

Тема **5.** Строение и состав атмосферы **(2)**



Динамика и общая циркуляция атмосферы (Часть 1)





ВЕТЕР



Движение воздуха относительно земной поверхности. Различают восходящий или нисходящий ветер.

Определяется скоростью и направлением. Направление ветра – откуда дует ветер.

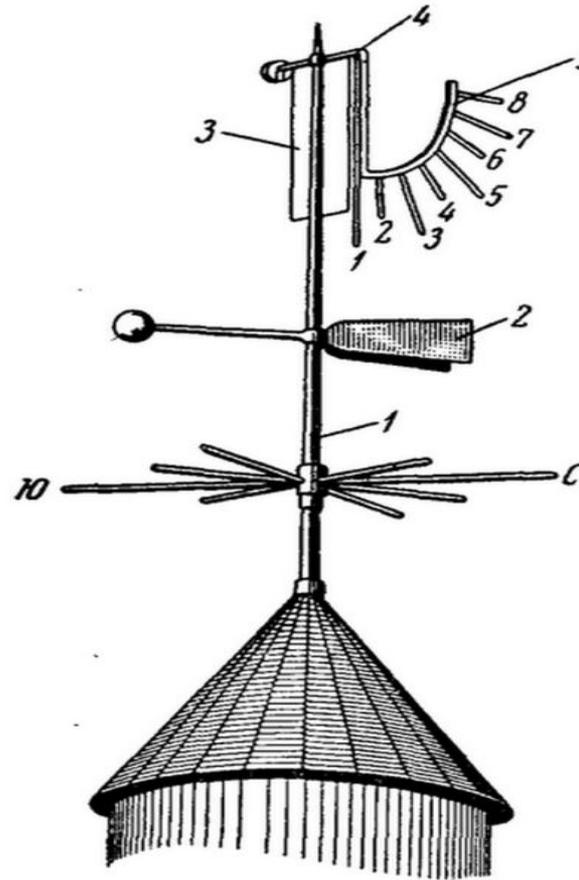
Для населения скорость выражается в метрах в секунду (м/с).

Для авиации – в километрах в час (км/ч)

Для морского флота – в узлах, т. е. в морских милях в час. Чтобы перевести скорость ветра из метров в секунду в узлы, достаточно умножить число метров в секунду на 2.

Скорость ветра оценивается и в баллах по так называемой *шкале Бофорта*.

Приборы для измерения скорости ветра



* Флюгер Вильда

Перевод единиц измерения скорости ветра

Перевести из:	Перевести в:						
	м/с	км/час	футов/мин н = ft/min	футов/с = ft/s	ярдов/мин н = yards/min	миль/час = mph	узлы = knots
1 м/с	1	3.6	196.9	3.28	65.6	2.24	1.94
1 км/час	0.278	1	54.68	0.91	18.23	0.62	0.54
1 фут/мин = ft/min	$5.08 \cdot 10^{-3}$	$1.83 \cdot 10^{-2}$	1	$1.67 \cdot 10^{-2}$	0.33	$1.14 \cdot 10^{-2}$	$9.87 \cdot 10^{-3}$
1 фут/с = ft/s	0.305	1.097	60	1	20	0.682	0.592
1 ярд/мин = yards/min	$1.52 \cdot 10^{-2}$	$5.49 \cdot 10^{-2}$	3	0.05	1	$3.41 \cdot 10^{-2}$	$2.96 \cdot 10^{-2}$
1 миля/час = mph	0.45	1.609	88	1.47	29.33	1	0.869
1 узел = knot	0.51	1.85	101.3	1.69	33.76	1.15	1

Перевод единиц измерения скорости ветра

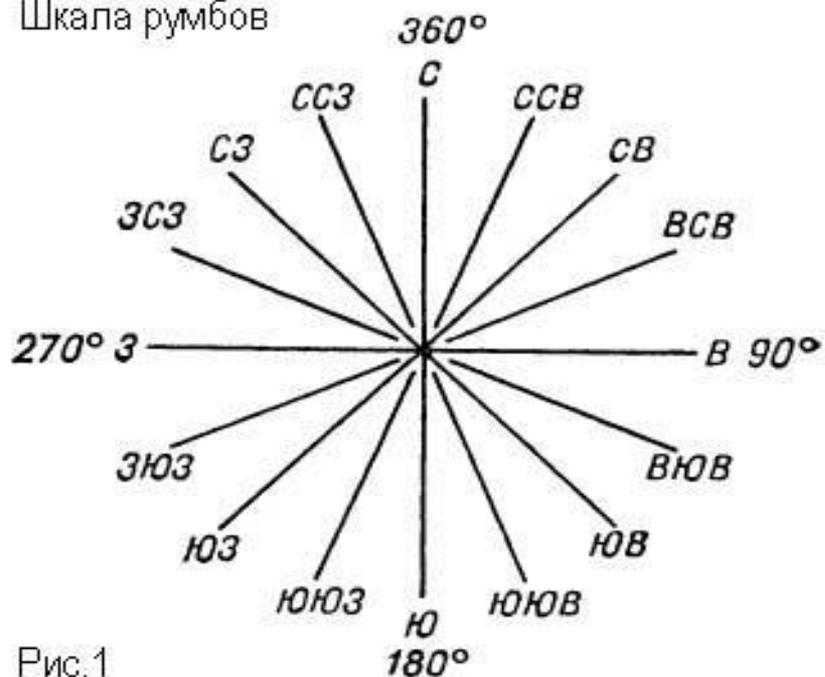
- 1 м/с = 6000 сантиметров в минуту
- 1 м/с = 100 сантиметров в секунду
- 1 м/с = 11811 футов в час / feet per hour
- 1 м/с = 2362.2 дюймов в минуту / inches per minute
- 1 м/с = 39.37 дюймов в секунду / inches per second
- 1 м/с = 1.942615 узлов / knots
- **1 м/с = 3600 метров в час, т.е. 3,6 км/ч**
- 1 м/с = 60 метров в минуту
- 1 м/с = 0.0373 миль в минуту / miles per minute
- 1 м/с = 0.00062 миль в секунду / miles per second

Перевод единиц измерения скорости ветра

5 км/ч	-	1,38 м/с	25 км/ч	-	6,94 м/с	105 км/ч	-	29,15 м/с
6 км/ч	-	1,66 м/с	30 км/ч	-	8,33 м/с	110 км/ч	-	30,55 м/с
7 км/ч	-	1,94 м/с	35 км/ч	-	9,72 м/с	115 км/ч	-	31,95 м/с
8 км/ч	-	2,22 м/с	40 км/ч	-	11,11 м/с	120 км/ч	-	33,33 м/с
9 км/ч	-	2,49 м/с	45 км/ч	-	12,50 м/с	125 км/ч	-	34,70 м/с
10 км/ч	-	2,77 м/с	50 км/ч	-	13,88 м/с	130 км/ч	-	36,07 м/с
11 км/ч	-	3,05 м/с	55 км/ч	-	15,30 м/с	135 км/ч	-	37,44 м/с
12 км/ч	-	3,34 м/с	60 км/ч	-	16,66 м/с	140 км/ч	-	38,81 м/с
13 км/ч	-	3,62 м/с	65 км/ч	-	18,05 м/с	145 км/ч	-	40,18 м/с
14 км/ч	-	3,88 м/с	70 км/ч	-	19,44 м/с	150 км/ч	-	41,55 м/с
15 км/ч	-	4,16 м/с	75 км/ч	-	20,00 м/с	160 км/ч	-	44,43 м/с
16 км/ч	-	4,44 м/с	80 км/ч	-	22,22 м/с	170 км/ч	-	47,21 м/с
17 км/ч	-	4,72 м/с	85 км/ч	-	23,70 м/с	180 км/ч	-	49,99 м/с
18 км/ч	-	5,00 м/с	90 км/ч	-	24,99 м/с	190 км/ч	-	52,76 м/с
19 км/ч	-	5,28 м/с	95 км/ч	-	26,36 м/с	200 км/ч	-	55,54 м/с
20 км/ч	-	5,55 м/с	100 км/ч	-	27,77 м/с			

Направление ветра

Шкала румбов



C	N	B	E	Ю	S	З	W
CCB	NNE	ВЮВ	ESE	ЮЮЗ	SSW	ЗСЗ	WNW
CB	NE	ЮВ	SE	ЮЗ	SW	СЗ	NW
BCB	ENE	ЮЮВ	SSE	ЗЮЗ	WSW	ССЗ	NNW

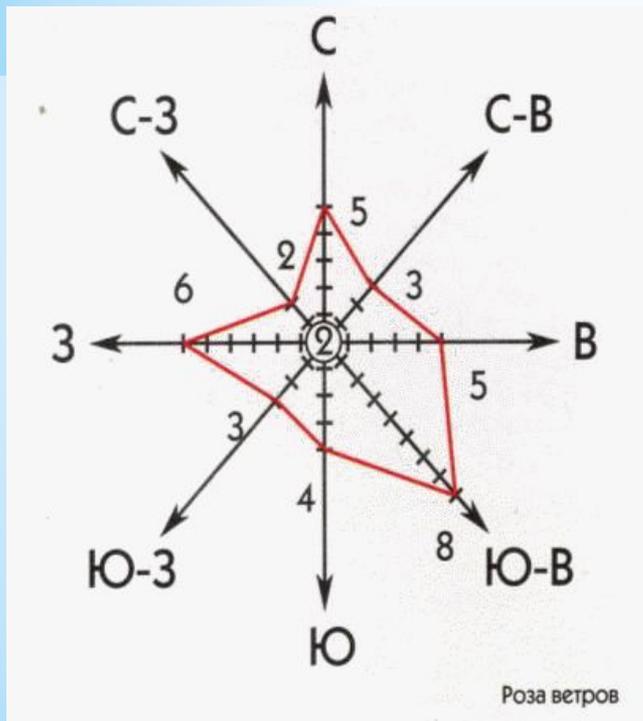
Рис.1

всего 16 румбов:

- С (360°)
- ССВ (22,5°)
- СВ (45°)
- ВСВ (67,5°)
- В (90°)



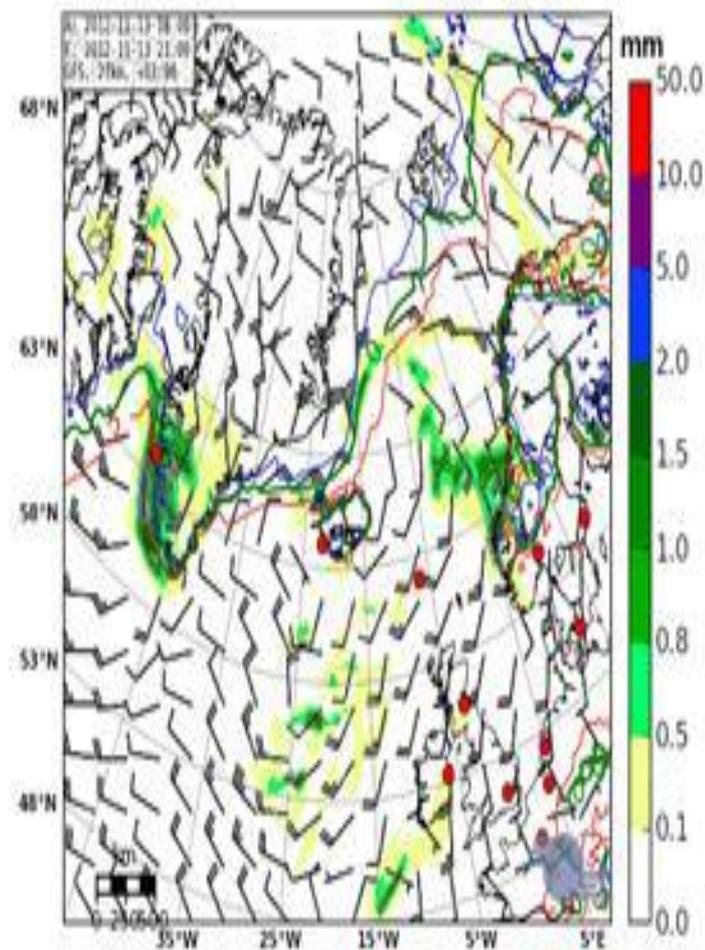
Роза ветров



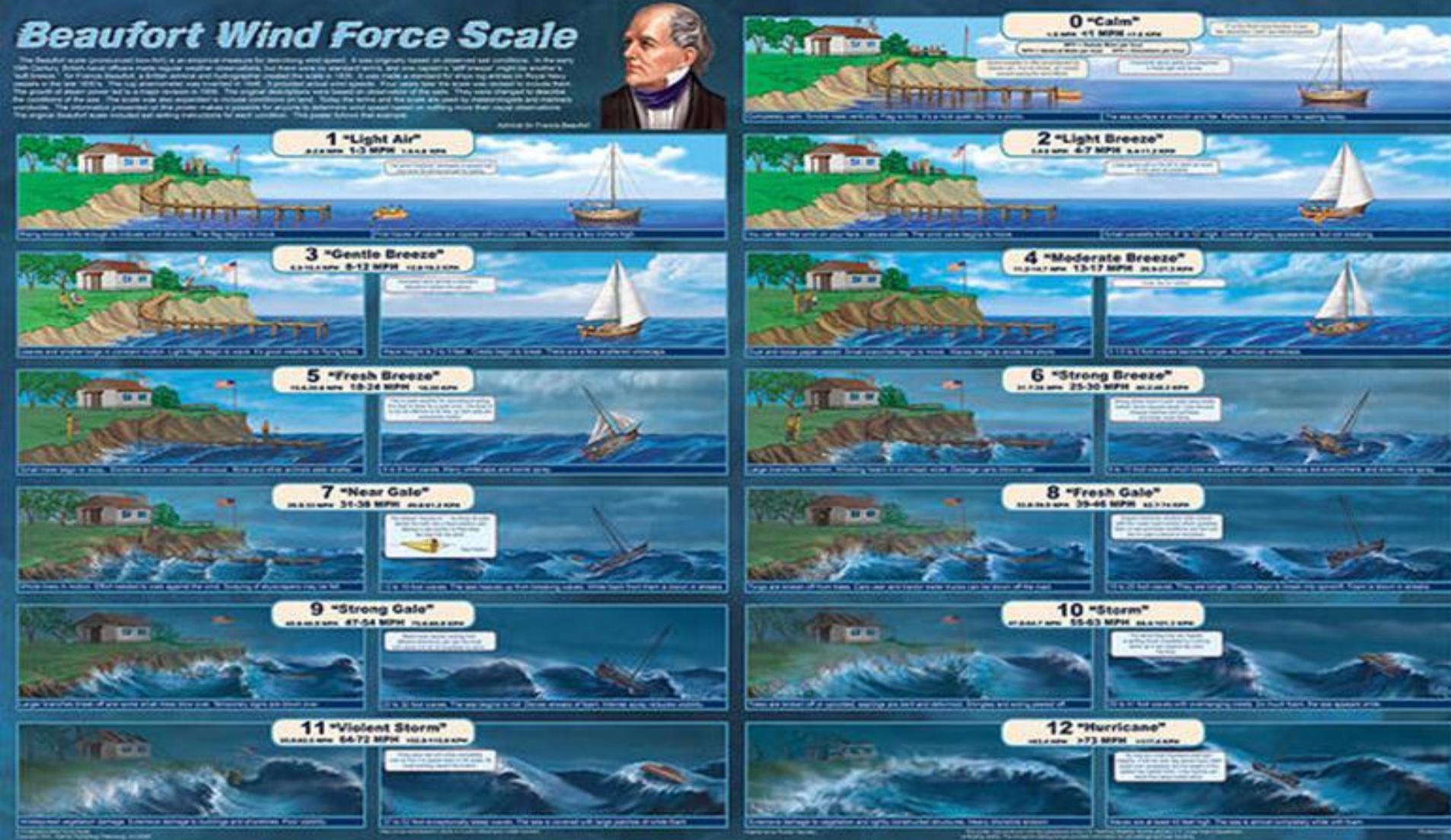
Цена деления – частота встречаемости ветра каждого направления, например, 1 раз (чаще делают 2).

Цифра в центре – количество штилей за период наблюдений (за неделю, за месяц).

Изображение силы ветра на карте



Шкала Бофорта



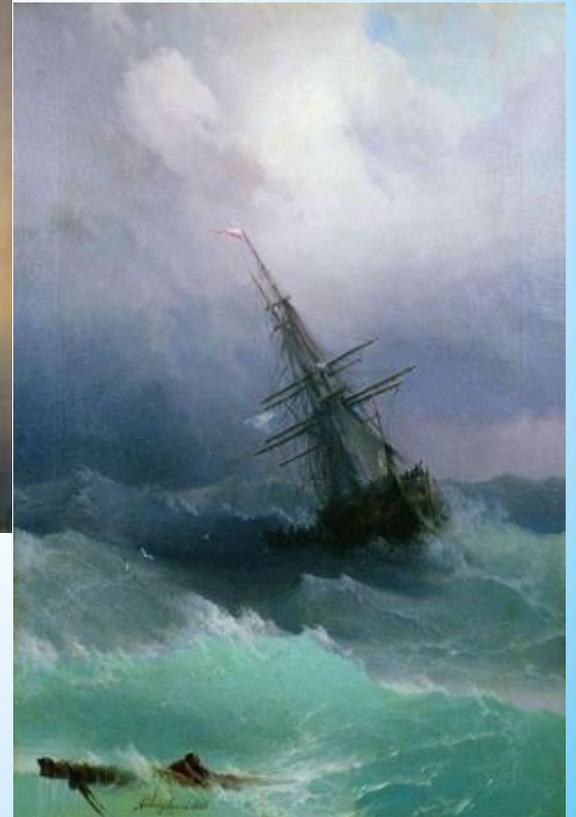
Художник-
маринист Иван
Константинович
Айвазовский

«Девятый вал»

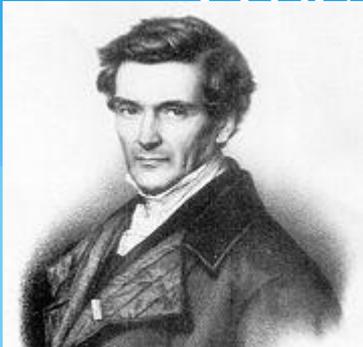
«Штиль»



«Буря»



Отклоняющая сила вращения Земли

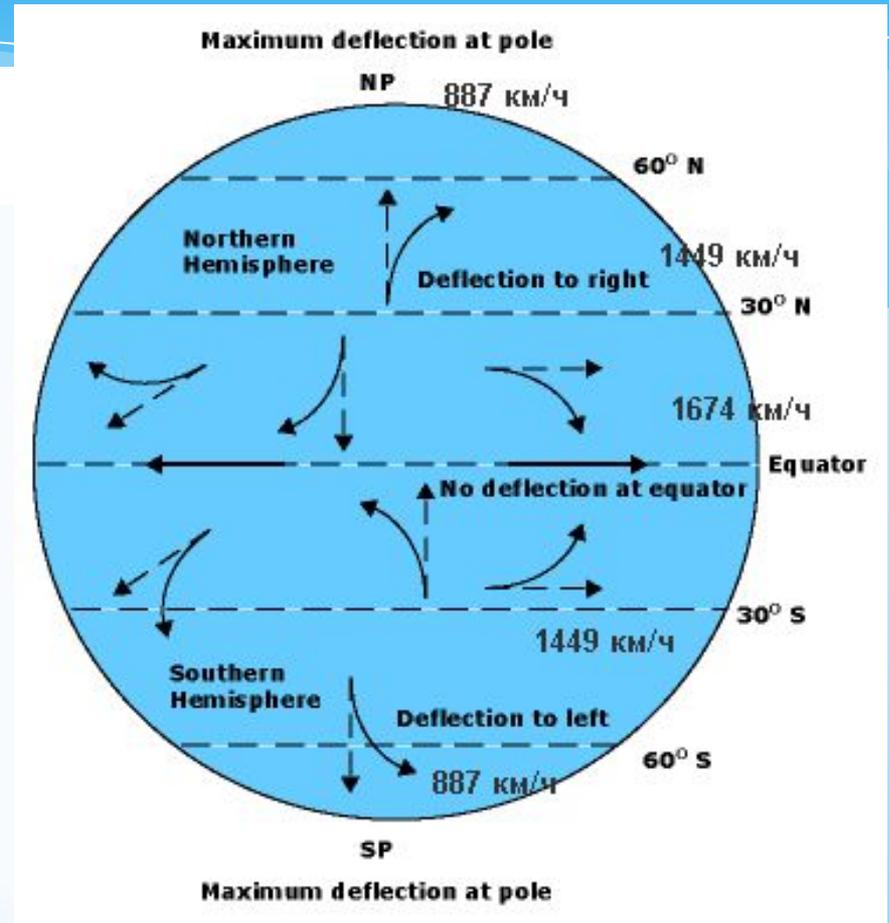


Гаспар-Гюста́в де Кориоли́с,
французский математик (19 век)

Атмосфера движется вместе с Землей примерно со скоростью планеты (на экваторе 1674 км/ч). Чем ближе к полюсам, тем скорость меньше, так как при вращении Земли траектория оказывается короче.

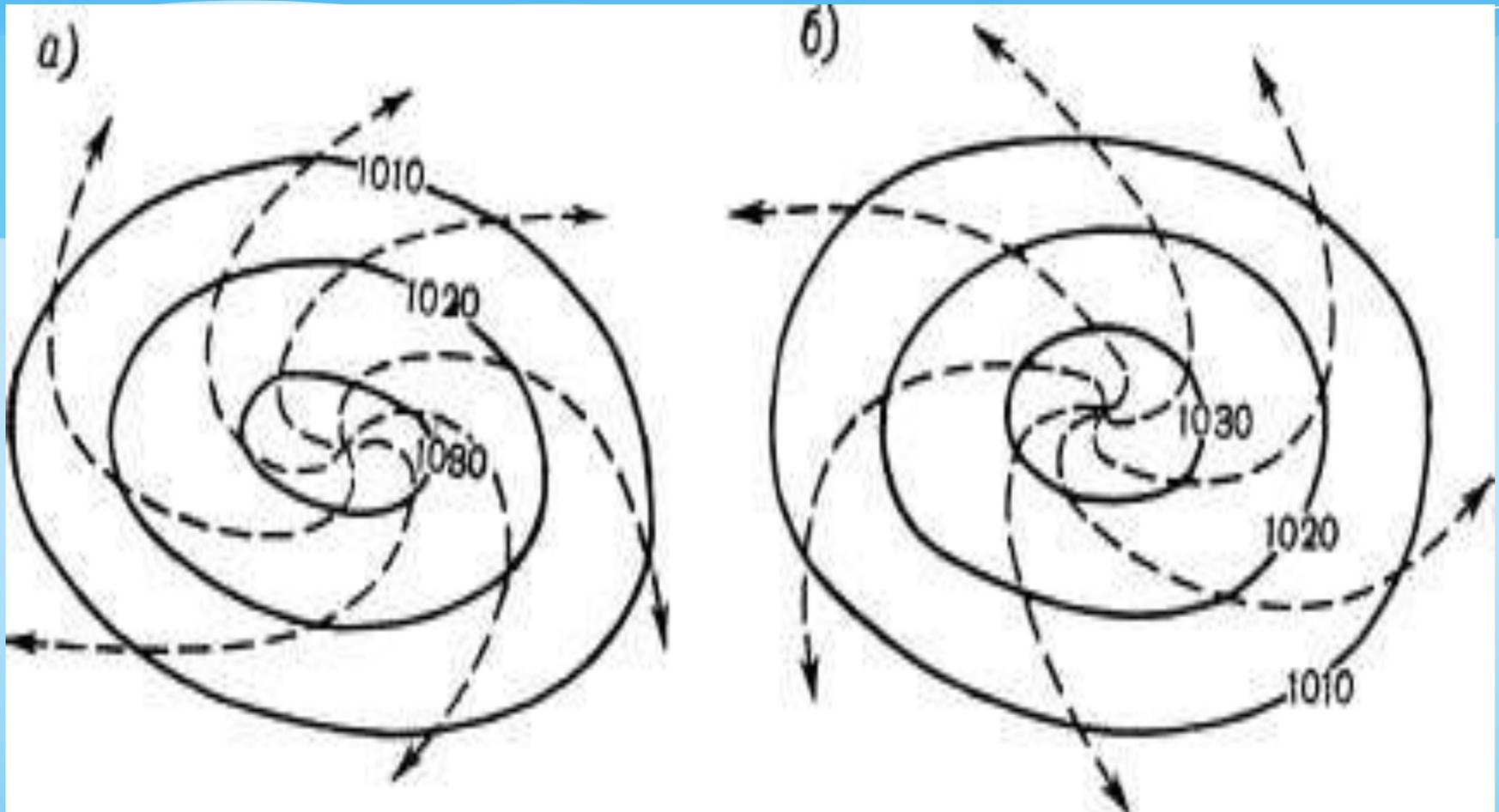
Скорость воздуха, перемещающегося от экватора к полюсам, выше скорости полярных воздушных масс.

Движущийся от экватора воздух отклоняется к востоку под действием силы Кориолиса. Прямо противоположная ситуация с воздухом, который идет в сторону экватора. В этом случае воздушные массы перемещаются из зон малых скоростей вращения в зону высокой скорости.

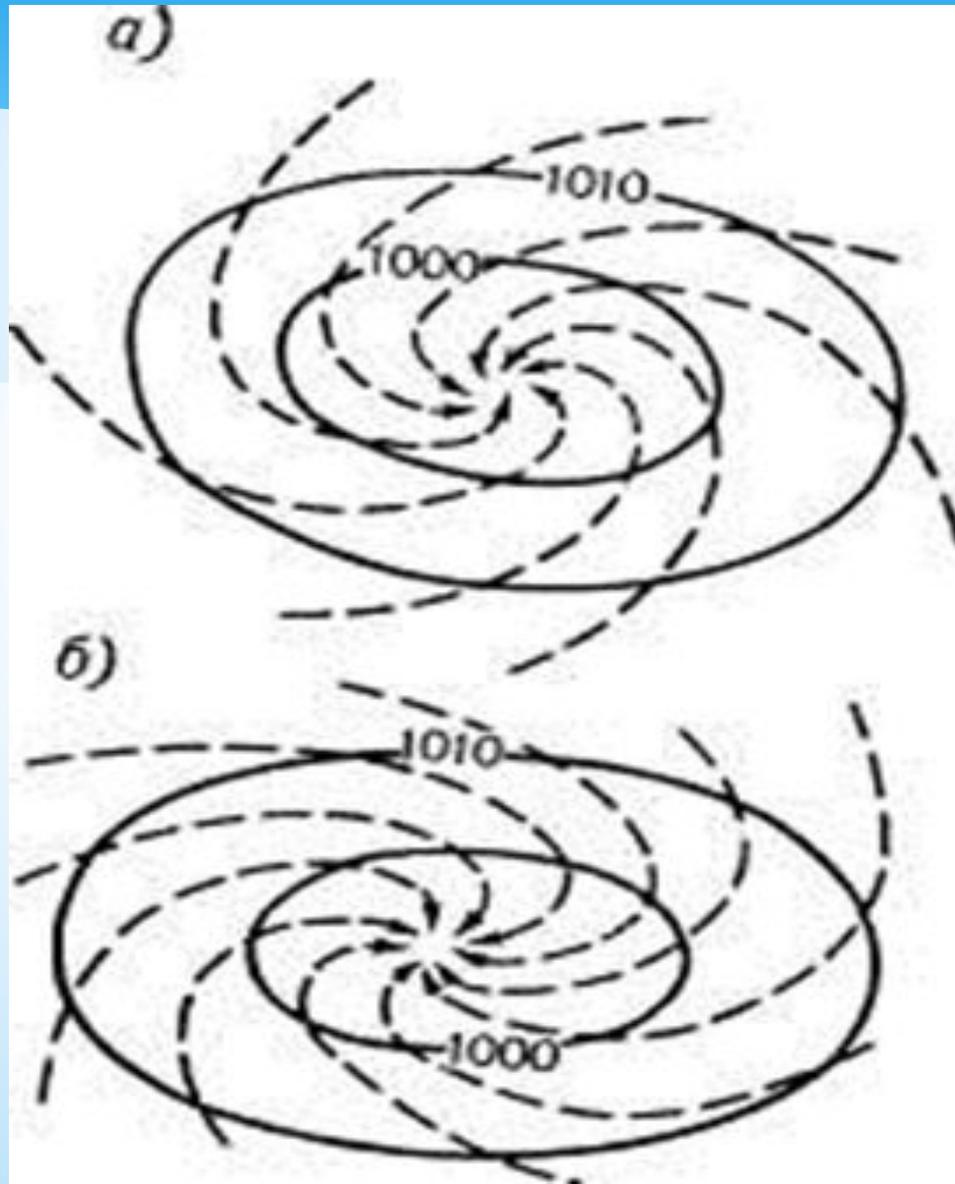


Антициклон. Изобары и приземные линии тока.

***а** — северное полушарие, **б** — южное полушарие.*



Циклон. Изобары и приземные линии тока.
а — северное полушарие, **б** — южное полушарие



Закономерности распределения направлений ветров по планете

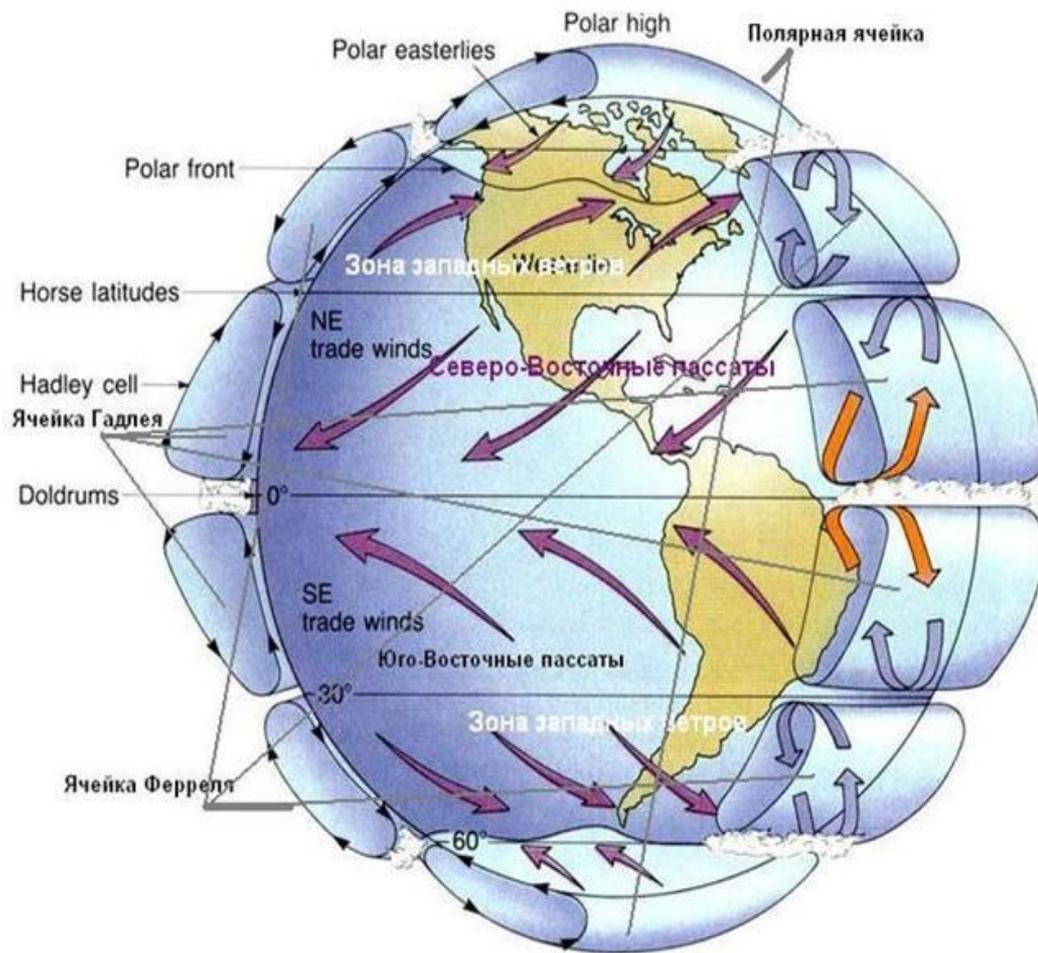


Figure 8•3 Idealized global circulation proposed for the three-cell circulation model.

Экватор – ветры дуют к экватору

Тропики – ветры дуют к югу и к северу

Полярные области – ветры дуют в сторону умеренных широт

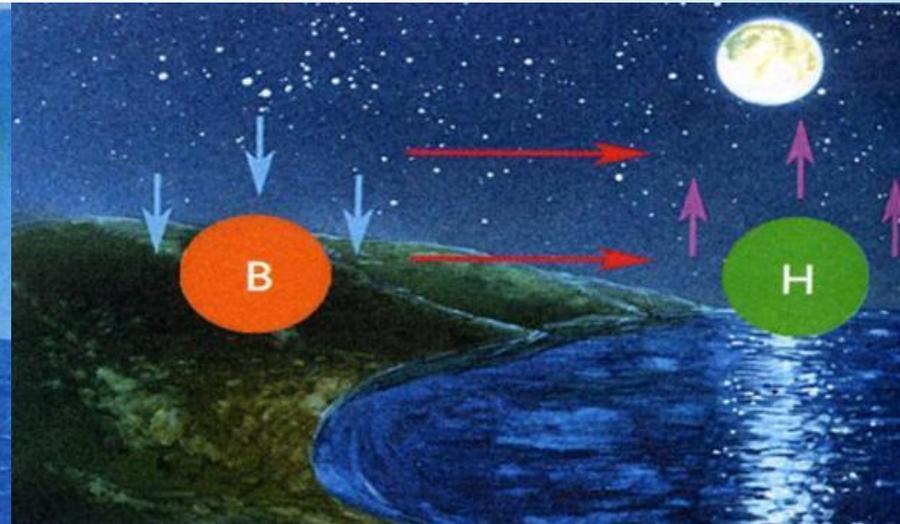
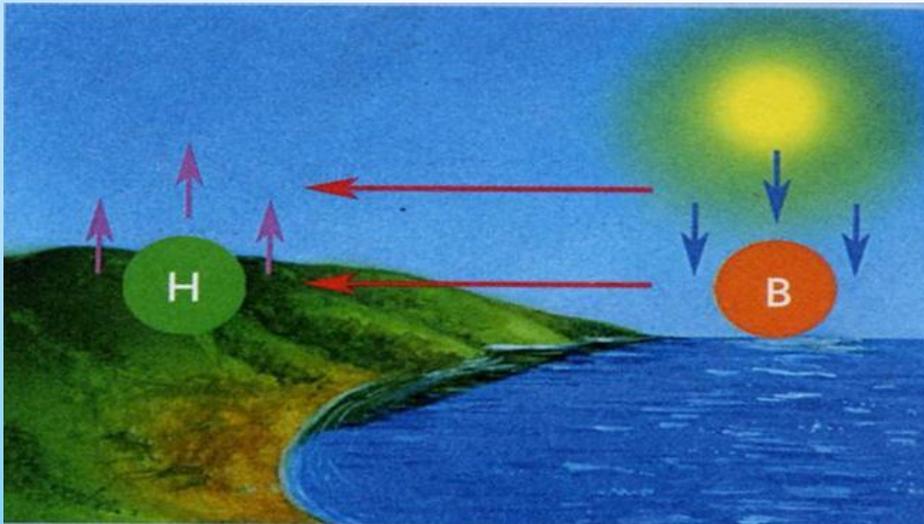
Местные ветры: БРИЗЫ

ДНЕВНОЙ БРИЗ:

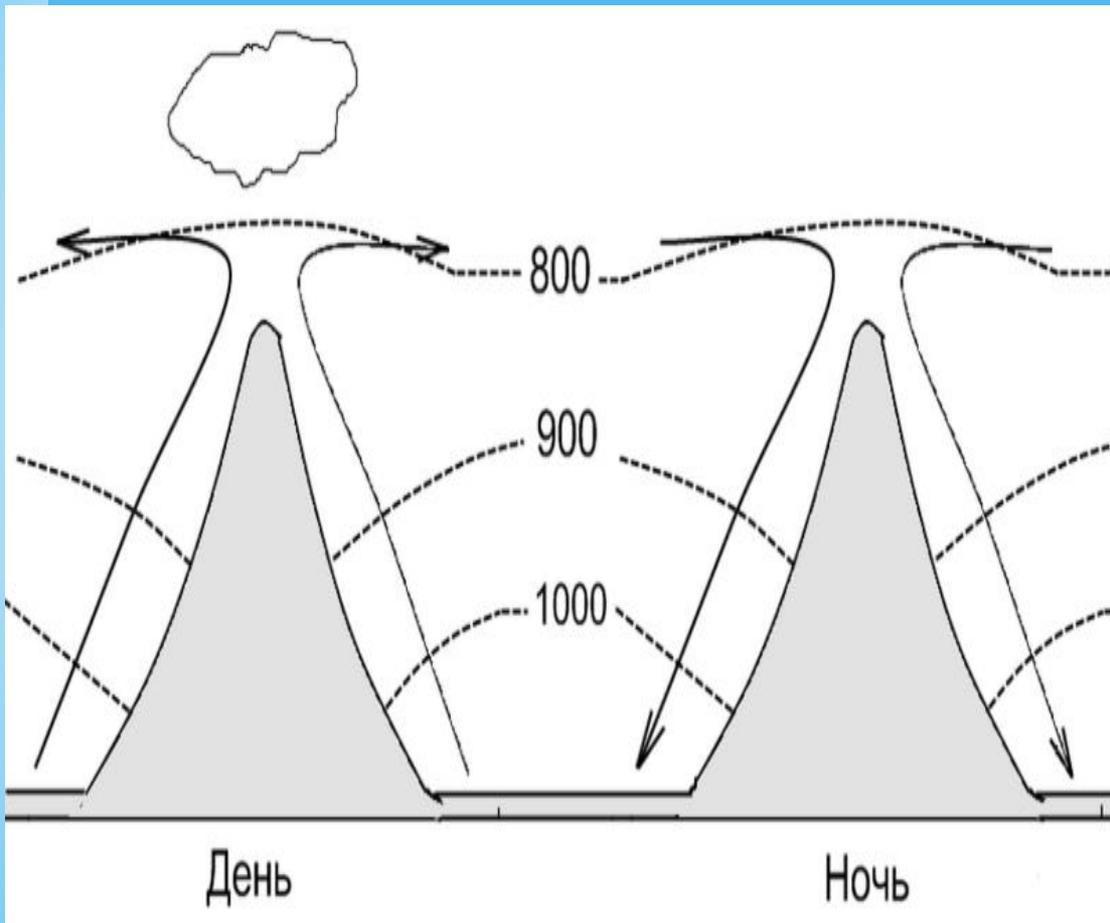
Направлен с воды на сушу (из области высокого давления к области низкого)

НОЧНОЙ БРИЗ:

направлен с суши на воду



Местные ветры: ГОРНО-ДОЛИННЫЕ ВЕТРЫ

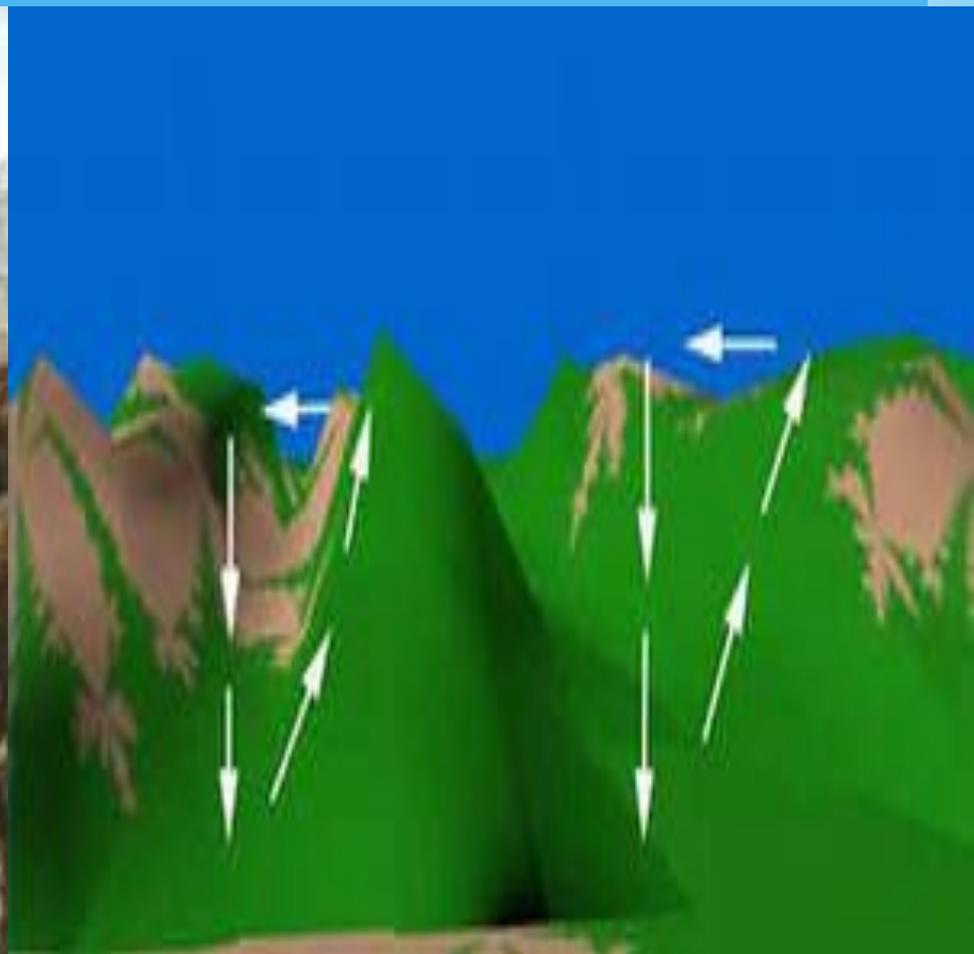


Ветра с суточной периодичностью, схожие с бризами, но наблюдаются в горных системах

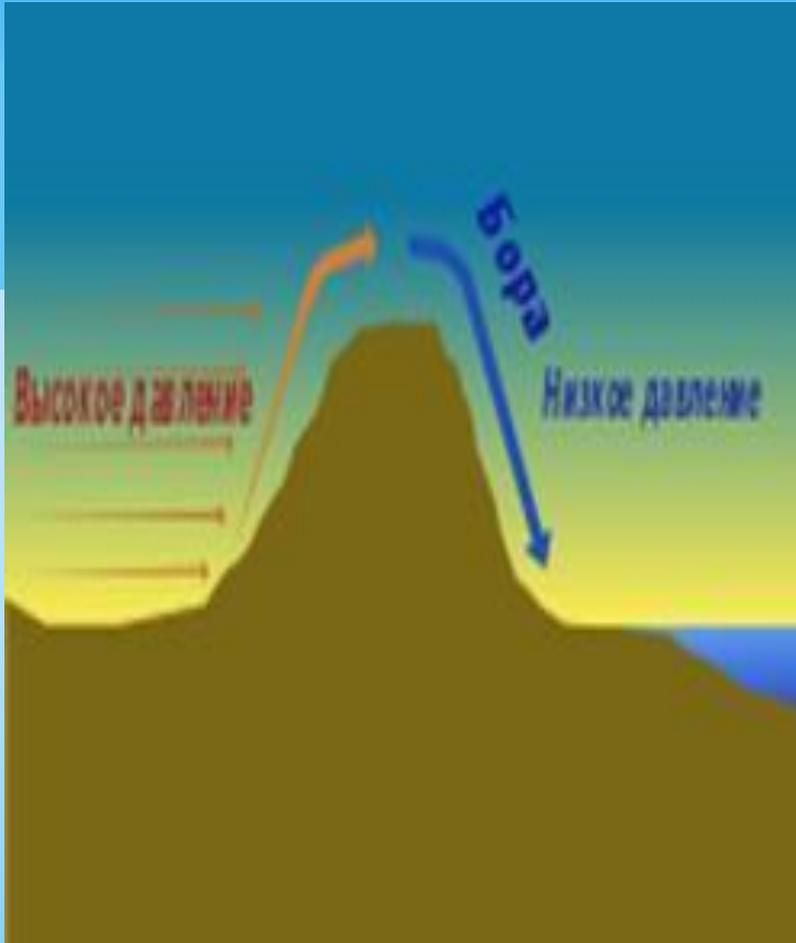
Днём ветер дует из горла долины вверх по долине, а также вверх по горным склонам.

Ночью – ветер дует вниз по долине, в сторону равнины.

Местные ветры: ГОРНО-ДОЛИННЫЕ ВЕТРЫ

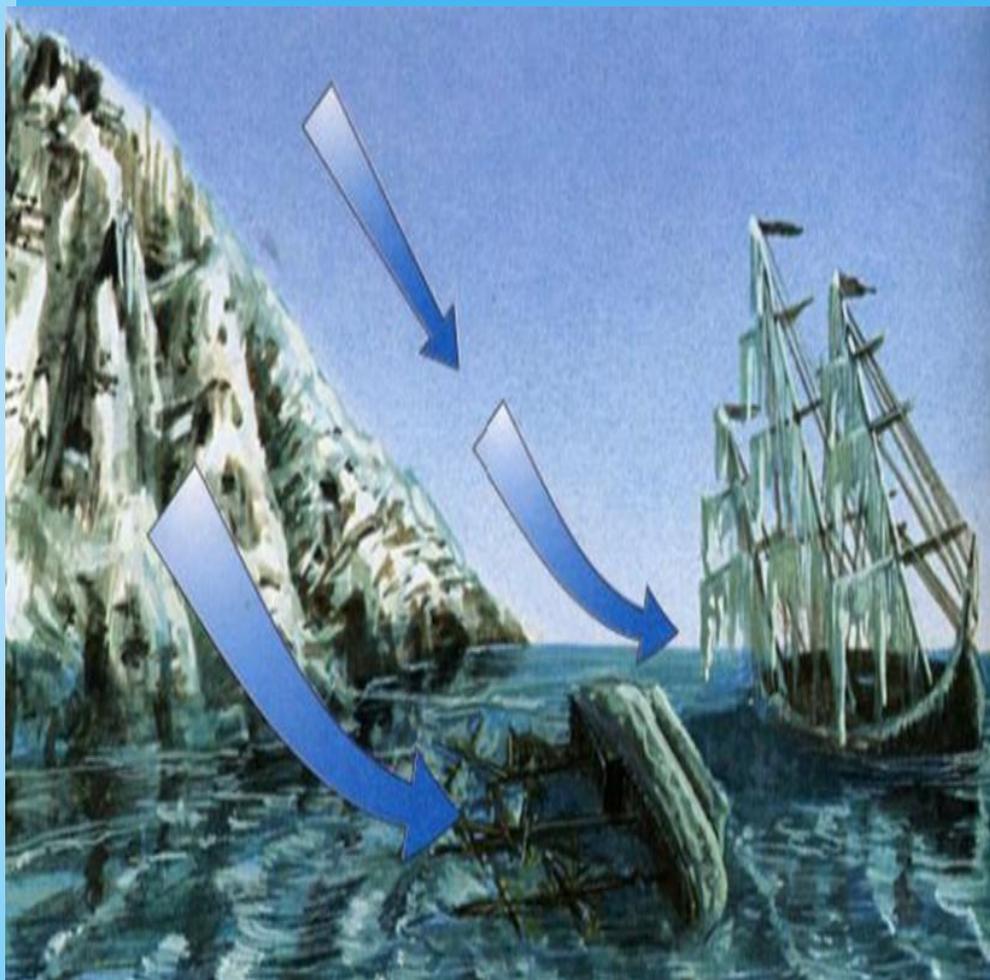


Местные ветры: БОРА



БОРА (от греч. boreas — северный ветер) — сильный холодный ветер с хребтов, разделяющих сильно охлажденную и более теплую (особенно приморскую) поверхность у их подножий. Образуется в холодную часть года при задержке внизу мощных и быстро перемещающихся холодных масс воздуха низкими горными хребтами. Переваливая через них, вершина холодной массы воздуха опережает нижнюю, не успевает прогреться и обрушивается вниз к нагретой поверхности с низким

Местные ветры: БОРА



Перед появлением боры у вершин гор можно наблюдать густые облака, которые называют «борода». Сначала ветер неустойчив: меняет направление и силу, но постепенно приобретает направление и огромную скорость — до 60 м/с. В 1928 году был зарегистрирован порыв ветра в 80 м/с.

Местные ветры: БОРА



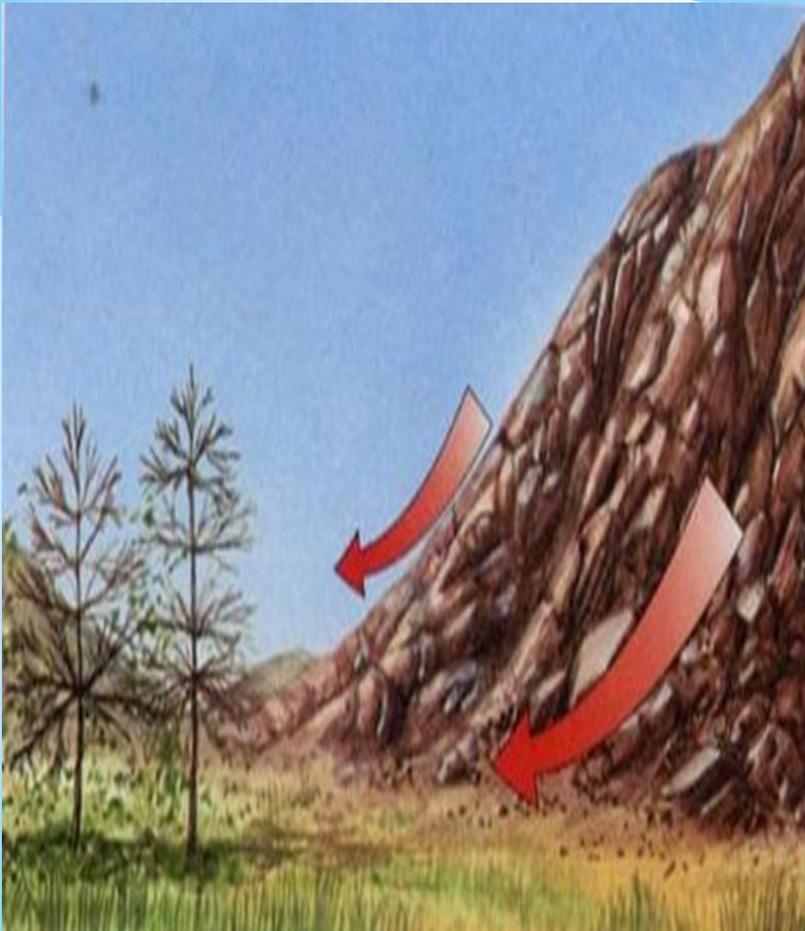
Местные ветры: ФЁН

ФЁН (теплый западный ветер) — сухой и теплый ветер, нисходящий с гор в долины, сильный и порывистый. Возникает при перетекании воздушного потока через гребень хребта.

При опускании воздуха по подветренному склону его температура возрастает, а влажность уменьшается. При этом усиливается таяние снега, возрастает возможность схода лавин, повышается испарение с почвенно-растительного покрова. Обычно длится менее суток, изредка до 5 или больше. Фён хорошо выражен в Альпах, на Кавказе, в горах Средней Азии.

В Скалистых горах США зафиксировано, что под действием фёна температура воздуха в течение 7 часов повысилась с -40 C до $+4\text{ C}$.

В Исландии при фёнах наблюдались повышения температуры почти на 30 C за несколько часов.



Местные ветры: ФЁН

Типы фёна:

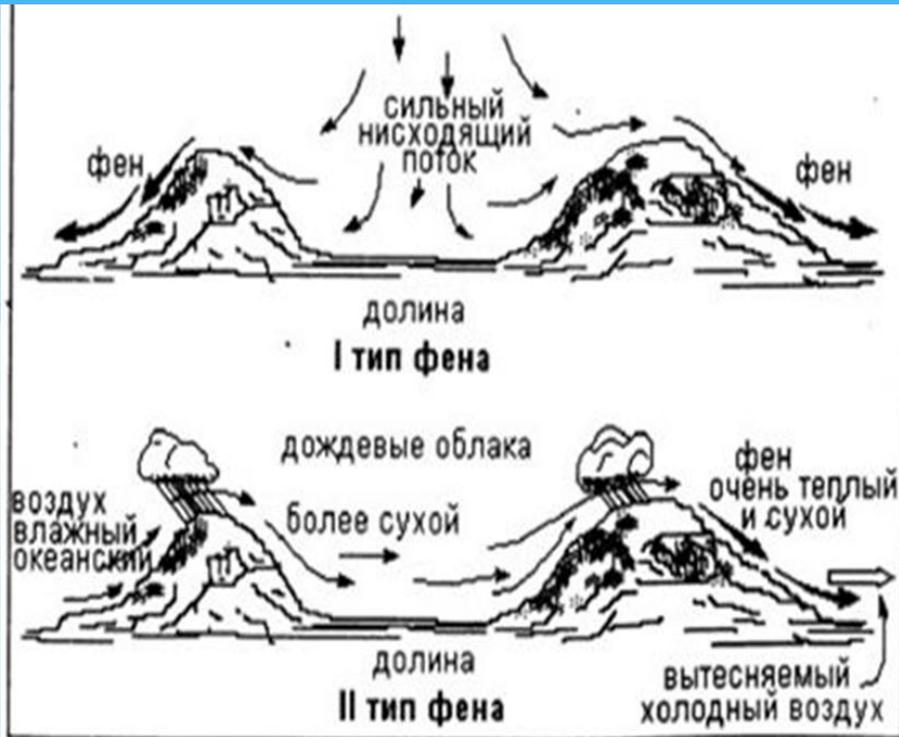


Рис.90 Типы ветров фен

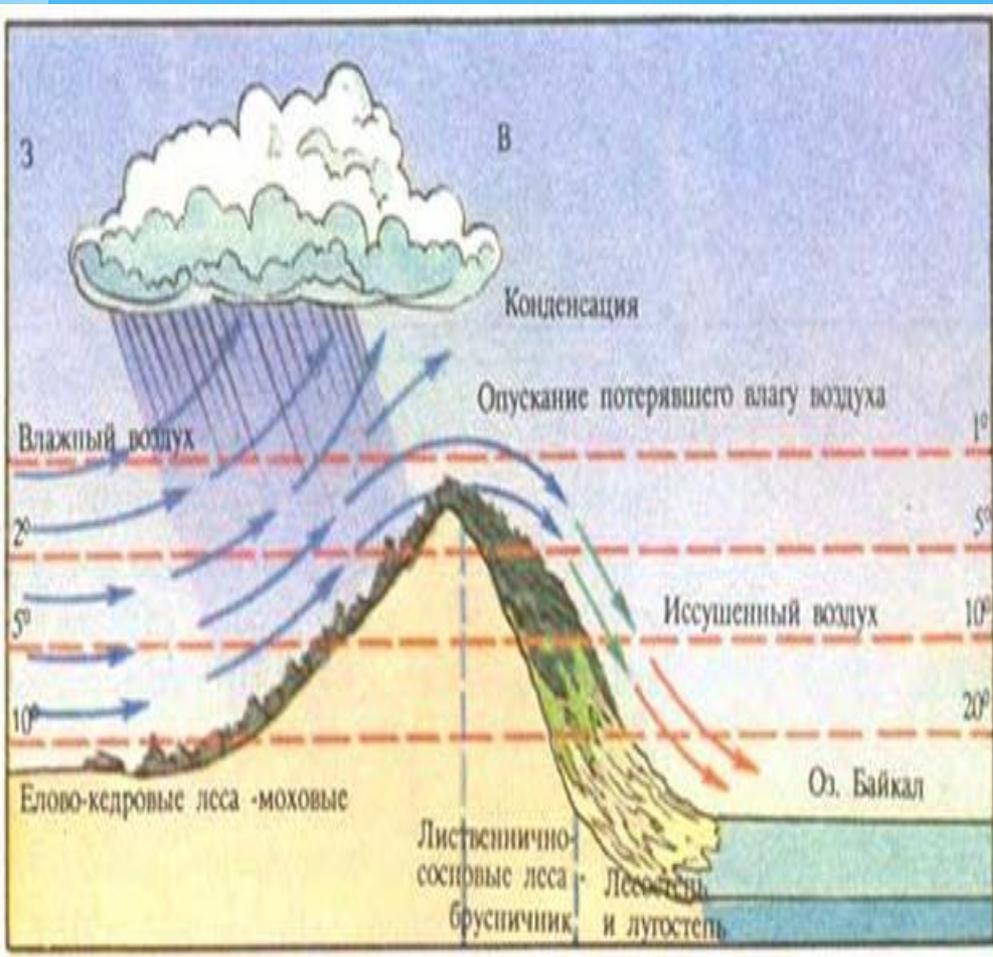
1 – возникает, когда холодные, сухие воздушные массы высокого давления застаиваются в запирающем их горном районе. Воздух начинает перетекать через вершины и, если в долинах по другую сторону гор низкое давление, возникает фен.

Скорость его 60 - 100 км/ч, отмеченный максимум около 150 км/ч. Этот ветер может продолжаться несколько дней с постепенным затиханием, внезапными прекращениями и возобновлениями. Он типичен для зимы и весны, когда существуют мощные барические системы.

2 – возникает, когда маловысотный слой влажного воздуха пересекает горы. Этот воздух нагревается и осушается.

Местные ветры: ФЁН

Влияние фёна на
распределение
ландшафтов
Байкальского хребта



Местные ветры: ХАМСИН



Спутниковый снимок Северной Сахары (Тунис сверху, Алжир слева, Ливия справа), размер показанной территории — порядка 1500 км на 2000 км

* **Хамсін** («пятьдесят») — сухой, изнуряюще жаркий ветер южных направлений на северо-востоке [Африки](#) и в странах Ближнего Востока. Температура воздуха выше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, при штормовой силе ветра. Наблюдается после весеннего равноденствия, дует 50 дней.

Местные ветры: ХАМСИН



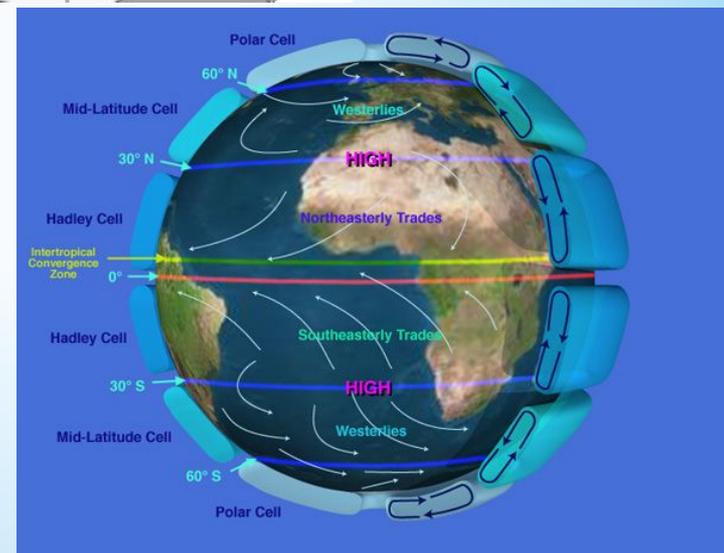
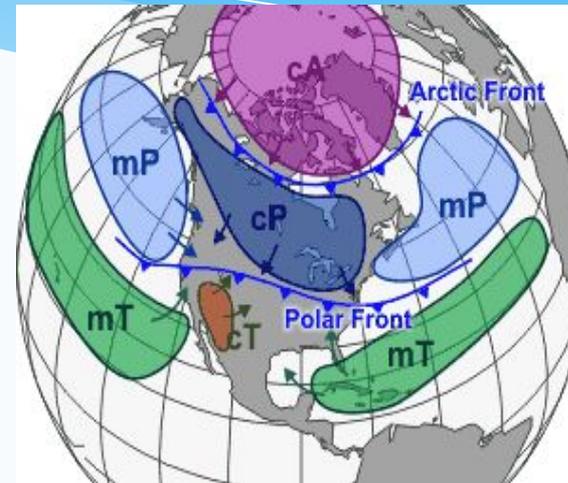
Воздушные массы

Это большие объёмы воздуха в тропосфере с однородной температурой и влажностью по горизонтали.

Однородность достигается формированием над однородной подстилающей поверхностью в сходных условиях теплового и радиационного баланса.

В переходной зоне между двумя воздушными массами формируется зона атмосферного фронта.

Различные воздушные массы, господствующие над Северным полушарием

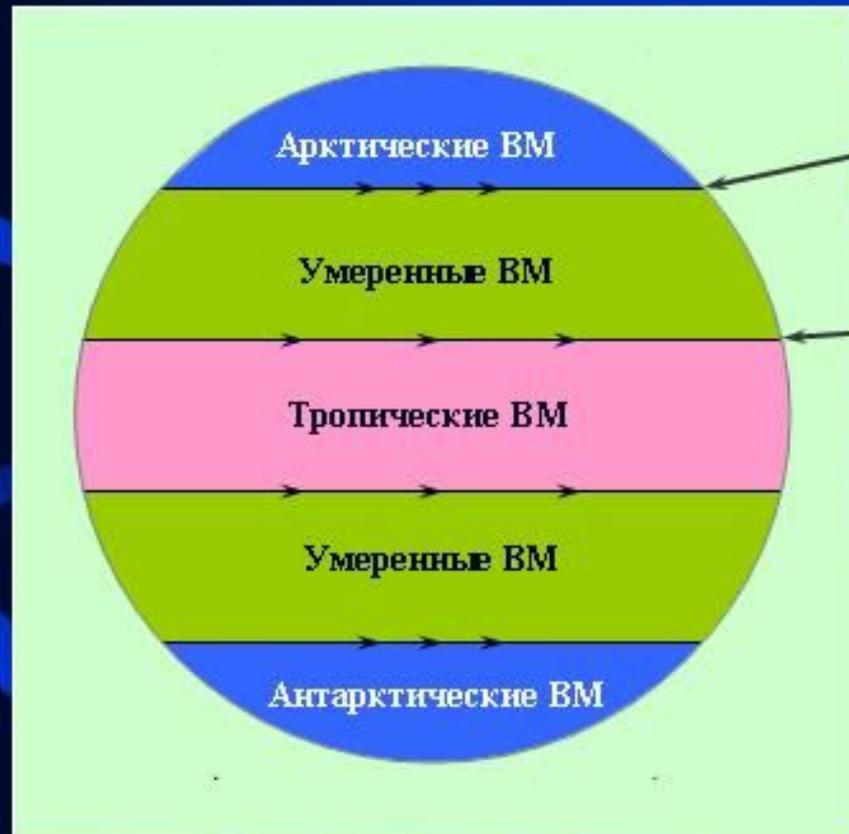


*Различают **4** основных типа воздушных масс:*

Различают 4 основных типа воздушных масс: полярные, умеренные, тропические и экваториальные.

Формируются над пространством суши и моря, а т.к. они нагреваются по-разному, то в каждом из этих типов могут образовываться и подтипы — континентальные и морские воздушные массы

Распределение воздушных масс (ВМ) и атмосферных фронтов (АФ)



Арктический АФ

Полярный АФ

Атмосферный фронт – граница раздела воздушных масс, обладающих разными свойствами

Трансформация воздушных масс

Воздушные массы перемещаются из-за неравномерного нагрева земной поверхности и разности давления. Если бы не происходило движение воздушных масс, то на экваторе среднегодовая температура была бы на 13° выше, а на широтах 70° — на 23° ниже, чем в настоящее время.

Вторгаясь в районы с иными тепловыми свойствами поверхности, воздушные массы трансформируются. Например, морской умеренный воздух, поступая на сушу и продвигаясь в глубь материка, постепенно нагревается и иссушается, превращаясь в континентальный. Трансформация воздушных масс особенно характерна для умеренных широт, в которые время от времени вторгается теплый и сухой воздух из тропических широт и холодный и сухой — из приполярных

Характеристика воздушных масс

Полярный воздух

формируется над ледяной поверхностью полярных широт; характеризуется низкими температурами, малой влажностью.

Вторгаясь в низкие широты, арктический воздух значительно понижает температуру. Равнинный рельеф способствует его проникновению далеко в глубь материка (Западная Сибирь).

По мере продвижения на юг равнины арктический воздух нагревается и способствует образованию суховеев, которые вызывают частые в этом районе засухи.

Морской арктический воздух более влажен, чем континентальный

Характеристика воздушных масс

Умеренные воздушные массы

формируются в умеренных широтах.

Континентальные умеренные ВМ зимой очень холодные и сухие. С вторжением континентальных ВМ устанавливается ясная морозная погода.

Летом континентальный воздух сухой и жаркий.

Морские воздушные массы умеренных широт влажные, умеренной температуры; зимой приносят оттепели, летом — пасмурную погоду и похолодание.

Характеристика воздушных масс

Тропические воздушные массы

круглый год формируются в тропиках.

Обычно морская их разновидность отличается высокой влажностью и температурой,

а континентальная — запыленностью, сухостью и еще более высокой температурой.

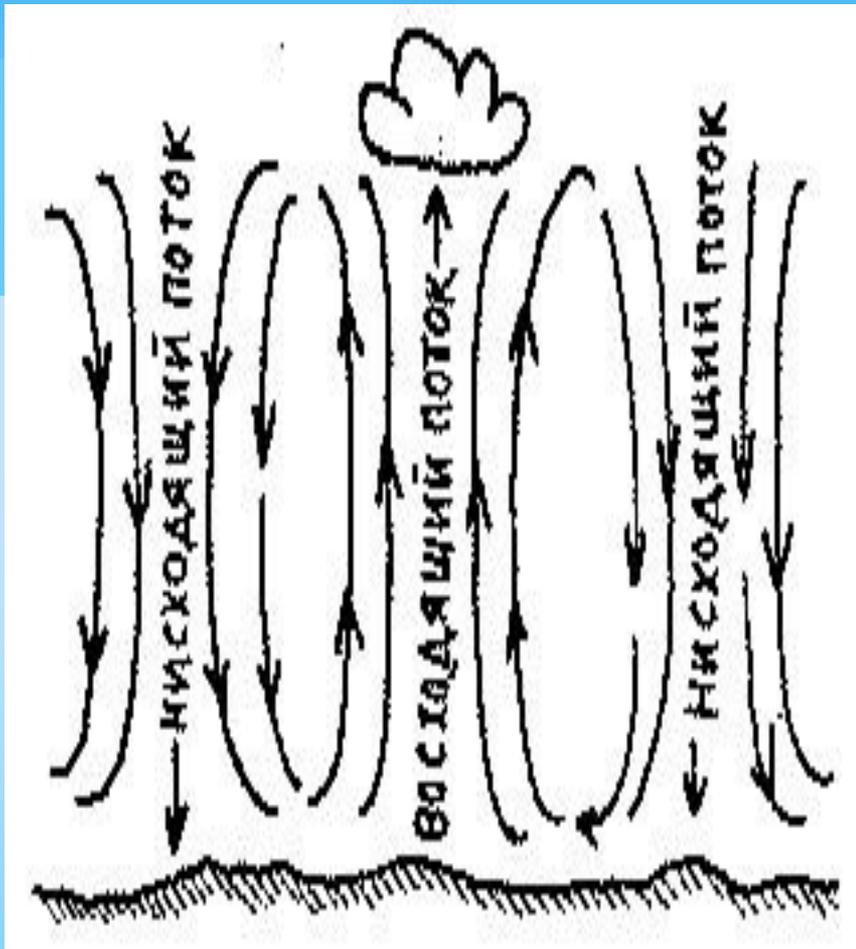
Характеристика воздушных масс

Экваториальные воздушные массы

образуются в экваториальной зоне. Движение Земли вокруг своей оси способствует перемещению воздушных масс то в Северное полушарие, то в Южное.

Характеризуются высокой температурой и большой влажностью. Не имеют четкого деления на морские воздушные массы и континентальные.

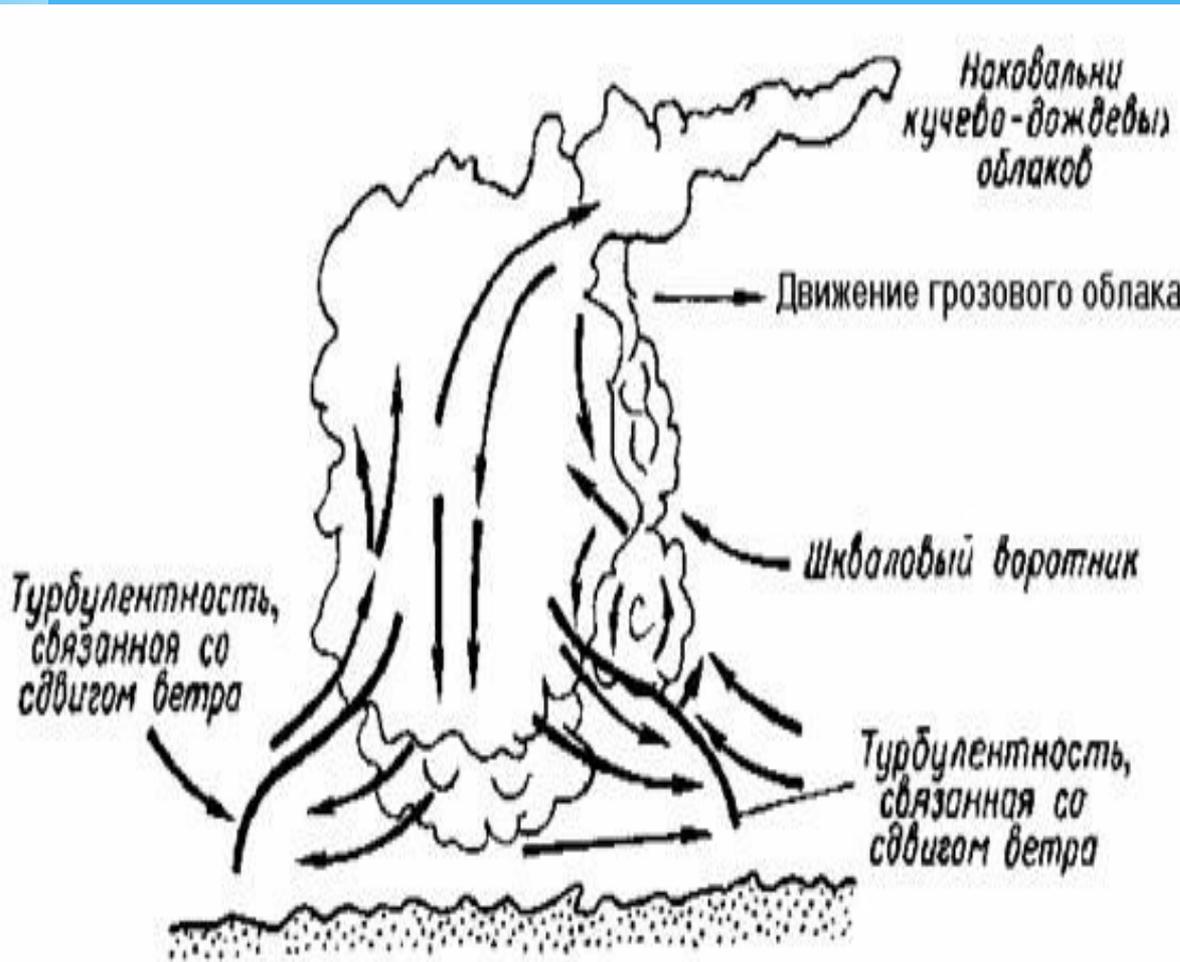
Динамика воздушных масс



Динамика связана с неравномерным прогревом подстилающей поверхности.

Над тёплой возникают восходящие токи воздуха, над холодной – нисходящие.

Динамика воздушных масс



Отток воздуха вызывает дефицит давления и вызывает приток более холодных масс.

Воздух опускается на соседних участках и компенсирует его дефицит.

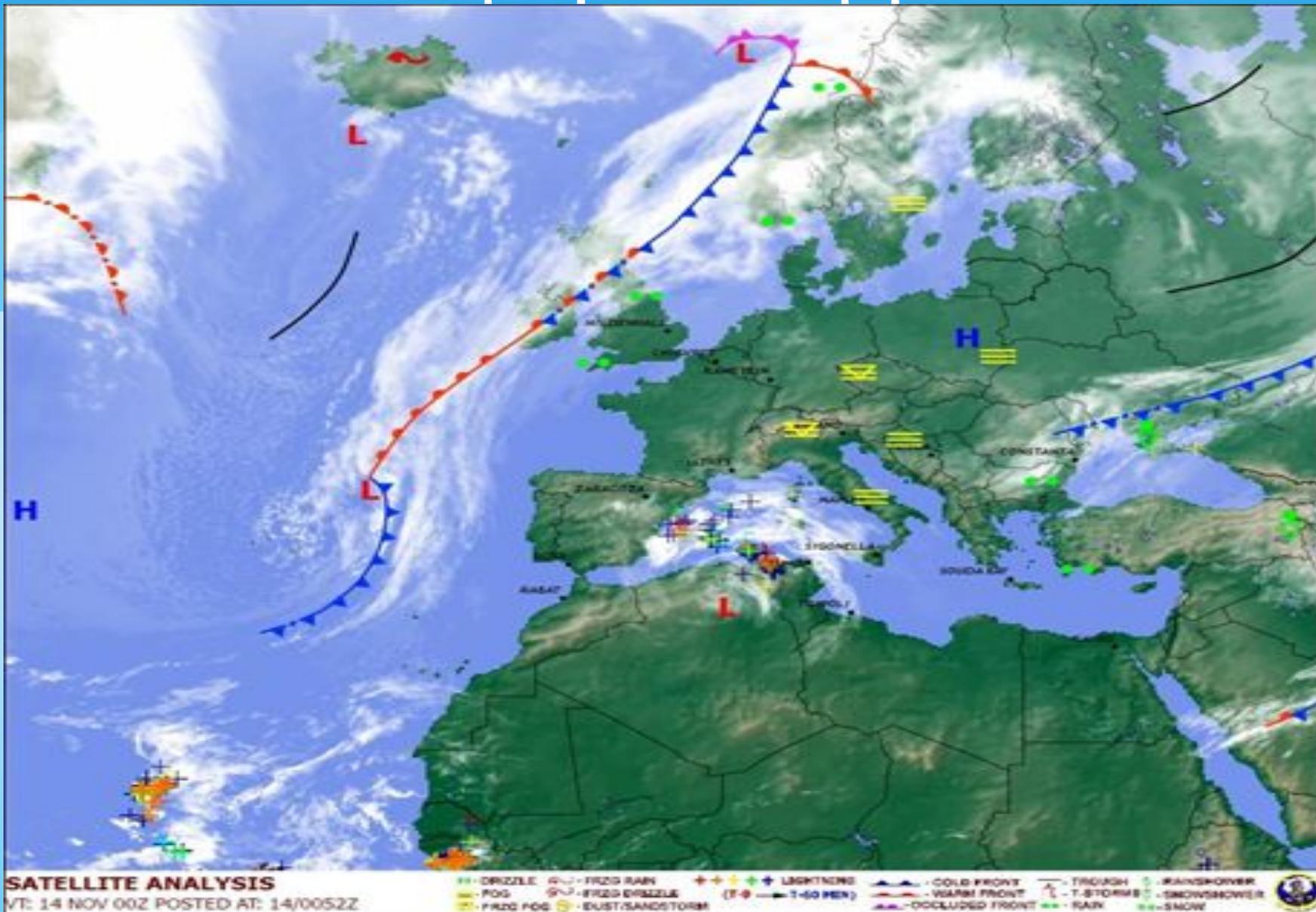
Динамика воздушных масс



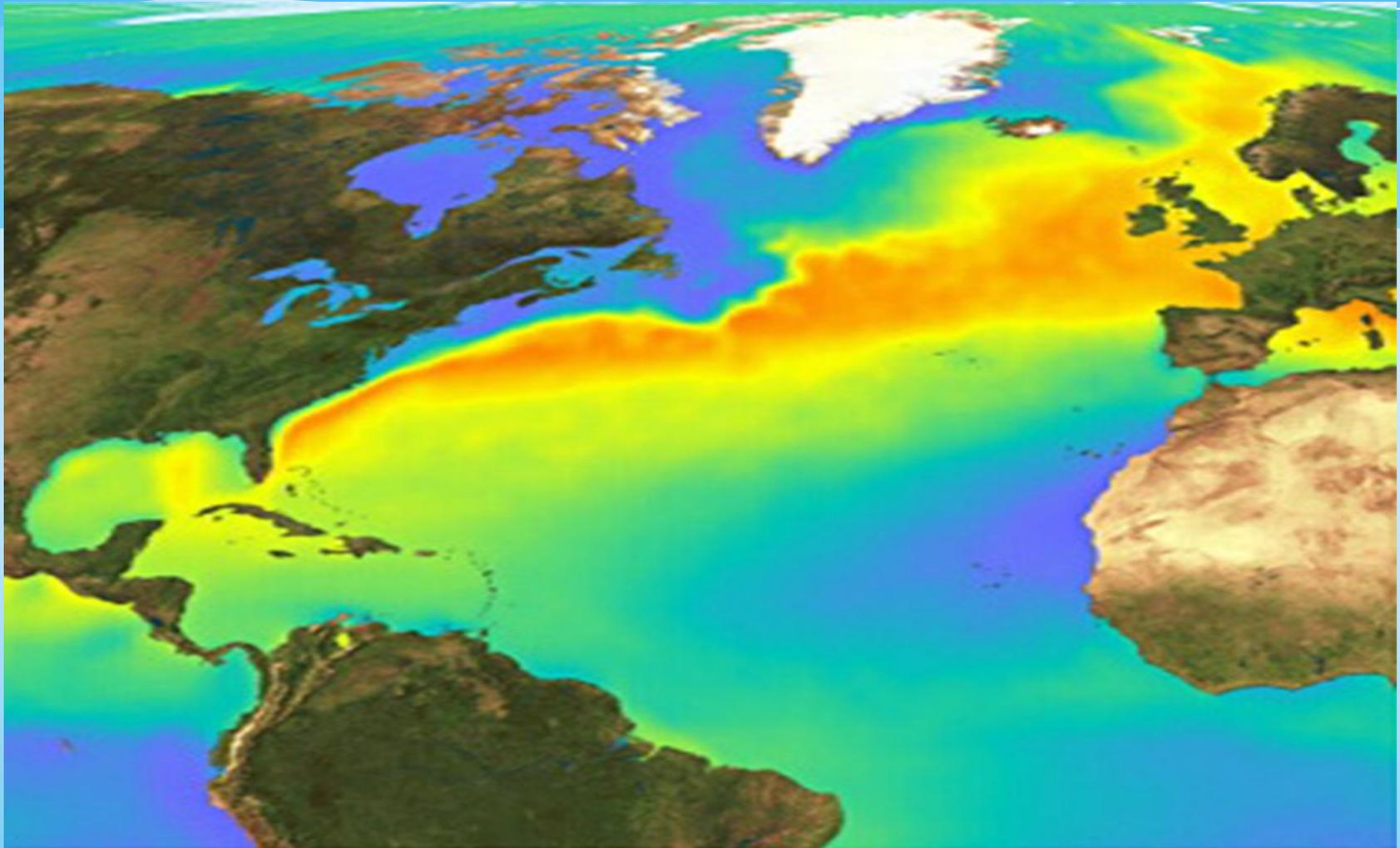
Наоборот, при опускании воздуха над холодной поверхностью, он давит и расталкивает тёплый воздух.

*В обоих случаях
наступает
термическая
циркуляция воздуха*

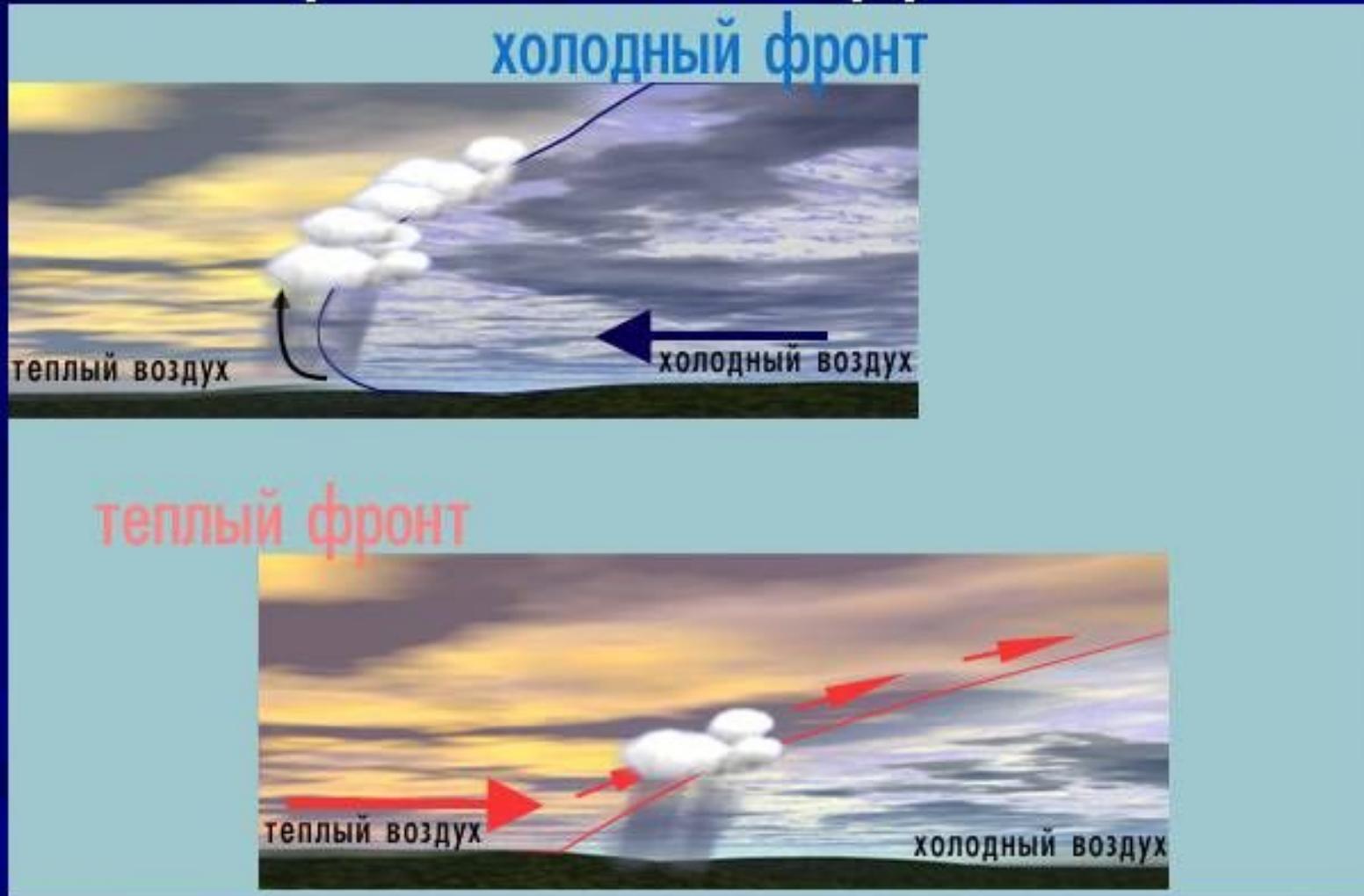
Атмосферные фронты



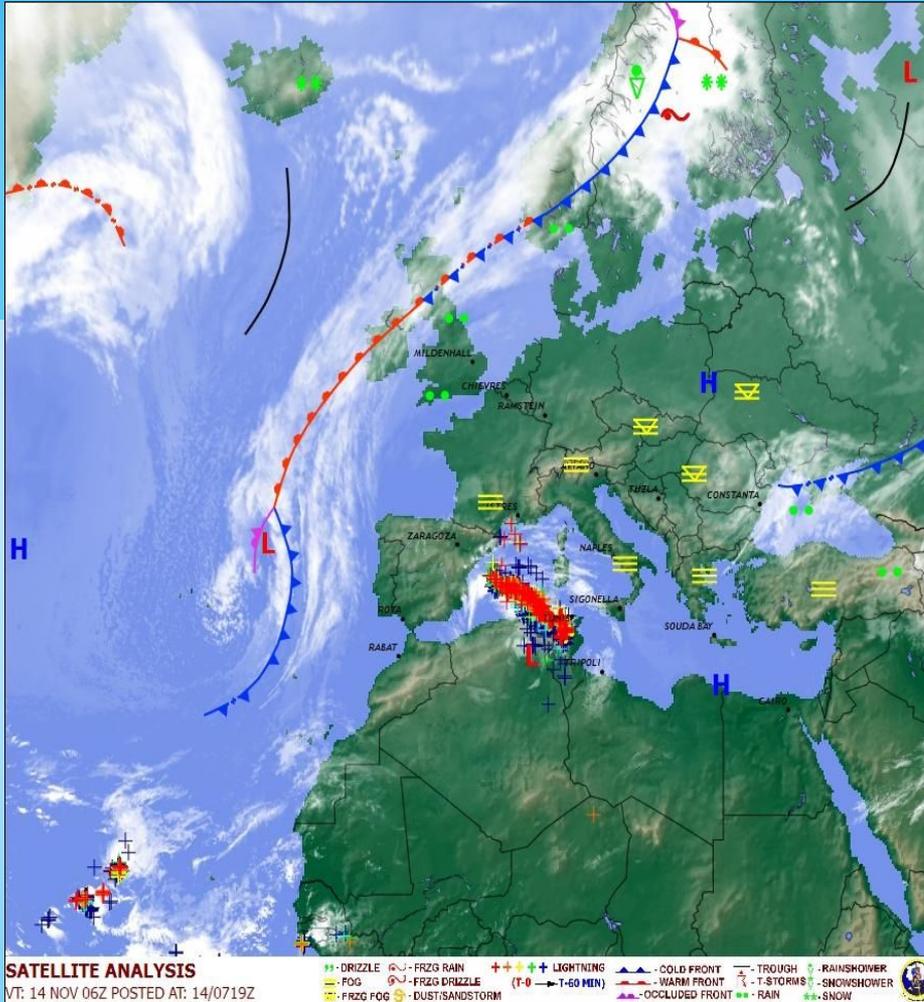
Фронтальный раздел Гольфстримом



Образование фронтов



Атмосферные фронты



Атмосферный фронт — переходная зона в тропосфере между смежными воздушными массами с разными физическими свойствами.

Возникает при сближении и встрече масс холодного и тёплого воздуха в нижних слоях атмосферы или во всей тропосфере, охватывая слой мощностью до нескольких км, с образованием между ними наклонной поверхности раздела.

Тёплый фронт

Warm
Front



Тёплый фронт — перемещается в сторону более холодного воздуха. За тёплым фронтом в данный регион приходит тёплая **воздушная масса**.

На карте **погоды** тёплый фронт отмечается красным цветом или зачернёнными полукругами, направленными в сторону перемещения фронта.

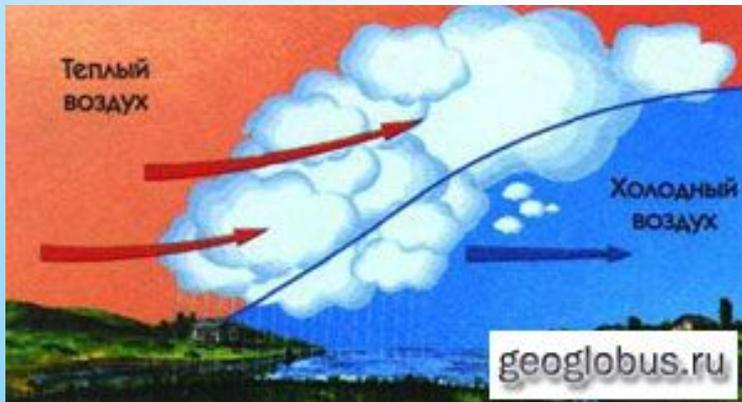
По мере приближения линии тёплого фронта начинает падать давление, уплотняются облака, выпадают обложные осадки.

Зимой при прохождении фронта обычно появляются низкие слоистые облака. Температура и влажность воздуха медленно повышаются. При прохождении фронта температура и влажность обычно быстро возрастают, ветер усиливается.

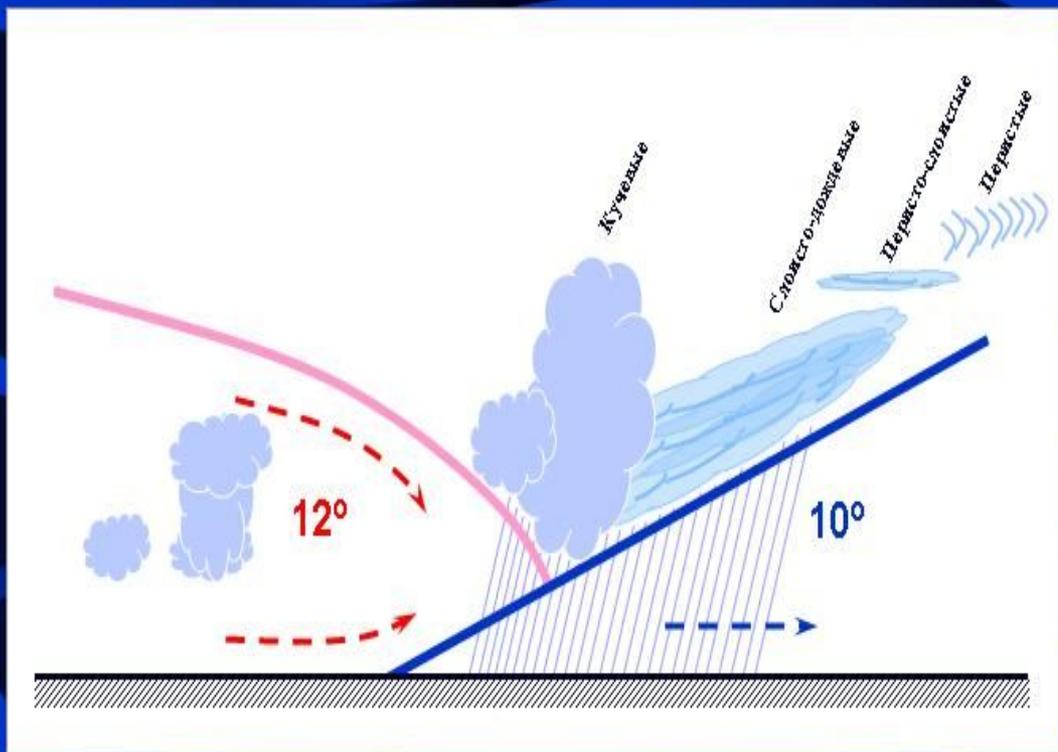
После прохождения фронта направление ветра меняется (ветер поворачивает по часовой стрелке), падение давления прекращается и начинается его слабый рост, облака рассеиваются, осадки прекращаются.

Барическое поле:

перед тёплым фронтом располагается замкнутая область падения давления, за фронтом — либо рост давления, либо относительный рост (падение, но меньшее, чем перед фронтом).



Теплый фронт



Теплый фронт образуется, когда теплый воздух движется в сторону холодного, оттесняя его

Тёплый воздух, перемещаясь в сторону холодного, натекает на клин холодного воздуха и совершает восходящее скольжение вдоль этого клина и динамически охлаждается. На некоторой высоте, определяемой начальным состоянием восходящего воздуха, достигается насыщение — это уровень конденсации. Выше этого уровня в восходящем воздухе происходит облакообразование.

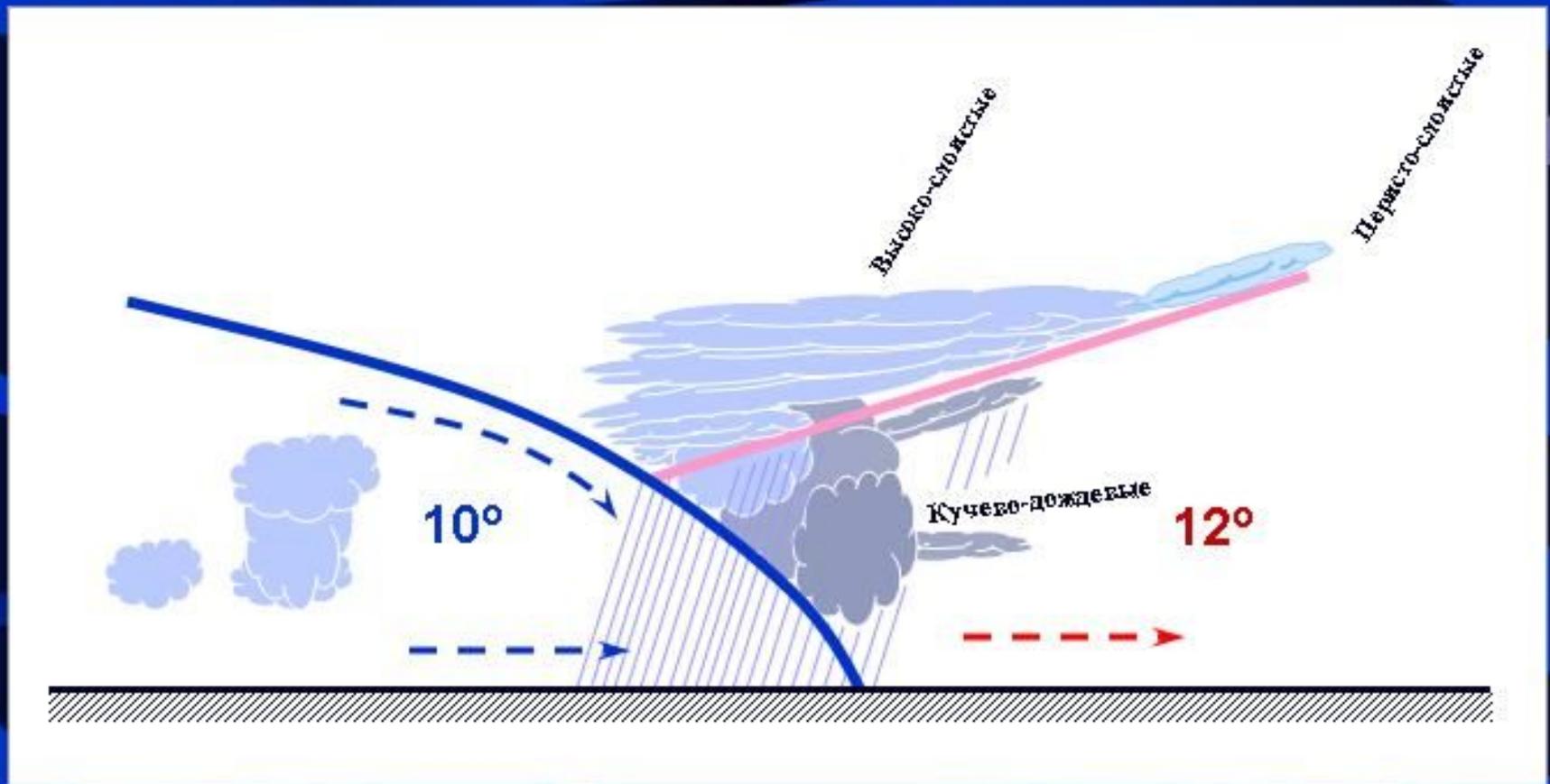
Тёплый воздух скользит вдоль клина холодного, усиливается развитие восходящих движений при падении давления и наблюдается сходимости ветра в нижнем слое атмосферы.

Охлаждение тёплого воздуха при подъеме по поверхности фронта приводит к образованию слоистых облаков (облаков восходящего скольжения): перистослоистые — высоко-слоистые -слоисто-

Облака теплого фронта



Холодный фронт

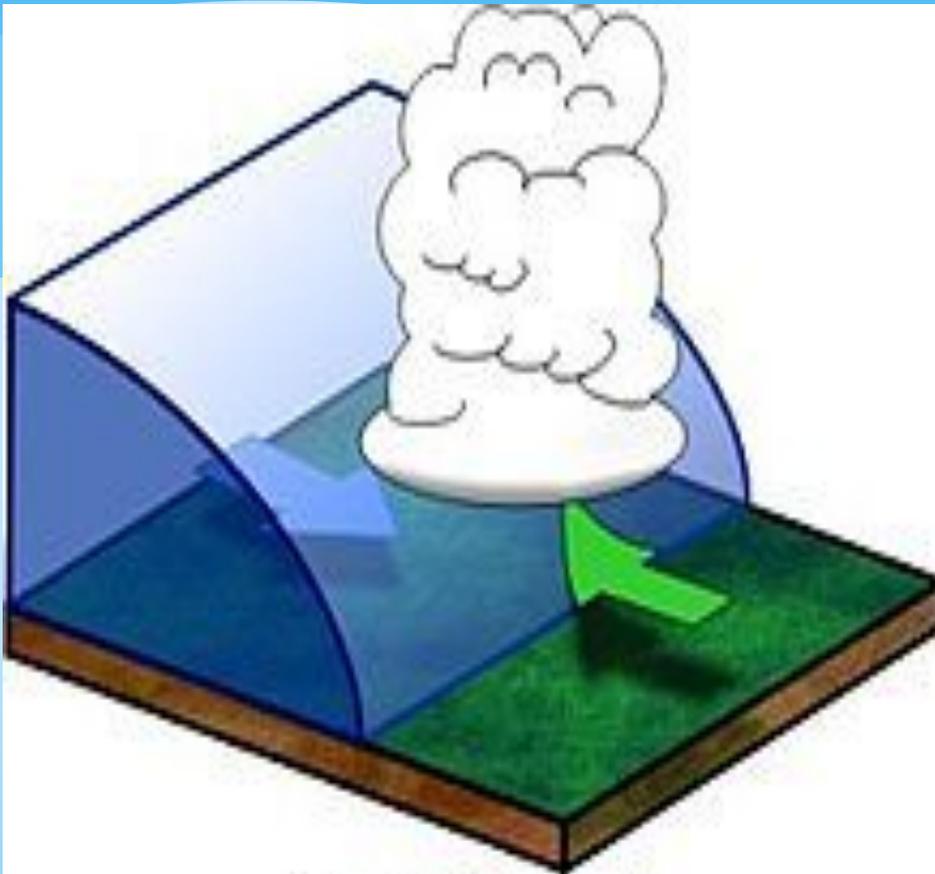


Холодный фронт образуется при перемещении холодного воздуха с сторону теплого

Холодный фронт

Холодный воздух наступает и оттесняет тёплый:

наблюдается адвекция холода, за холодным фронтом в данный регион приходит холодная воздушная масса.



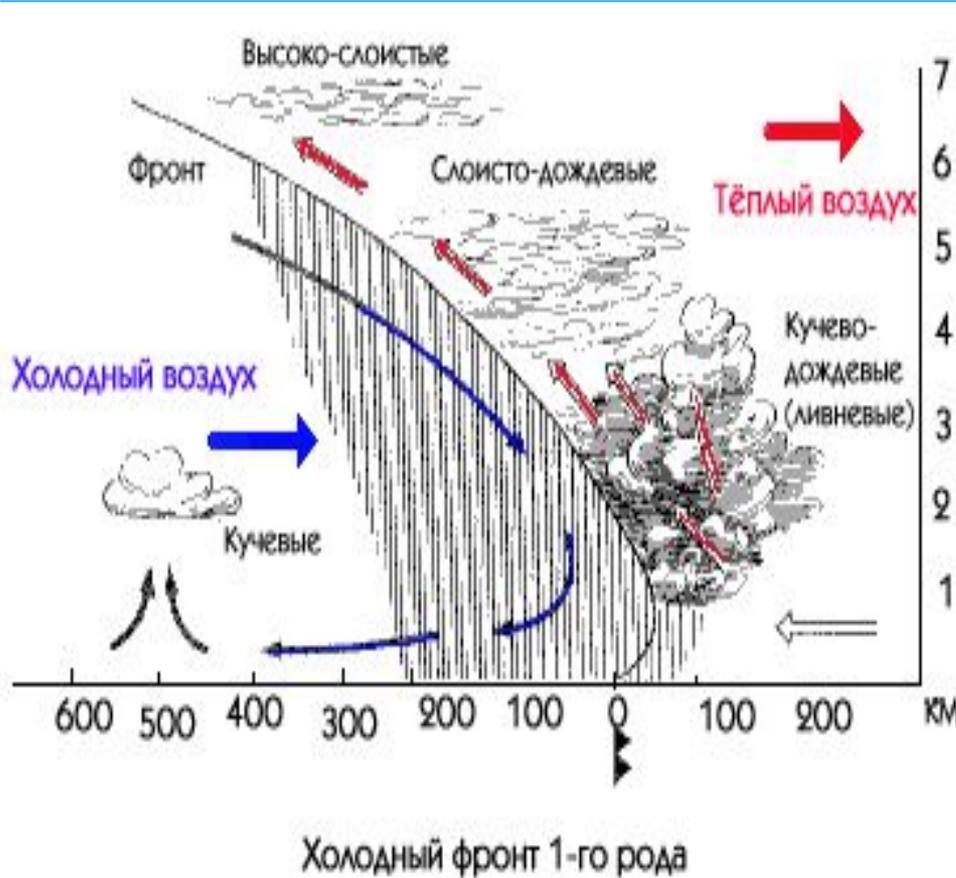
Cold Front

Характер погоды на холодном фронте заметно различается в зависимости от скорости смещения фронта, свойств тёплого воздуха перед фронтом, характера восходящих движений тёплого воздуха над клином холодного.

Различают два вида холодных фронтов:

- **холодный фронт первого рода, когда холодный воздух наступает медленно,**
- **холодный фронт второго рода, холодный воздух наступает быстро**

Холодный фронт

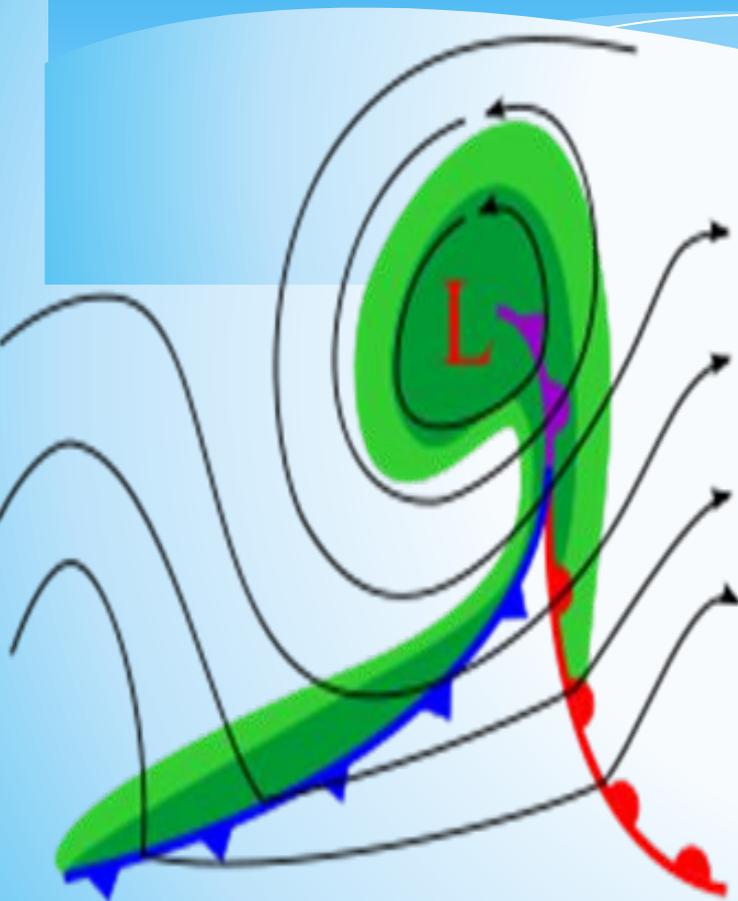


При этом усиливается скорость ветра. Атмосферное давление перед фронтом меняется медленно. Оно может падать, но может и расти.

С прохождением холодного фронта начинается быстрый рост давления. За холодным фронтом рост давления может достигать 3-5 гПа/3 ч., а иногда 6-8 гПа/3 ч. и даже более.

Изменение барической тенденции (от падения к росту, от медленного роста к более сильному) свидетельствует о прохождении линии приземного фронта.

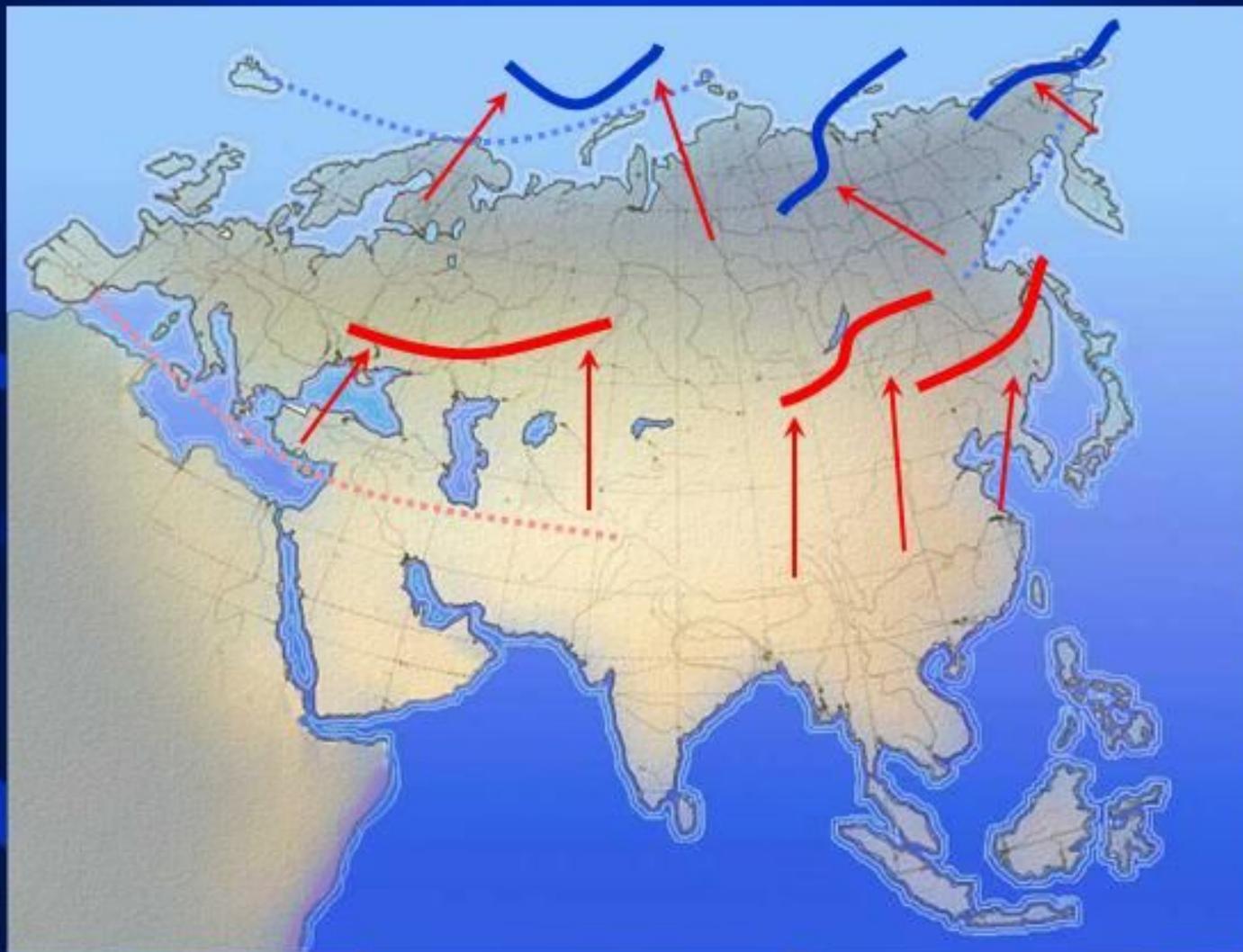
Холодный фронт



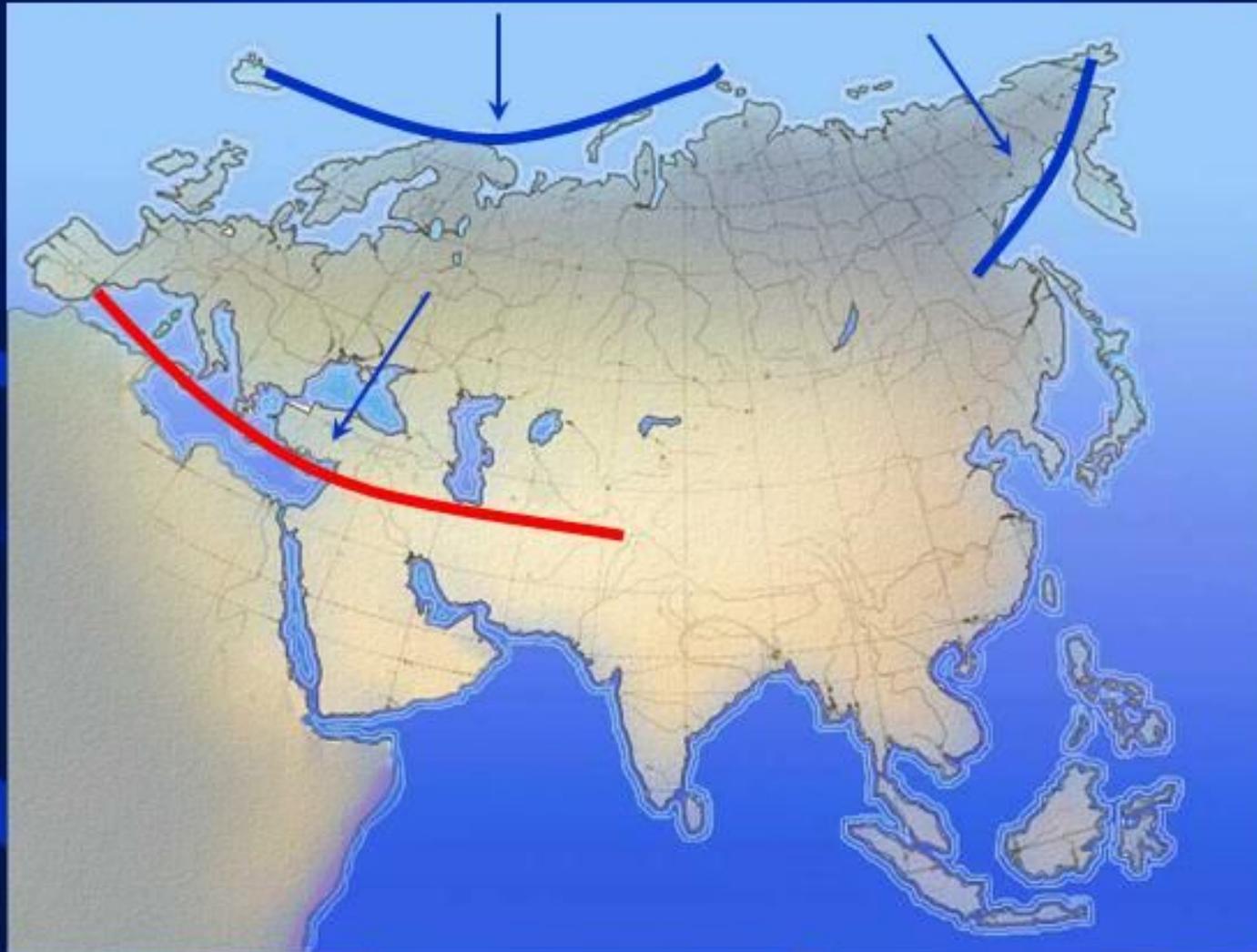
На карте погоды холодный фронт отмечается синим цветом или зачернёнными треугольниками, направленными в сторону перемещения фронта.

При переходе через линию холодного фронта ветер, как и в случае тёплого фронта, поворачивает вправо, но поворот более значительный и резкий — от юго-западного, южного (перед фронтом) к западному, северо-западному (за фронтом).

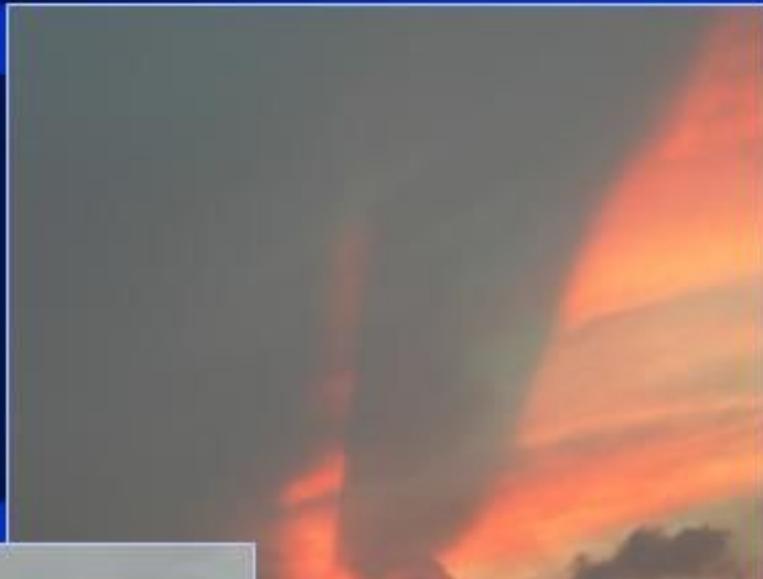
Летнее расположение атмосферных фронтов



Зимнее расположение атмосферных фронтов



Облака холодного фронта



Кучево-
дождевые



Высоко-
слоистые

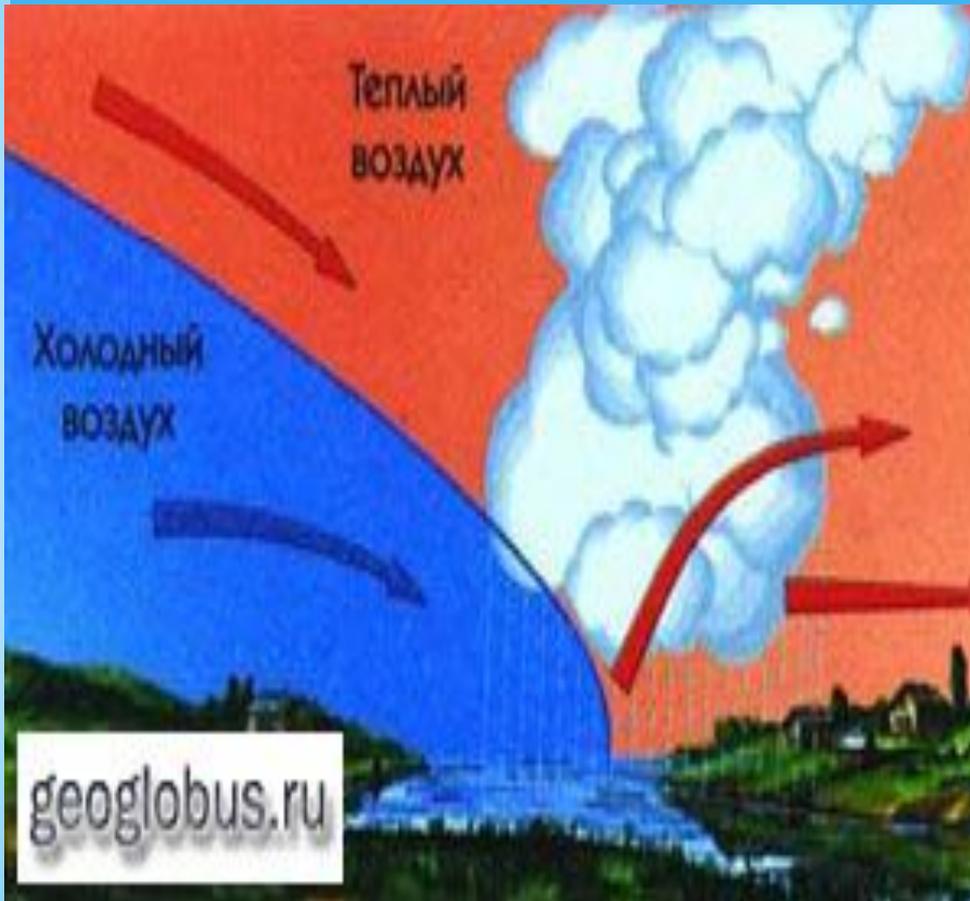


Гроза



Перисто-слоистые

Холодный фронт



Перед фронтом наблюдаются интенсивные осадки, грозы и шквалы (особенно в тёплое полугодие). Температура воздуха после прохождения фронта падает (адвекция холода) быстро и резко — на $5...10^{\circ}\text{C}$ и более за 1-2 часа. Точка росы понижается одновременно с температурой воздуха.

Видимость улучшается, поскольку за холодным фронтом вторгается более чистый и менее влажный воздух из северных широт.

Фронт окклюзии

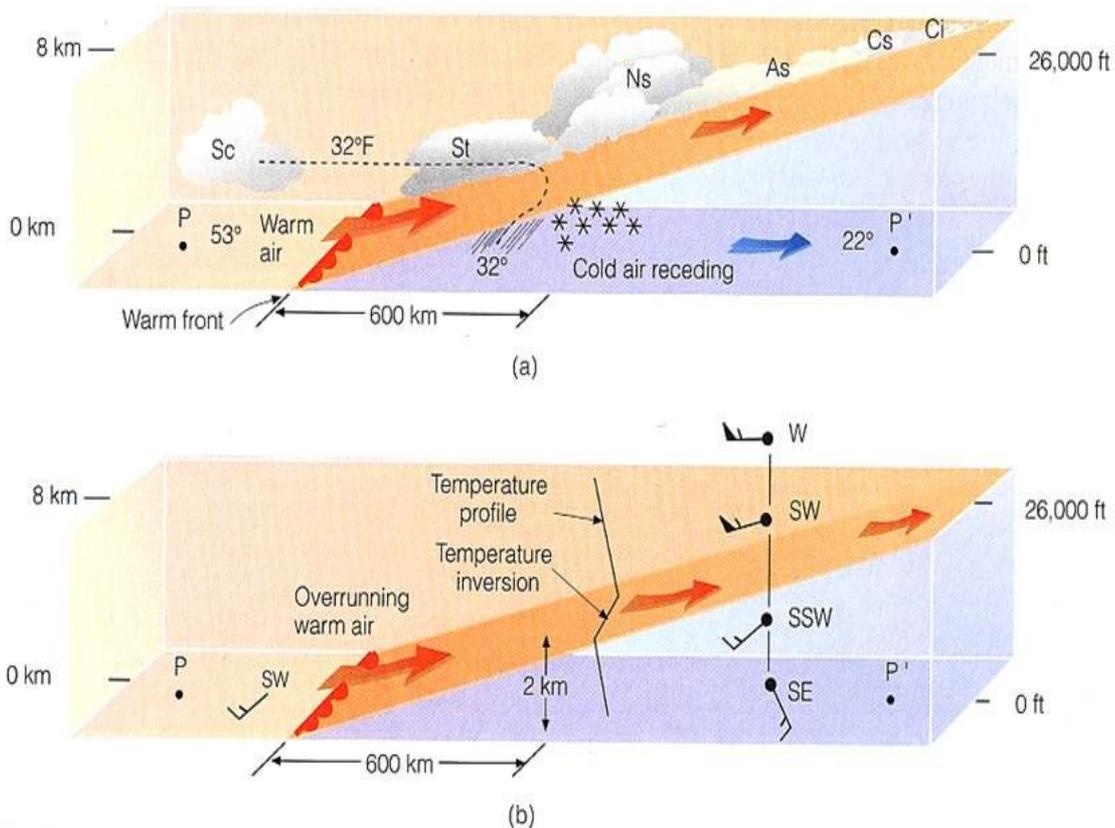


FIGURE 12.19

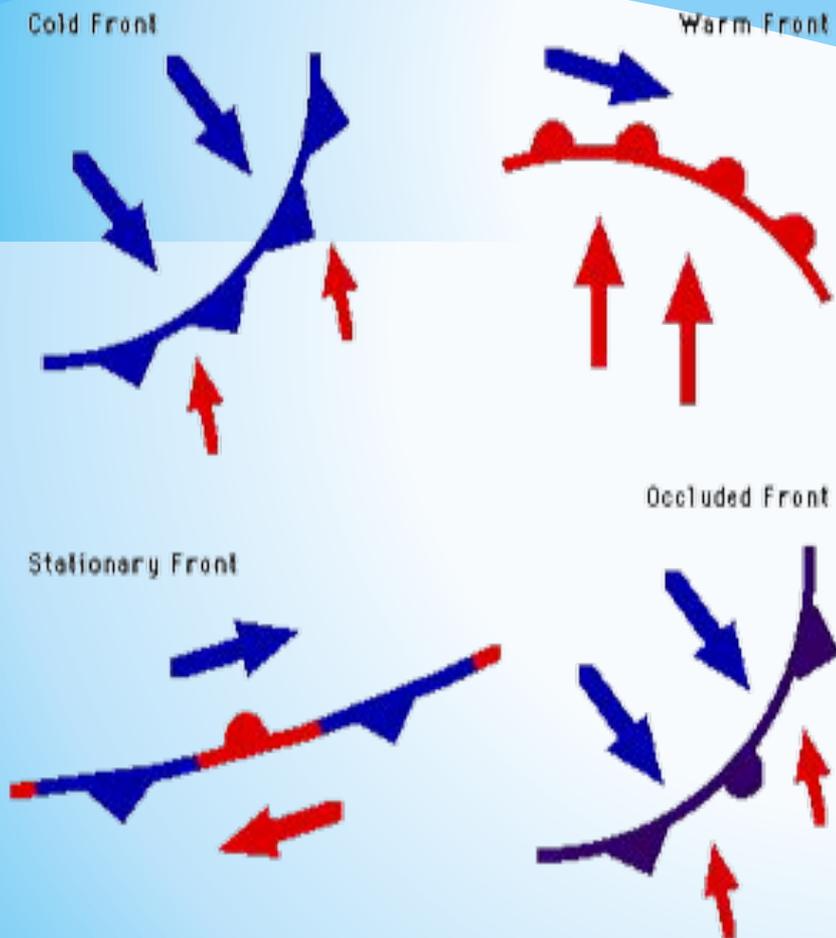
Vertical view of (a) clouds and precipitation and (b) the temperature and winds across the warm front in Fig. 12.18 along the line P-P'.

Фронт окклюзии — связан с гребнем тепла в нижней и средней тропосфере, который обуславливает крупномасштабные восходящие движения воздуха и формирование протяжённой зоны облаков и осадков.

Фронт окклюзии возникает за счёт смыкания — процесса вытеснения вверх тёплого воздуха в циклоне за счёт того, что холодный фронт «догоняет» движущийся впереди тёплый фронт и сливается с ним (процесс окклюдирования циклона).

С фронтами окклюзии связаны интенсивные осадки, в летнее время — сильные ливни и грозы.

Фронт окклюзии



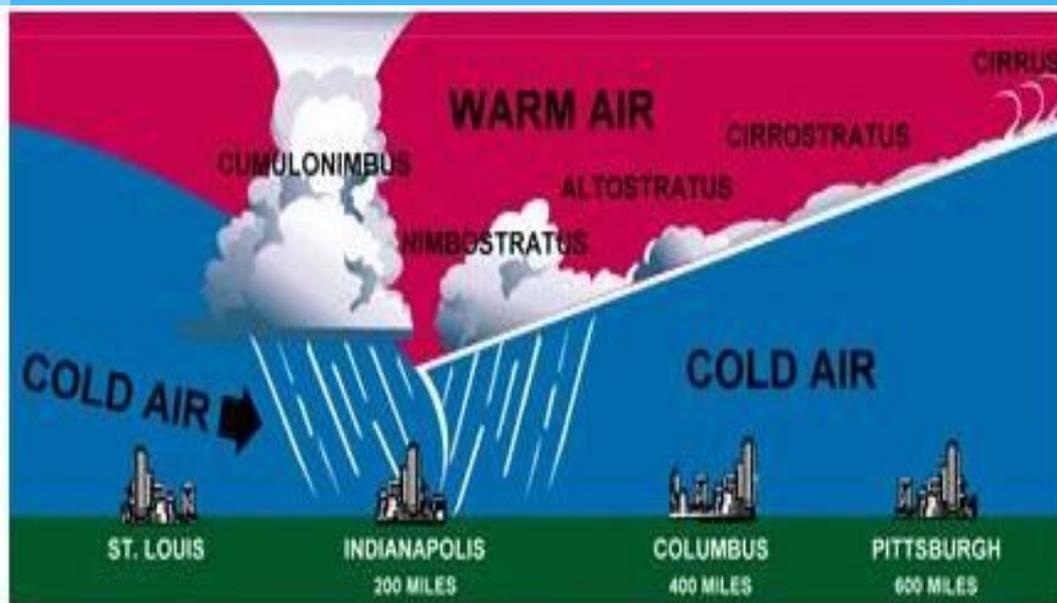
Вследствие нисходящих движений в холодном воздухе в тылу циклона, холодный фронт движется быстрее тёплого фронта и со временем нагоняет его.

На стадии заполнения циклона возникают комплексные фронты — фронты окклюзии, которые образуются при смыкании холодного и тёплого атмосферных фронтов.

В системе фронта окклюзии взаимодействуют три воздушные массы, из которых тёплая уже не соприкасается с поверхностью Земли.

Тёплый воздух в виде воронки постепенно поднимается вверх, а его место занимает холодный воздух, поступающий с боков. Поверхность раздела, возникающую при смыкании холодного и тёплого фронтов, называют поверхностью фронта окклюзии. С фронтами окклюзии связаны интенсивные осадки, летом — сильные грозы.

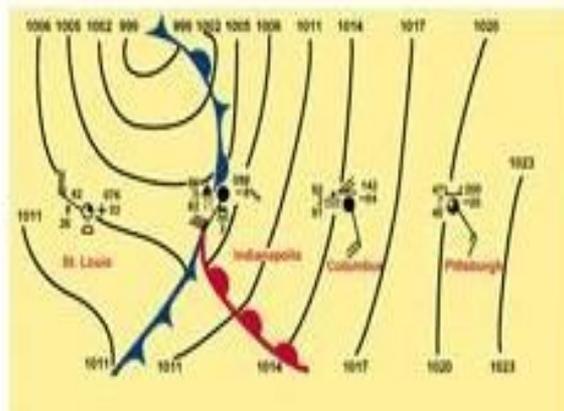
Процессы в фронте окклюзии



Смыкающиеся при окклюдировании воздушные массы обычно имеют разную температуру — одна может быть холоднее другой.

Различают два типа фронтов окклюзии:

- 1) фронты окклюзии типа тёплого фронта;
- 2) фронты окклюзии типа холодного фронта.



METAR KSTL 1950Z 3/023040KT 8SM
SCT035 05/M03 A2976

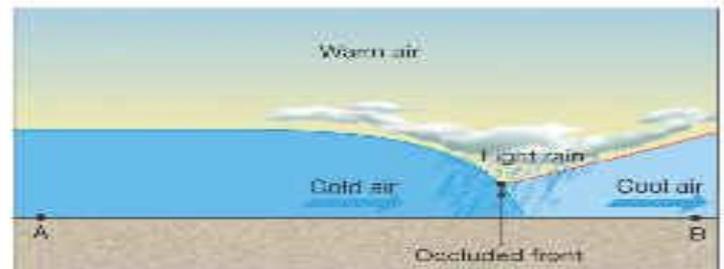
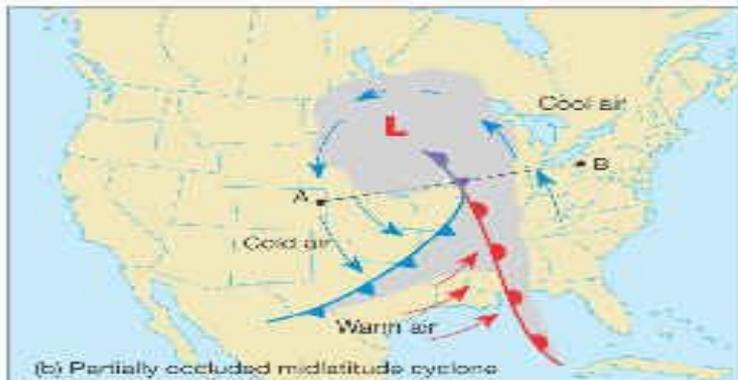
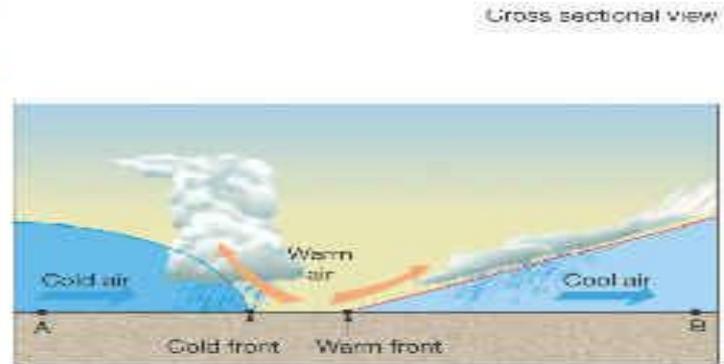
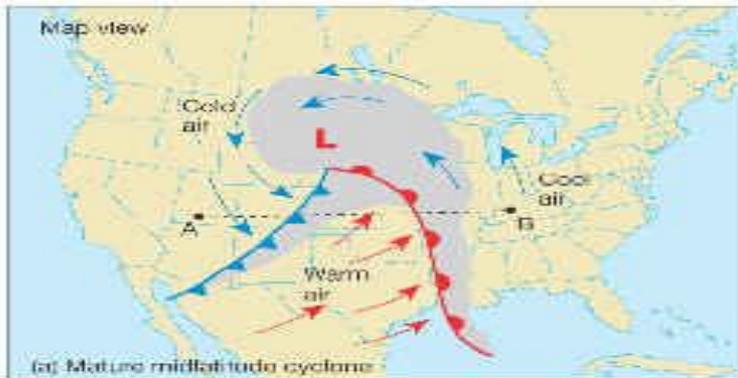
METAR KIND 1950Z 29028G45KT 1/2 SM TSSHGR
VV005 18/16 A2970

METAR KCMH 1950Z 16017KT 25M BR
DVC080 11/10 A2970

METAR KPIT 1950Z 13012KT 75M
BKN130 08/04 A3012

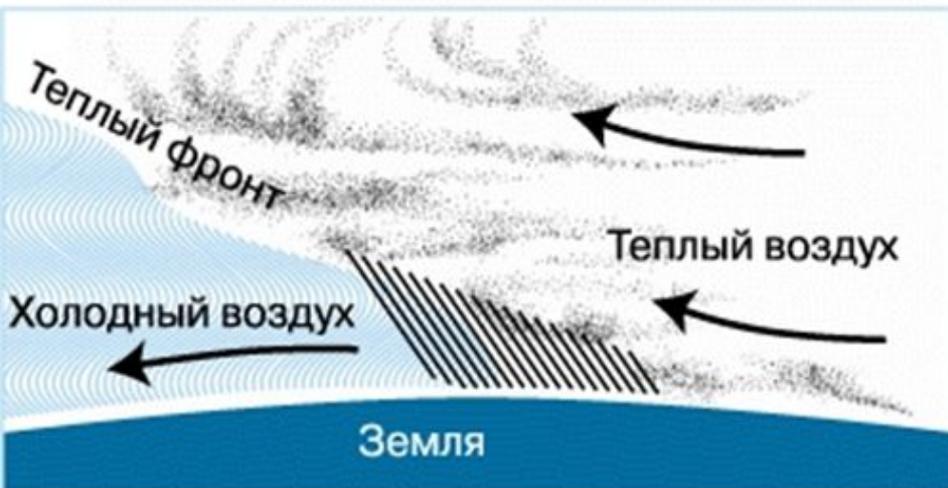
Зимой в средней полосе России и СНГ преобладают тёплые фронты окклюзии, так как в тылу циклона поступает морской умеренный воздух, который значительно теплее, чем континентальный умеренный воздух в передней части циклона. **Летом** здесь в основном наблюдаются холодные фронты окклюзии.

ФРОНТ ОККЛЮЗИИ

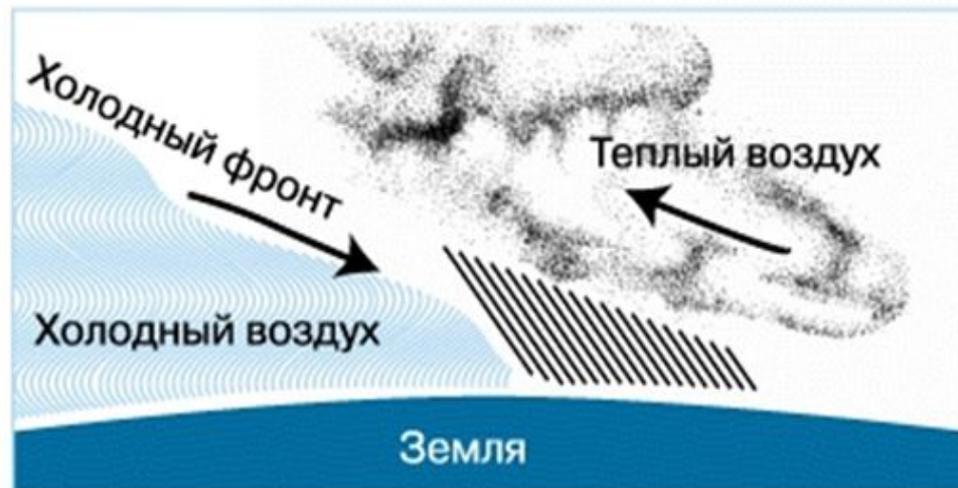


Типы атмосферных фронтов

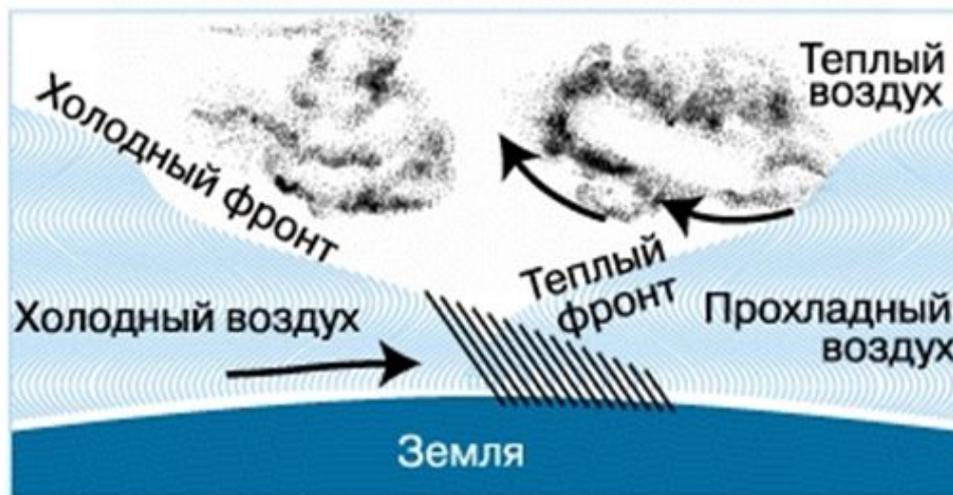
Типы атмосферных фронтов



Теплый фронт



Холодный фронт



Фронт окклюзии

Атмосферный фронт.

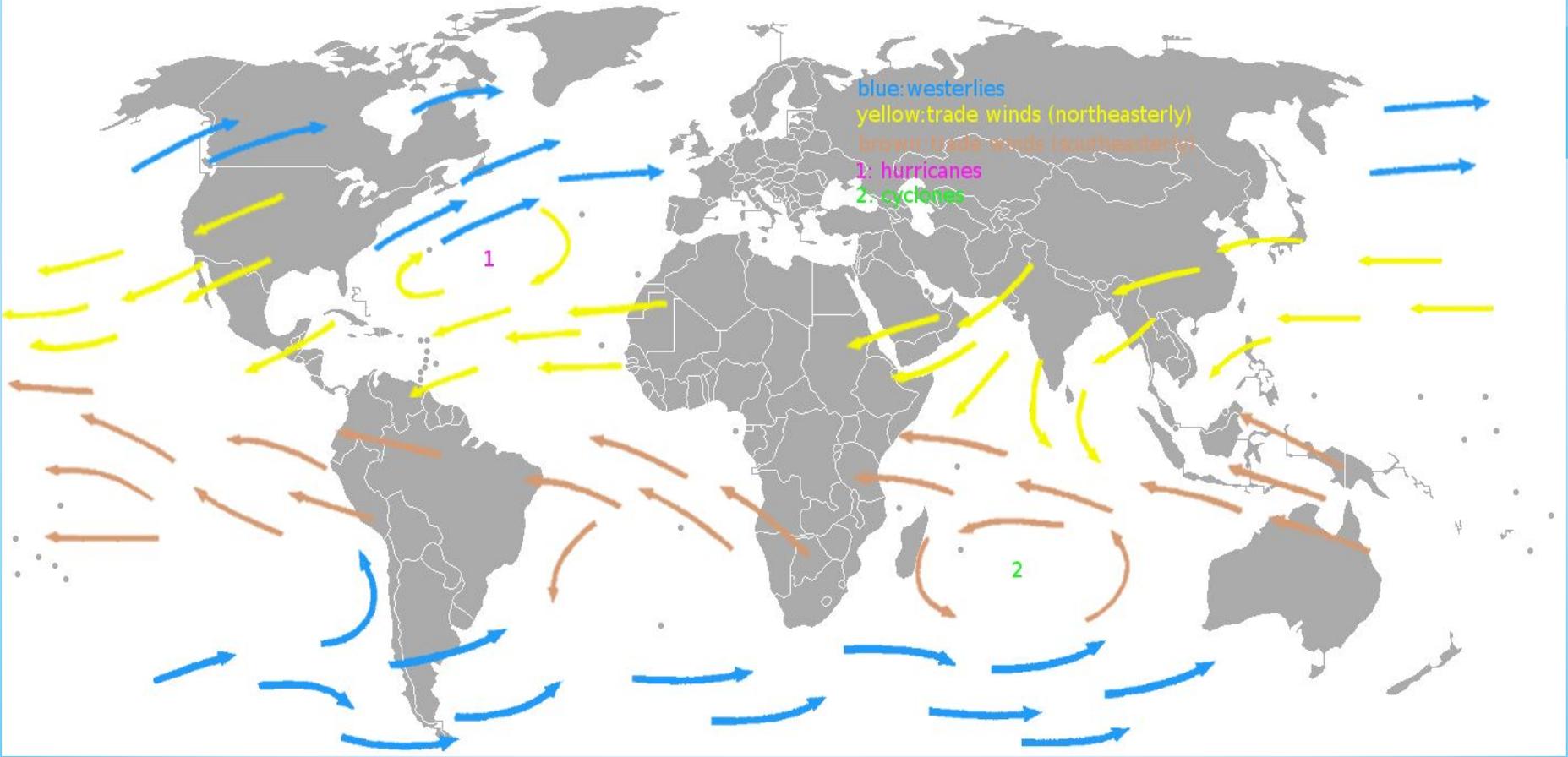
Сравнительная характеристика.

Холодный фронт

1. Холодный воздух надвигается на теплый.
2. Холодный воздух вытесняет легкий теплый воздух.
3. Ливни, грозы.
4. Быстрое похолодание.

Теплый фронт

1. Теплый воздух надвигается на холодный.
2. Теплый легкий воздух поднимается вверх по холодному воздуху.
3. Затяжные моросящие дожди.
4. Медленное потепление.



Панорама эоловых столбов в национальном парке Брайс (Юта)

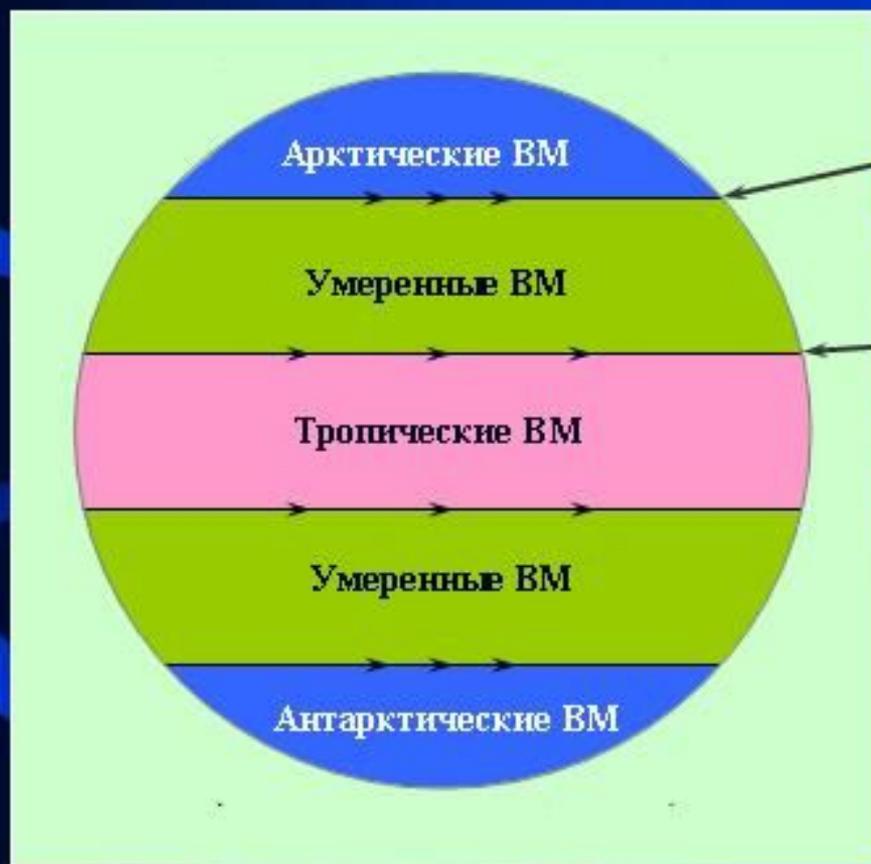


Широтные атмосферные фронты

Атмосферные фронты:

- Атмосферный фронт – переходные зоны между воздушными массами.
- Арктический фронт – возникает между арктическими и умеренными воздушными массами.
- Полярный фронт – возникает между умеренными и тропическими воздушными массами.

Распределение воздушных масс (ВМ) и атмосферных фронтов (АФ)



Арктический АФ

Полярный АФ

Атмосферный фронт – граница раздела воздушных масс, обладающих разными свойствами

Космический мусор!



Спасибо за внимание!

