астрономии, пользующихся большим успехом в Британии и США. В течение ряда лет профессор Данлоп занимал пост президента Британской астрономической ассоциации и завоевал заслуженную популярность как популяризатор научных знаний, в частности, в области метеорологии.

Данный атлас погоды — одна из последних книг С. Данлопа, на русском языке она издается впервые. Атлас содержит более 200 цветных иллюстраций и фотографий и дает всю необходимую информацию для понимания атмосферных явлений, погодных процессов и самостоятельного прогнозирования. Книга будет интересна и полезна как профессиональным метеорологам, так и самому широкому кругу читателей.

AMPHORA.RU

ИЗДАТЕЛЬСТВО
амфора



9 785367 012422
ISBN 978-5-367-01242-2