



## УЕ 1.7 Барическое поле и ветер

Рассматриваемые вопросы:

*Барическое поле. Изобары. Барические системы. Горизонтальный и вертикальный барические градиенты. Периодические и непериодические изменения атмосферного давления. Годовой ход атмосферного давления. Географическое распределение атмосферного давления.*

### Барическое поле, изобары. Барические системы

Пространственное распределение атмосферного давления называется *барическим полем*. Барическое поле можно наглядно представить с помощью поверхностей, во всех точках которых давление одинаково. Такие поверхности называются *изобарическими*. Вследствие изменения температуры и давления в горизонтальном направлении изобарические поверхности не параллельны друг другу и земной поверхности, а наклонены к последней под разными углами и по своей форме очень разнообразны. В одних местах изобарические поверхности прогибаются вниз, образуя обширные, но неглубокие «котловины», в других они выгибаются вверх, образуя растянутые «холмы».

Если мысленно пересечь изобарические поверхности поверхностью уровня моря или другой горизонтальной плоскостью, то получатся кривые линии, называемые *изобарами*. *Изобары - это линии, соединяющие точки с одинаковым давлением на данной плоскости.*

Для получения наглядного представления о распределении давления на земной поверхности строят карты изобар на уровне моря. Для этого на географическую карту наносят атмосферное давление, измеренное на метеорологических станциях и приведенное к уровню моря. Затем точки с



одинаковым давлением соединяют плавными кривыми линиями. Карты изобар могут быть построены по результатам наблюдений в определенные моменты времени (синоптические карты), а также по средним многолетним данным за различные промежутки времени - месяц, сезон, год (климатологические карты). Изобары проводят через определенные интервалы давления - на синоптических картах обычно через 5 гПа.

В зависимости от характера распределения давления изобары, подобно горизонталям на топографических картах, могут иметь самую разнообразную конфигурацию. Но так как в одной точке не может быть одновременно двух значений давления, то изобары не могут пересекаться. В пределах одной ограниченной карты изобары могут быть незамкнутыми, поскольку давление меняется в пространстве непрерывно, то в масштабе всего земного шара каждая изобара непременно замкнута. Однако очень часто некоторые изобары могут быть замкнутыми даже в пределах одной карты. В зависимости от формы изобар и распределения давления различают перечисленные ниже барические системы или области барического поля (рисунок 1).

Области замкнутых изобар с пониженным давлением в центре называются *барическими минимумами или циклонами*. В области барического минимума давление возрастает от центра к периферии. Области замкнутых изобар с повышенным давлением в центре называются *барическими максимумами* или *антициклонами*. В области барического максимума давление от центра к периферии убывает. На периферии этих областей или между ними изобары на некотором участке карты могут приближаться к прямым линиям. Кроме циклонов и антициклонов, в барическом поле часто наблюдаются промежуточные барические системы: ложбины, гребни, седловины.

*Ложбиной* называется связанная с циклоном и вытянутая от его центра к периферии полоса пониженного давления, вклинивающаяся между двумя



областями повышенного давления. *Гребнем* называется связанная с антициклоном и вытянутая от его центра полоса повышенного давления, расположенная между двумя областями пониженного давления. *Седловиной* называется барическая область, заключенная между двумя циклонами и двумя антициклонами, расположенными в шахматном порядке.

Горизонтальные размеры барических систем изменяются от нескольких сотен до нескольких тысяч километров. Их вертикальная протяженность достигает несколько километров.

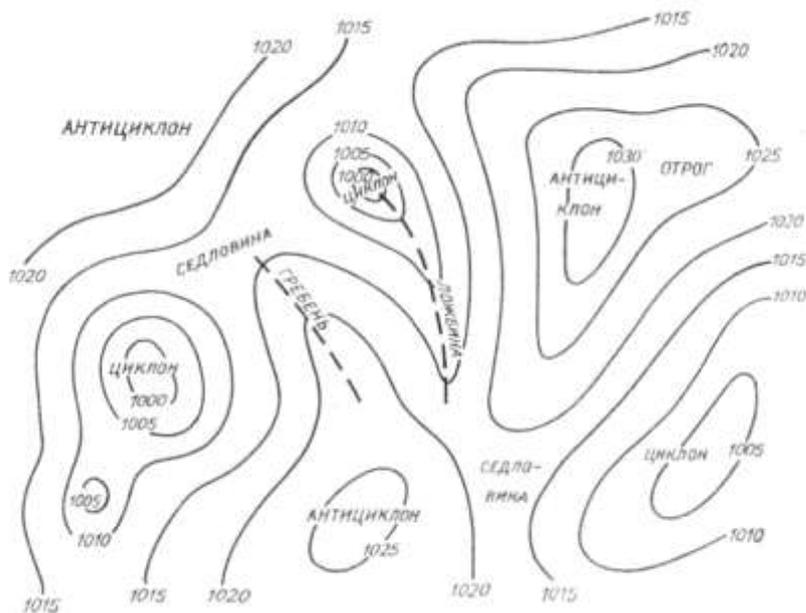


Рисунок 1 – Барические системы

На рисунке 2 показан вертикальный разрез изобарических поверхностей в циклоне и антициклоне. В циклоне изобарические поверхности прогнуты вниз в виде воронок, а в антициклоне выгнуты вверх в виде куполов. В ложбине изобарические поверхности имеют вид желоба с ребром, обращенным вниз, а в гребне - вид желоба с ребром, обращенным вверх. В седловине изобарические поверхности имеют вид седла, так как поднимаются к антициклонам и



опускаются к циклонам. Таким образом, изобарические поверхности всегда понижаются в сторону низкого давления.

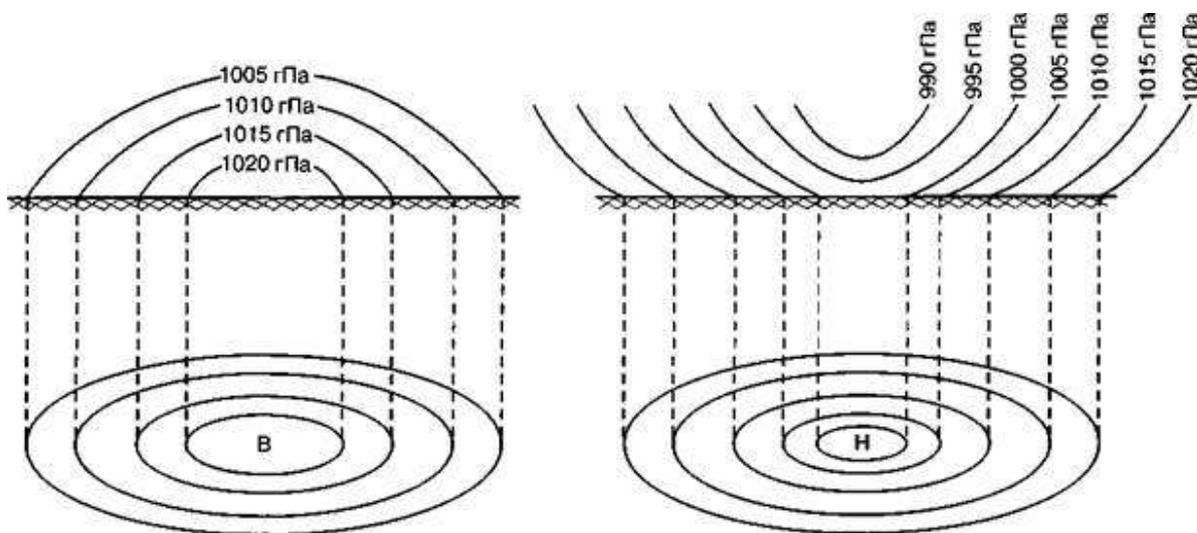


Рисунок 2 - Изобарические поверхности в антициклоне (В) и циклоне (Н) в вертикальном разрезе и их проекции – изобары на плоскости

На расположение изобарических поверхностей в пространстве большое влияние оказывает температура воздуха. При одинаковом давлении у земной поверхности одни и те же барические поверхности в теплом воздухе лежат выше, чем в холодном, а соседние поверхности расположены дальше друг от друга (рисунок 3). Объясняется это тем, что в холодном воздухе, как более плотном, давление уменьшается с высотой быстрее, чем в теплом (см. УЕ 1.3. Физические свойства атмосферы). Таким образом, конфигурация и положение изобарических поверхностей зависят от распределения в пространстве не только давления, но и температуры.



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Иркутской области  
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

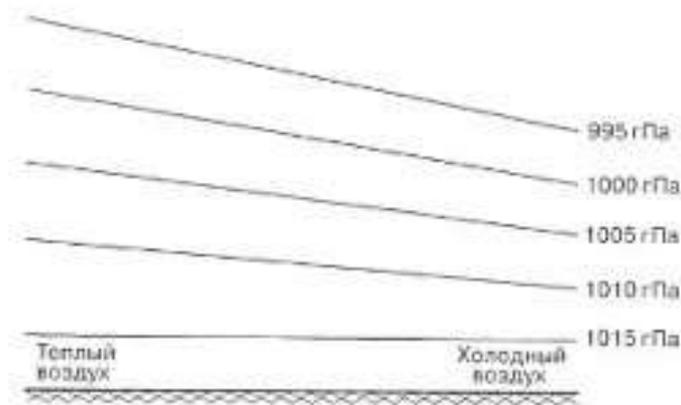


Рисунок 3 - Изобарические поверхности в областях тепла и холода в вертикальном разрезе

*Градиент давления и его составляющие.* Изобарические поверхности наглядно представляют барическое поле и позволяют судить о характере изменения давления во всех направлениях. Но они не дают количественной характеристики этого изменения.

На рисунке 4 показан вертикальный разрез изобарических поверхностей. При перемещении от точки  $A$ , лежащей на изобарической поверхности с давлением  $p$ , к точкам  $B$  и  $C$ , лежащим на изобарической поверхности с давлением  $p-1$ , давление изменяется на одинаковую величину. Но расстояние от  $A$  до  $C$  меньше, чем от  $A$  до  $B$ . Следовательно, изменение давления на единицу расстояния при перемещении по пути  $AC$  будет больше, чем при перемещении по пути  $AB$ . Сильнее всего давление изменяется в направлении, перпендикулярном изобарической поверхности. Поэтому изменение давления принято характеризовать разностью значений давления, приходящейся на единицу расстояния в направлении нормали к изобарической поверхности. Если изобарическая поверхность изогнута, то к ней проводится касательная плоскость и нормаль строится в точке касания. Количественно изменение давления в пространстве характеризуется *полным градиентом давления  $G$ , который*



представляет собой вектор, направленный по нормали к изобарической поверхности в сторону убывания давления, а по величине равный изменению давления на единицу расстояния:

$$G = -\Delta p / \Delta$$

Полный градиент давления  $G$  можно разложить, на вертикальную ( $G_V$ ) и горизонтальную ( $G_H$ ) составляющие (рисунок 5).

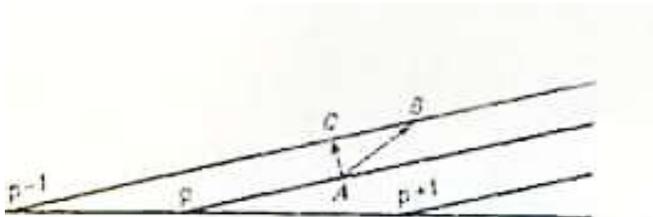


Рисунок 4 – Изменение давления в различных направлениях

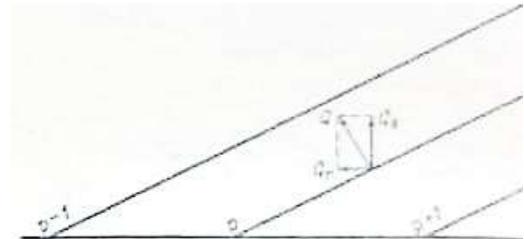


Рисунок 5 – Полный градиент давления, его горизонтальная и вертикальная составляющие

Таким образом, вертикальный градиент давления, о котором шла речь в лекции 1.3. *Физические свойства атмосферы*, представляет собой вертикальную составляющую полного градиента давления. Если давление в горизонтальном направлении не изменяется, то  $G_H = 0$  и  $G = G_V$ .

В атмосфере давление в вертикальном направлении изменяется во много раз быстрее, чем в горизонтальном. Поэтому изобарические поверхности наклонены к горизонту под углом, составляющим всего несколько секунд и лишь иногда минут. На рисунках 4 и 5 наклон изобарических поверхностей для наглядности сильно преувеличен.

Горизонтальный градиент давления характеризует изменение давления в горизонтальном направлении. Так как линии пересечения изобарических поверхностей с горизонтальной плоскостью являются изобарами, то можно сказать, что *горизонтальный градиент давления на определенном уровне*



*представляет собой вектор, направленный по нормали к изобаре в сторону низкого давления, а по величине равный изменению давления на единицу расстояния:*

$$G_{\Gamma} = -\Delta p / \Delta n,$$

где  $\Delta p$  - изменение давления между двумя точками, находящимися на нормали к изобаре;  $\Delta n$  - расстояние между ними.

По расстоянию между изобарами можно судить о скорости изменения давления в горизонтальном направлении. На рисунке 6 изображены изобары и стрелками обозначены горизонтальные градиенты давления в трех точках барического поля. Там, где изобары сгущены, изменение давления на единицу расстояния больше, а там, где изобары реже, оно меньше, т. е. горизонтальные градиенты давления больше там, где гуще проходят изобары. Единицей горизонтального градиента давления является паскаль на метр (Па/м). На практике разность давлений вычисляют в гектопаскалях, за единицу расстояния принимают 100 км и градиент давления выражают в гПа/100 км.



Рисунок 6 – Изобары и горизонтальные градиенты давления

На синоптических картах измеряют средний горизонтальный градиент давления в том или ином участке барического поля. Для этого измеряют расстояние между двумя изобарами по прямой, направление которой достаточно близко к нормали к изобарам. Затем разность давлений между изобарами (обычно 5 гПа) делят на это расстояние, выраженное в градусах меридиана (111



км) или в сотнях километров. Обычно горизонтальный градиент давления у земной поверхности составляет 1-3 гПа/100 км.

*Периодические и непериодические изменения атмосферного давления.*  
Атмосферное давление в каждой точке земной поверхности или в любой точке свободной атмосферы все время меняется.

Неравномерное нагревание или охлаждение земной поверхности приводит к изменению давления над различными ее участками. Вторжение теплых или холодных воздушных масс на данную территорию также вызывает изменения давления. Если теплые, т. е. более легкие, массы заменяются холодными, т. е. более тяжелыми, то давление растет, в противном случае давление падает. Иногда давление меняется во времени очень быстро, иногда же оно довольно долго остается почти неизменным.

Изменение давления, которые складываются из периодических (суточных) и непериодических изменений, называют колебаниями давления.

Периодические изменения атмосферного давления определяются его суточным ходом. Главной причиной суточного хода давления является суточный ход температуры воздуха. В суточном ходе давления обнаруживаются два максимума и два минимума. Максимумы отмечаются около 9-10 ч. и 21- 22 ч. по местному времени, минимумы – около 3-4 ч. и 15-16 ч. На всех широтах суточный ход давления несимметричен: дневной минимум более заметен, чем ночной, а утренний максимум заметнее вечернего. Дневной минимум обуславливается нагреванием воздуха, а утренний максимум - его охлаждением. Происхождение второго максимума и второго минимума объясняется упругими колебаниями атмосферы, возникающими вследствие периодического ее нагревания солнечными лучами и усиливающимися вследствие резонанса.

Суточный ход давления наиболее заметен в тропических широтах, где его амплитуда составляет 3-4 гПа. В умеренных широтах амплитуда равна лишь 0,3-



0,6 гПа. От тропиков к полюсам амплитуда периодических колебаний давления убывает, но одновременно усиливаются непериодические изменения атмосферного давления.

Прохождение через данную территорию различных барических систем приводит к изменению давления в данном пункте. При прохождении циклона давление сначала падает, а потом растет, а при прохождении антициклона, наоборот, сначала растет, затем падает. Колебания давления могут быть сравнительно большими и резкими: за сутки давление может измениться на 20-30 гПа. Но они могут быть и плавными, медленными. Вообще же давление на уровне моря может меняться в довольно широких пределах. Наибольшие колебания давления наблюдаются там, где интенсивнее циклоническая деятельность, т. е. в умеренных и высоких широтах.

*Годовой ход давления.* Годовой ход давления обнаруживается по средним месячным его значениям. Он сильно зависит от физико-географических условий. В средних широтах амплитуда годового хода давления больше, чем в экваториальных. Над континентами этот ход заметнее, чем над океанами, а характер его обратен океаническому. При всем разнообразии годового хода давления в разных условиях все же можно выделить три основных его типа.

1. *Континентальный тип* с максимумом зимой и минимумом летом. Резче всего этот тип выражен в средних широтах над большими материками, особенно над Азией. Наиболее велики годовые колебания давления в центральных областях континентов. На берегах океанов они уменьшаются.

2. *Океанический тип* с максимумом летом и минимумом зимой. Амплитуда достигает 20 гПа. Над океанами средних широт иногда наблюдается двойной годовой ход давления с максимумами летом и зимой и с минимумами весной и осенью, причем амплитуда его составляет 5-6 гПа. Над тропическими океанами годовой ход давления выражен слабо.



Континентальный и океанический типы годового хода давления обусловлены различиями нагревания и охлаждения материков и океанов, что вызывает и сезонные изменения барического поля.

3. *Полярный и субполярный типы* с максимумом в апреле или мае и минимумом в январе или феврале. Амплитуда составляет примерно 5-12 гПа. Такой ход давления объясняется тем, что в апреле-мае температура воздуха над материками и океанами выравнивается, тогда как над льдами Северного Ледовитого океана она остается сравнительно низкой и здесь преобладает высокое давление. В январе и феврале над большей частью Северного Ледовитого океана чаще всего проходят циклоны, в связи с чем в эти месяцы и наблюдается минимум давления.

*Географическое распределение атмосферного давления на уровне моря.* Распределение давления по земному шару представляется картами изобар, построенными по средним многолетним значениям давления на уровне моря за определенные месяцы или сезоны. На рисунках 7 и 8 приведены такие карты для января и июля.

В январе (рисунок 7) вдоль экватора располагается пояс (зона) пониженного давления. На средней оси этого пояса давление составляет примерно 1010 гПа. Замкнутыми изобарами выделяются области с самым низким давлением, равным 1008 гПа. Эти области находятся не на самом экваторе, а над нагретыми материками южного полушария, где в это время лето, - примерно на 15° ю. ш. (в Южной Америке, Южной Африке и Австралии).

По обе стороны зоны низкого давления, на широтах 30-35° обоих полушарий, образуются зоны повышенного давления. Они также распадаются на отдельные области, имеющие в центре давление более 1020 гПа. Это так называемые субтропические барические максимумы (антициклоны). В северном полушарии к ним относятся азорский максимум, расположенный в субтро-



пических широтах Атлантического океана, около Азорских островов, и гавайский максимум, расположенный в субтропических широтах Тихого океана, около Гавайских островов. В субтропиках южного полушария образуются три барических максимума: в южной части Индийского океана - южноиндийский, в южной части Атлантического океана - южноатлантический и в южной части Тихого океана - южнотихоокеанский. Все эти барические максимумы расположены над океанами, тогда как над материками южного полушария, которые в январе теплее океанов, давление понижено.

К северу от субтропиков давление над океанами убывает, образуя в северном полушарии два барических минимума: в Атлантическом океане у Исландии - исландский минимум с давлением в центре около 995 гПа и в Тихом океане у Алеутских островов - алеутский минимум с давлением в центре около 1000 гПа. Над сушей же северного полушария давление в глубь континентов сильно возрастает, образуя два барических максимума: обширный азиатский антициклон над Азией, центр которого с давлением около 1040 гПа расположен над Монгольским плато, и канадский антициклон в Северной Америке с давлением в центре около 1025 гПа.

В южном полушарии к югу от субтропических максимумов давление тоже убывает и между 60 и 65° ю. ш. находится почти сплошной пояс пониженного давления. Вследствие однородности деятельной поверхности (вода) изобары здесь имеют почти широтное направление.

В Арктике по направлению к Северному полюсу и в Антарктике по направлению к Южному полюсу давление увеличивается, образуя слабовыраженные полярные барические максимумы.



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Иркутской области  
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

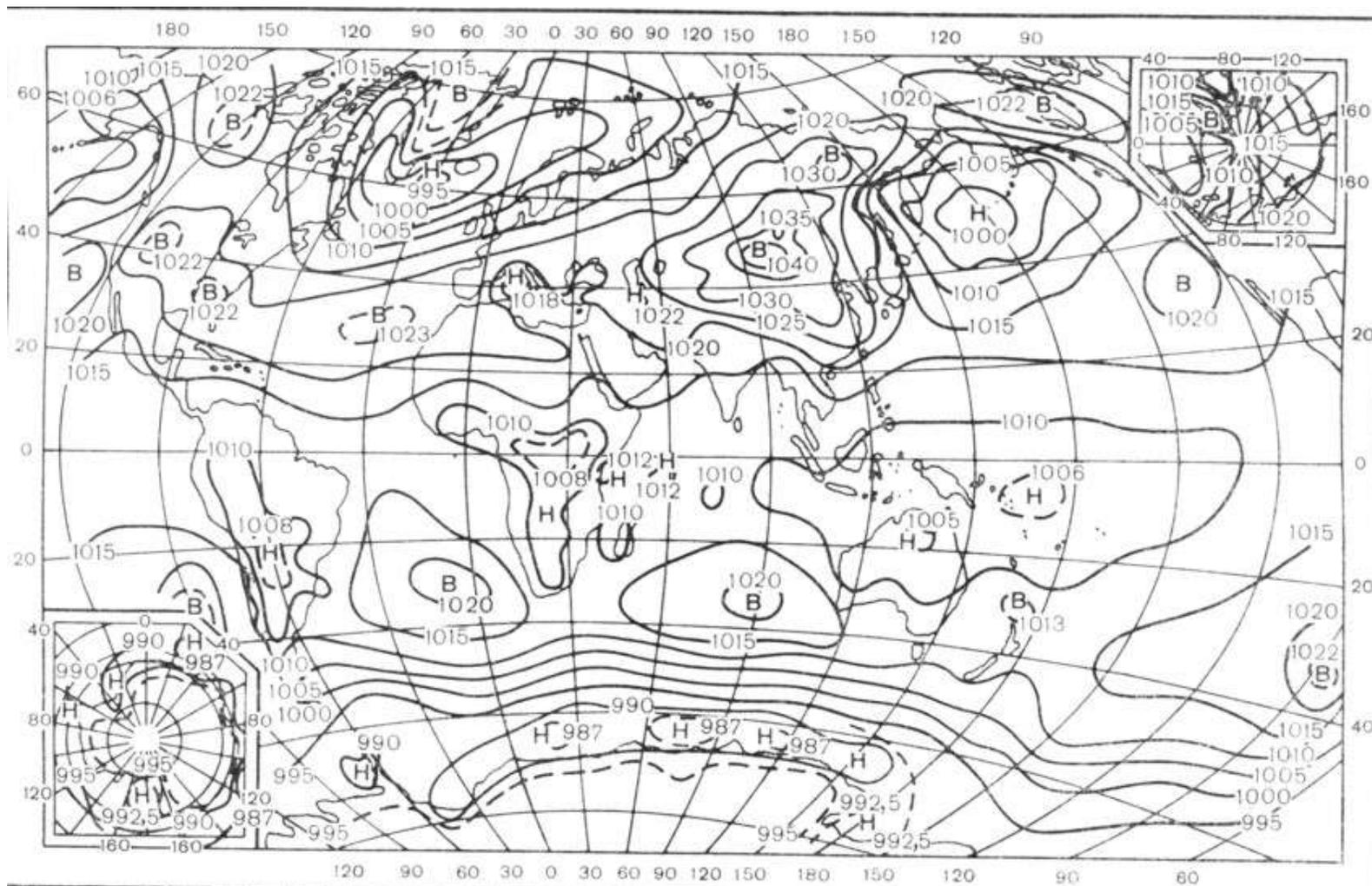


Рисунок 7 – Изобары на уровне моря в январе (гПа)





В июле (рисунке 8) экваториальный пояс пониженного давления сохраняется, но несколько смещается в северное полушарие, в сторону термического экватора.

Субтропические барические максимумы над океанами также сохраняются и немного усиливаются, но смещаются в северном полушарии к северу. В южном полушарии, где в июле зима, субтропические максимумы расширяются и сливаются с областями высокого давления над холодными теперь материками.

Исландский и алеутский минимумы в июле резко ослаблены: в центре исландского минимума давление повышается до 1010 гПа, а алеутский минимум на средних картах даже не обнаруживается. Над материками северного полушария, как в субтропических, так и в более высоких широтах давление понижено. Особенно резко выражен барический минимум над Юго-Восточной Азией - азиатский минимум с давлением в центре 995 гПа. В Северной Америке выделяется мексиканский минимум с давлением в центре 1010 гПа. Таким образом, в умеренных и субполярных широтах вокруг всего северного полушария образуется зона пониженного давления. На север от нее давление хотя и растет, но весьма незначительно.

В южном полушарии, как и в январе, сохраняется зона низкого давления в субполярных широтах и антициклон над Антарктическим материком.

Таким образом, среднее распределение атмосферного давления на уровне моря в целом имеет зональный характер. Выделяются зоны пониженного давления - экваториальная, умеренных и субполярных широт, и зоны повышенного давления - субтропические и полярные. Однако полная зональность распределения давления нарушается тем, что над материками давление зимой повышается, а летом понижается.

Барические области, наблюдаемые на земном шаре, можно разделить на две группы:



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Иркутской области  
**«Иркутский гидрометеорологический техникум»**

1. Постоянные барические области, существующие в течение всего года: экваториальный пояс пониженного давления, субтропические барические максимумы, исландский и алеутский минимумы, субполярный пояс пониженного давления в южном полушарии, а также антарктический и арктический максимумы.
2. Сезонные барические области, в которых зимние максимумы сменяются летними минимумами - сибирский (азиатский) и канадский зимние максимумы, азиатский летний минимум.

Эти барические области оказывают большое влияние на воздушные течения, погоду и климат значительной территории. Поэтому их называют центрами действия атмосферы.

Возникновение барических максимумов и минимумов вызвано термическими и динамическими причинами. Над охлажденными районами условия в нижних слоях атмосферы благоприятны для повышения давления, а над нагретыми - для его понижения. Поэтому над термическим экватором образуется пояс пониженного давления, а над полюсами, где температуры низкие, - области относительно высокого давления. В холодное время года над материками, которые выхолаживаются сильнее, чем океаны, развиваются барические максимумы. В теплое время года материки прогреваются сильнее океанов и над ними образуются области пониженного давления.

Образование субтропических барических максимумов объясняется постоянным вторжением антициклонов в субтропические широты. Исландский и алеутский минимумы, а также субполярная зона пониженного давления в южном полушарии связаны с циклонической деятельностью в этих широтах, т. е. с образованием и перемещением циклонов.



## Воздушные течения в атмосфере

Рассматриваемые вопросы:

*Ветер у земной поверхности. Силы, возникающие при движении воздуха. Геострофический и градиентный ветер. Барический закон ветра. Термическая циркуляция в атмосфере. Местные ветры термического происхождения. Роза ветров. Использование данных о ветровом режиме в отдельных отраслях экономики.*

Ветер – это движение воздуха относительно земной поверхности. Его режим определяется орографическими особенностями территории и действующими в данном сезоне барическими системами.

Ветер возникает вследствие неоднородности атмосферного давления в разных точках атмосферы. Так как давление меняется по вертикали и горизонтали, то воздух обычно движется под сравнительно небольшим углом к земной поверхности. Поэтому ветром большей частью считают горизонтальное движение воздуха, т.е. рассматривают горизонтальную составляющую этого движения. Вертикальная составляющая ветра обычно значительно меньше горизонтальной и становится заметной только при сильной конвекции или при наличии орографических препятствий, когда воздух вынужден подниматься или стекать по склонам возвышенности.

Ветер характеризуется скоростью и направлением. *Направление ветра* определяется той точкой горизонта, откуда ветер дует. Измеряют направление ветра в угловых градусах или в румбах горизонта.

При определении направления ветра в угловых градусах отсчет ведется от севера через восток, так что северному направлению соответствует  $0^\circ$ , восточному –  $90^\circ$ , южному –  $180^\circ$ , западному –  $270^\circ$ .



Направление ветра в румбах горизонта определяют по 16-румбовой системе (рисунок 9). Для обозначения румбов используются начальные буквы названий стран света: север (С), юг (Ю), восток (В) и запад (З). При обозначении промежуточных румбов называют оба румба, между которыми находится данное направление ветра, причем первым по порядку называют основной румб. Основных румбов два: север (С) и юг (Ю). Таким образом, если направление ветра приходится между югом и западом, то оно обозначается ЮЗ и называется юго-западным. Если направление ветра приходится посередине между ЮЗ и Ю, то его обозначают ЮЮЗ, в первую очередь указывая основной румб Ю, а затем производный ЮЗ.

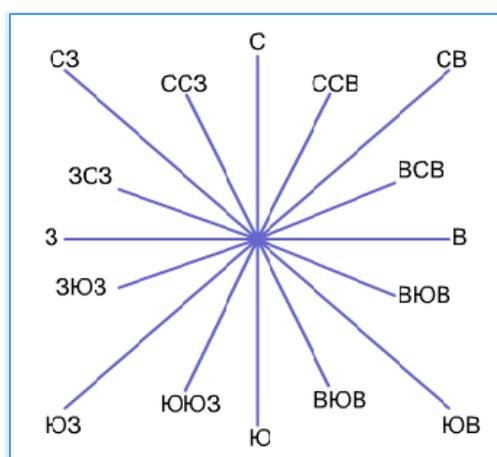


Рисунок 9 – Расположение румбов и их сокращенные обозначения

*Скорость ветра* выражается в метрах в секунду (м/с), а в некоторых случаях в часах (км/ч). Для визуальной оценки скорость ветра в морской практике пользуются баллами по шкале, введенной в 1806 г. адмиралом Бофортом.

Ветры над обширными пространствами, охватывающие также большую или меньшую толщину атмосферы, образуют воздушные течения. Воздушные течения – это целые системы ветров, обладающие некоторой устойчивостью во времени. Распределение воздушных течений над земной поверхностью, т.е.



после воздушных течений, можно характеризовать либо векторами (стрелками), указывающими направление и скорость ветра в различных точках, либо линиями тока. Линей тока называется линия, во всех точках которой касательная совпадает с направлением ветра в данный момент. На рисунке 10 изображены две линии тока:  $AA_1$  и  $BB_1$ . стрелки, которые касаются этих линий – векторы скорости. Показывающие направление ветра в точках  $a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots$ . Линия тока показывает наглядно движение воздуха от точки к точке.

Скорость и направление ветра характеризуют общее движение воздушного потока как целого. Но в движущемся воздухе вследствие трения о земную поверхность, а также неравномерного ее нагревания всегда имеет место турбулентность. Это

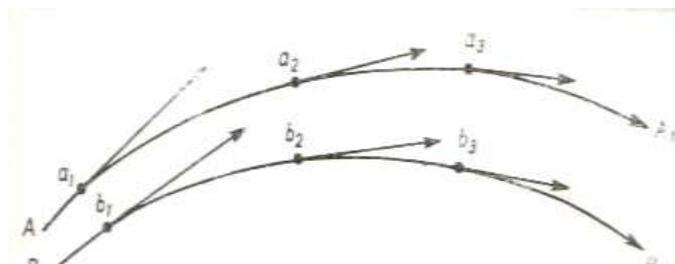


Рисунок 10 - Линии тока

значит, что внутри общего потока отдельные струи, объемы порции воздуха движутся беспорядочно, по всевозможным направлениям, и с различными скоростями. Поэтому в каждой точки пространства происходят быстрые изменения скорости и направления ветра. Движение воздуха в каждой точке складывается как бы из отдельных толчков и порывов, внезапных усилений и ослаблений ветра, непрерывно следующих друг за другом. Такой характер движения воздуха называют *порывистостью ветра*. Обычно под скоростью ветра подразумевается сглаженная скорость, т.е. средняя за тот или иной небольшой промежуток времени, в течение которого производится ее измерение.

Истинная скорость отдельных объемов воздуха, быстро меняющаяся во времени, называется *мгновенной*.



Неровности земной поверхности и наземные предметы создают в воздушном потоке различные возмущения. При встрече со строениями, отдельными деревьями, лесными массивами, холмами, горами и т. п. воздушный поток вынужден перетекать их сферу или обтекать с боков. При этом значительно изменяется направление и скорость ветра, а также его структура: вблизи препятствия возникают завихрения, усиливается турбулентность. Изменение воздушного потока при встрече с препятствиями зависит от размера, формы и расположения препятствия, от скорости ветра и состояния атмосферы.

Если препятствие имеет большую горизонтальную протяженность (лес, горный хребет, ряд холмов или строений), но с его наветренной стороны возникает вихрь с параллельной препятствию горизонтальной осью, создающий у земной поверхности движение воздуха в сторону от препятствия. Еще до встречи с таким препятствием воздух уже начинает подниматься и затем перетекает препятствие, где линии тока сближаются, вследствие чего скорость ветра над препятствием увеличивается (рисунок 11).

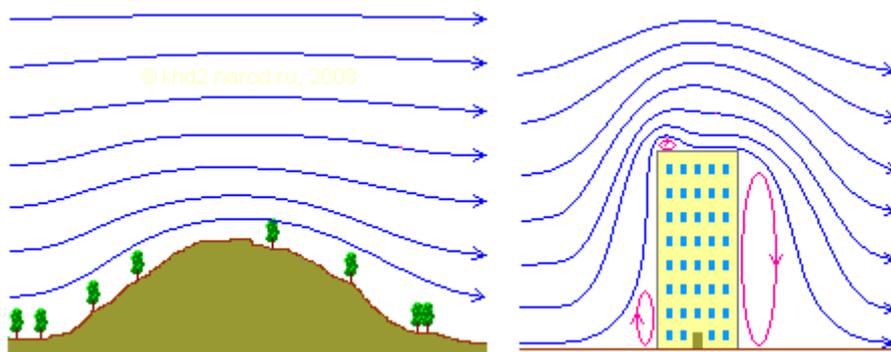


Рисунок 11 - Обтекание препятствий воздушным потоком

На подветренной стороне линии тока постепенно опускаются и лишь на более или менее значительном расстоянии за препятствием достигают земной поверхности. Непосредственно же за препятствием создается «ветровая тень»,



т.е. область, внутри которой скорость ветра уменьшена. Здесь также возникает вихрь с горизонтальной осью, так как с увеличением скорости над препятствием происходит как бы подсасывания воздуха, находящегося за препятствием. Действия подобных завихрений воздуха можно наблюдать, например, зимой по форме залегания снега около изгородей и заборов.

При встрече с отдельными препятствиями (холмами, постройками) воздушный поток огибает их, и скорость ветра с боков препятствий увеличивается, а за ними возникают вихри с вертикальной осью. Если воздушный поток протекает через узкий проток между двумя холмами или через невысокий горный перевал (рисунок 12), то сечение воздушного потока уменьшается, линии тока сближаются и возникают сильные ветры (20-25 м/с) при сравнительно слабых ветрах на соседних участках.

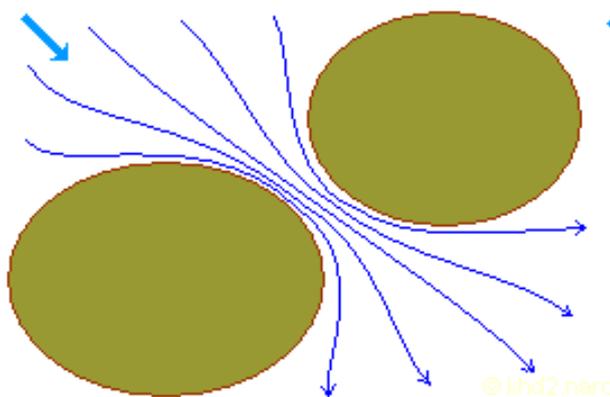


Рисунок 12 - Обтекание воздушным потоком  
двух возвышенностей (вид сверху)

Влияние леса на воздушные течения двоякое. Во-первых, лес замедляет поток у земной поверхности. На расстоянии около 50 м перед лесом скорость ветра начинает уменьшаться и становится равной нулю внутри леса, если он густой. Позади леса, на расстоянии от 100 до 500 м, также отмечается ослабления ветра. Во-вторых, в зависимости от густоты леса большая или



меньшая часть воздушного потока поднимается и протекает над лесом, а другая его часть проходит сквозь лес. Это заметно до высоты 200-300 м. Внутри леса наблюдается слабый ветер или затишье. Благодаря ослабляющему действию леса на воздушные потоки большое значение в борьбе со сдуванием почвы, с пыльными бурями и снежными заносами приобретают ветрозащитные лесные полосы.

*Градиентная сила.* Всякое движение возникает под действием какой-нибудь силы. Сила, которая приводит в движение воздух, возникает при наличии разности давления в двух точках пространства. Разность давления по горизонтали характеризуется горизонтальным градиентом давления. Поэтому, эта сила называется *движущей силой горизонтального градиента давления*, иначе, *градиентной силой*.

Выделим в пространстве между двумя изобарическими поверхностями с давлением  $p$  и  $p+1$  единичный объем воздуха ( $1 \text{ см}^3$ ). Условием равновесия этого объема есть равенство противоположно направленных сил (рисунок 13).

На выделенный объем действуют сила тяжести и силы давления, результирующей которых является сила полного градиента давления  $G$ , направленная перпендикулярно изобарическим поверхностям от высокого давления к низкому и приложенная к центру тяжести объема.

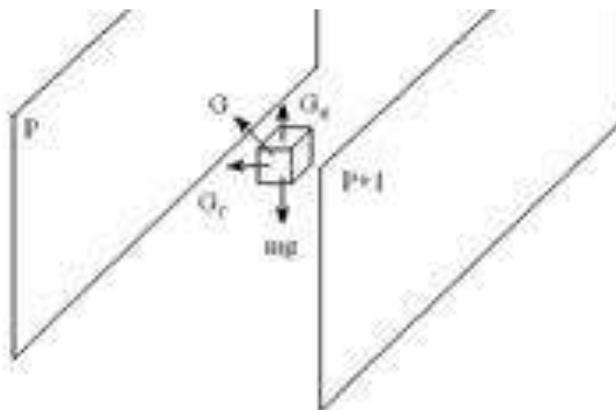


Рисунок 13 – Градиентная сила



Разложим силу полного градиента на горизонтальную и вертикальную составляющую. Вертикальная составляющая при отсутствии вертикальных движений уравнивается силой тяжести, а горизонтальная составляющая в момент начала движения ничем не уравнивается и потому оказывается движущей силой. Под действием этой силы воздух начинает перемещаться в сторону низкого давления.

Разделив движущую силу на массу выделенного объема ( $1 \text{ см}^3$ ), то есть на его плотность, найдем силу, которая действует на единицу массы:

$$F_G = - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta z} = \frac{G_r}{\rho},$$

где  $F_G$  - сила барического градиента,  $\text{см}/\text{с}^2$ ;  $\Delta P$  - изменение давления между двумя точками;  $\Delta z$  – расстояние между этими точками,  $\text{см}$ .

Сила  $F_G$  и есть движущая сила горизонтального градиента, называемая градиентной силой. Она направлена перпендикулярно изобарам в сторону более низкого давления и пропорциональна горизонтальному градиенту давления.

Сила барического градиента приводит воздух в движение и увеличивает его скорость. Все другие силы, которые появляются и начинают действовать при движении воздуха, могут лишь тормозить движение и отклонять его от направления градиента.

Непосредственной причиной возникновения ветра является неравномерное распределение атмосферного давления вдоль земной поверхности. Неоднородное распределение давления в свою очередь создается термическими условиями. Следовательно, первой причиной возникновения воздушных течений надо считать пространственное распределение температуры.

Основной силой, вызывающей движение воздуха в горизонтальном направлении, как было сказано выше, является *сила барического градиента (градиентная сила)*. Графически барический градиент ( $G$ ) в горизонтальной



плоскости изображают вектором, направленным по нормали к изобаре в сторону убывания давления (рисунок 14а).

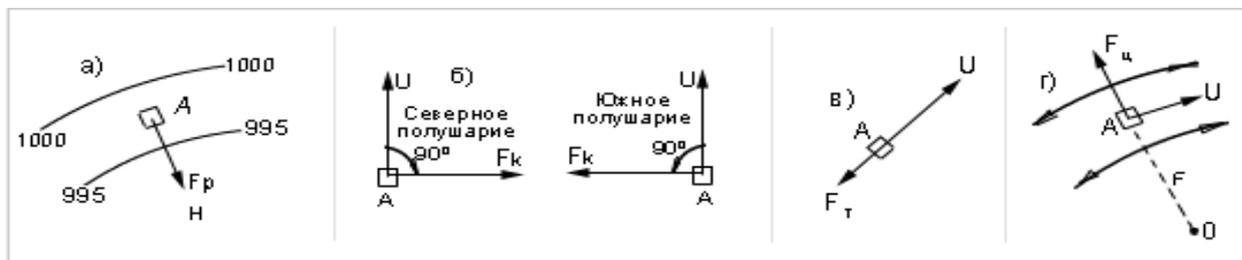


Рисунок 14 - Силы, действующие на воздушную частицу: а) сила барического градиента; б) сила Кориолиса; в) сила трения; г) центробежная сила.

*Силы, возникающие при движении воздуха. Сила Кориолиса.* Причиной возникновения силы Кориолиса является то, что при вращении Земли вокруг своей оси, движущиеся частицы воздуха, принимая участие во вращательном движении, стремятся сохранить по инерции первоначальное направление своего движения.

При расчетах скорости ветра учитывается только горизонтальная составляющая отклоняющей силы вращения Земли, численное значение которой выражается формулой:

$$A = 2\omega V \sin \varphi,$$

из которой видно, что сила Кориолиса  $A$  зависит от географической широты  $\varphi$ , скорости движущего потока  $V$  и от угловой скорости вращения Земли  $\omega$ .

Из формулы следует, что отклоняющая сила земли возникает лишь при появлении движения относительно земли и при одной и той же скорости  $V$  на полюсе достигает наибольшего значения, а на экваторе равна нулю.



Сила Кориолиса влияет на направление ветра, отклоняя движущие частицы в северном полушарии вправо и в южном полушарии – влево; и всегда перпендикулярна к траектории движения (рисунок 14б).

На движущуюся массу воздуха оказывает влияние также *сила трения*. Эта сила тормозит, снижает скорость движения. Ее влияние сказывается только в пограничном слое атмосферы (до 1,5км).

Сила трения о земную поверхность  $R$  пропорциональна скорости и направлена в сторону, противоположную движению (рисунок 14в).

Эта сила выражается формулой:

$$R = -kV,$$

где  $k$  – коэффициент трения,  $V$  – скорость ветра. Знак «минус» указывает на то, что сила трения действует в сторону, обратную направлению движения.

*Центробежная сила (С)* возникает при криволинейном движении воздуха; направлена от центра к периферии и всегда совпадает с направлением силы Кориолиса или строго противоположна ей (рисунок 14г).

*Геострофический и градиентный ветер.*

Установившимся (стационарным) называется движение, при котором в каждой точке пространства значение и направление средней скорости не изменяются со временем. Движение может быть установившимся только в том случае, когда равнодействующая всех сил, действующих на воздух в данной точке, равна нулю.

Рассмотрим установившееся движение в основных формах барического рельефа сначала при отсутствии трения, что имеет место в реальной атмосфере на высотах больше 1000-1500 м, т. е. выше слоя трения. Установившееся движение воздуха при отсутствии силы трения называется *градиентным ветром*.

*Градиентный ветер при прямолинейных и параллельных изобарах. В*



однородном барическом поле градиентная сила везде одинакова по значению и направлению. Поэтому движение воздуха в таком поле будет равномерным и прямолинейным. При отсутствии силы трения на движущийся воздух действует градиентная сила  $F_G$ , направленная перпендикулярно изобарам, и отклоняющая сила  $A$ , направленная перпендикулярно движению (рисунок 15).

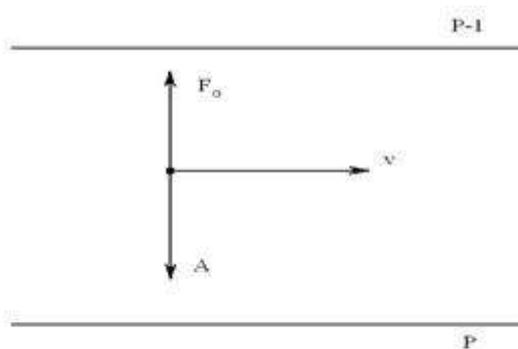


Рисунок 15 – Геострофический ветер (северное полушарие)

При установившемся движении эти силы уравниваются, т. е. они одинаковы по величине, но противоположны по направлению. Так как отклоняющая сила перпендикулярна движению, то последнее оказывается перпендикулярным градиенту давления, т. е. направлено вдоль изобар. Следовательно, градиентный ветер направлен вдоль изобар. Градиентный ветер, дующий вдоль прямолинейных изобар, называется *геострофическим ветром*.

Скорость геострофического ветра можно определить из равенства  $F_G$  и  $A$  (см. формулы выше).

Скорость геострофического ветра прямо пропорциональна градиенту давления и обратно пропорциональна широте места и плотности воздуха. Следовательно, чем больше градиент давления, тем больше скорость геострофического ветра. С увеличением широты при неизменных градиенте и плотности воздуха скорость геострофического ветра уменьшается. На полюсе, где  $\varphi=90^\circ$ , скорость геострофического ветра меньше, чем на любой другой широте при том же барическом градиенте. На экваторе понятие «геострофический ветер» теряет



смысл. Плотность воздуха с высотой уменьшается, следовательно, скорость геострофического ветра при постоянном градиенте возрастает с высотой.

*Градиентный ветер при круговых изобарах.* В случае криволинейных изобар направление градиента давления и, следовательно, градиентной силы меняется от одной точки к другой. Поэтому движение воздуха тоже будет криволинейным. В дальнейшем как частный случай криволинейного движения будет рассматриваться движение при круговых изобарах. *Градиентный ветер, дующий вдоль круговых изобар, называется геоциклострофическим ветром.* На рисунке 16а показано соотношение сил при геоциклострофическом ветре в области барического максимума. Здесь при отсутствии силы трения на движущийся воздух действуют градиентная, отклоняющая и центробежная силы. Градиентная сила направлена всегда перпендикулярно изобаре в сторону уменьшения давления, т. е. в этом случае от центра барической системы к его периферии. Центробежная сила направлена по радиусу кривизны траектории от центра и совпадает с направлением градиентной силы. Так как движение установившееся, то отклоняющая сила уравнивает первые две силы. Значит, она направлена в противоположную сторону и равна их сумме. А так как движение направлено перпендикулярно отклоняющей силе влево от нее, то оно оказывается перпендикулярным и к градиентной силе, т. е. направлено по касательной к изобаре, вправо от градиента. Следовательно, движение происходит вдоль изобар по часовой стрелке (в северном полушарии). Такое движение называется *антициклоническим*.

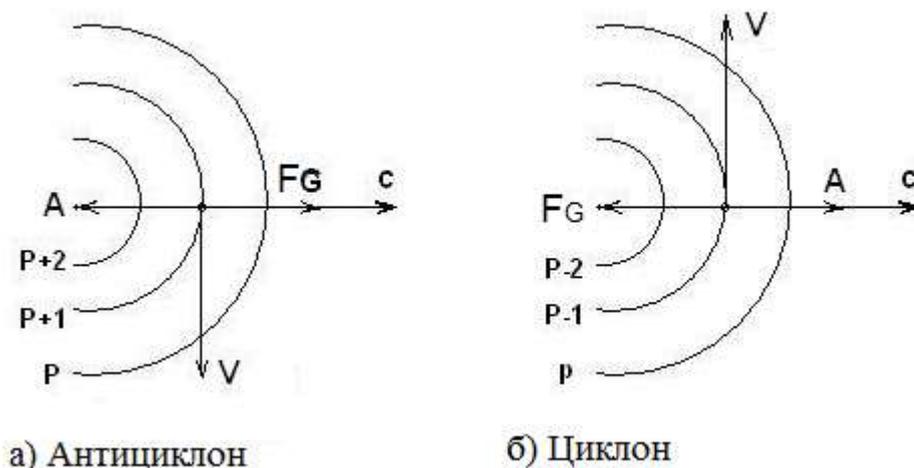


Рисунок 16 – Геоциклострофический ветер (северное полушарие):  
а) в антициклоне; б) в циклоне

На рисунке 16б показано соотношение сил при геоциклострофическом ветре в области барического минимума. Здесь градиентная сила направлена от периферии к центру барической системы и уравнивается центробежной и отклоняющей силами, имеющими одинаковое направление. Вектор скорости направлен также вправо от градиента, и движение происходит по изобарам против часовой стрелки. Такое движение называется *циклоническим*.

В южном полушарии эти системы ветров имеют направления, противоположные их направлениям в северном полушарии.

В антициклоне скорость геоциклострофического ветра не могут быть больше некоторого предельного значения. В циклоне градиент давления и скорость геоциклострофического ветра неограничены. Эти теоретические выводы подтверждаются наблюдениями даже вблизи земной поверхности. Как правило, антициклоны отличаются малыми градиентами и слабыми ветрами, особенно в центральных областях. В циклонах же наблюдаются значительно большие градиенты, а ветер иногда достигает ураганной силы, например, в тропических циклонах.



*Установившееся движение при наличии трения.* Рассматривая движение воздуха у земной поверхности, необходимо учитывать силу трения. Для простоты ее можно считать направленной противоположно движению.

Рассмотрим условия стационарности движения при прямолинейных и параллельных изобарах. В данном случае движение тоже будет прямолинейным и равномерным, но его направление уже не будет совпадать с направлением изобар. На рисунке 17 показан вектор скорости  $V$  в точке  $O$ , отклоненный от барического градиента вправо (в северном полушарии) на угол  $\alpha < 90^\circ$ . Здесь же представлены и силы, действующие на движущийся воздух в этой точке: градиентная сила  $F_G$ , перпендикулярная изобарам и направленная в сторону низкого давления; отклоняющая сила  $A$ , перпендикулярная вектору скорости и отклоненная от него вправо (в северном полушарии); сила трения  $R$ , направленная противоположно вектору скорости. Условием стационарности движения является равенство нулю равнодействующей этих сил. Для этого градиентная сила должна быть уравновешена суммой отклоняющей силы и силы трения. Равнодействующая двух последних сил должна быть направлена противоположно градиентной силе и равна ей. Опуская из конца результирующего вектора  $OB$  перпендикуляры на направления сил  $A$  и  $R$  получим отрезки, соответствующие значениям этих сил.

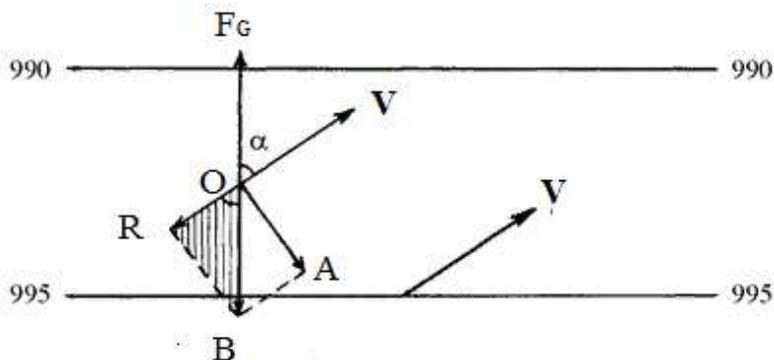


Рисунок 17 – Равновесие сил при установившемся прямолинейном движении воздуха в слое трения (северное полушарие)



Скорость ветра в слое трения, как и скорость геострофического ветра, пропорциональна горизонтальному градиенту давления. Но она тем меньше, чем больше трение. Поэтому при одинаковом градиенте скорость ветра, например, над океаном больше, чем над континентом. Угол между направлением ветра и градиентом давления в слое трения тем больше, чем больше широта места и чем меньше коэффициент трения. Поэтому над океанами, где трение между воздухом и подстилающей поверхностью меньше, чем на суше, ветер ближе к геострофическому, чем над материками. На экваторе где  $\varphi=0$ , получается  $\alpha=0$ , т. е. движение воздуха совпадает с направлением градиента. В умеренных широтах средний угол отклонения ветра от градиента давления составляет над океанами  $60-75^\circ$ , а над континентами  $40-50^\circ$ .

При круговых изобарах движение тоже будет криволинейным и к силам, действующим на движущийся воздух, прибавится центробежная сила. На рисунке 18 показан вектор скорости в точке  $O$  барического максимума, отклоненный от градиента вправо (в северном полушарии) на угол  $\alpha < 90^\circ$ . Здесь же представлены и силы, действующие на движущийся воздух в этой точке: градиентная сила  $F_G$ , действующая по нормали к изобарам в сторону низкого давления, т. е. от центра данной барической системы к ее периферии; отклоняющая сила  $A$ , перпендикулярная вектору скорости и отклоненная от него вправо (в северном полушарии); центробежная сила  $C$ , перпендикулярная вектору скорости и направленная по радиусу траектории в сторону от центра кривизны; сила трения  $R$ , противоположная вектору скорости. Пунктиром показана траектория движения. В этом случае при стационарном движении градиентная сила уравнивается суммой сил (трения, отклоняющей и центробежной). Центробежная сила действует в сторону, противоположную отклоняющей силе. равнодействующая этих сил направлена противоположно градиентной силе и равна ей по величине.

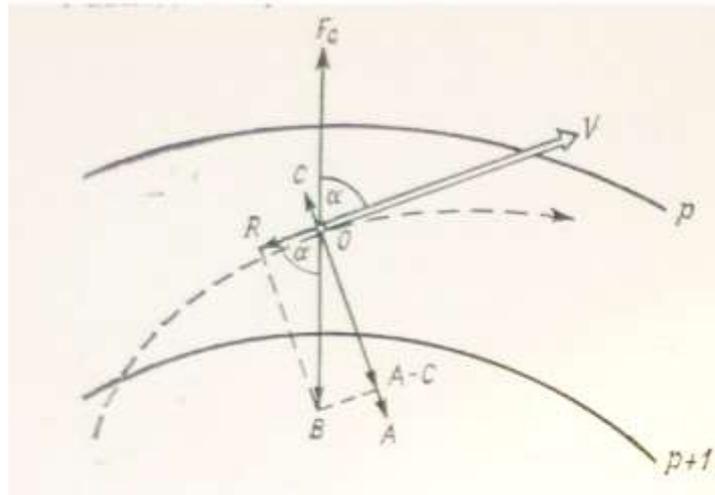


Рисунок 18 - Равновесие сил при установившемся движении воздуха в антициклоне в слое трения (северное полушарие)

Для более наглядного представления о движении воздуха в антициклоне, т.е. о поле ветра в антициклоне, отметим стрелками направление ветра в разных его точках, а затем проведем линии тока (рисунок 19). Таких линий можно провести сколько угодно. На нашем рисунке проведены четыре линии тока, но и они уже ясно показывают, что движение воздуха в антициклоне (северного полушария) везде направлено по часовой стрелке от центра к периферии, т. е. воздух стремится вытекать из области антициклона за ее пределы. Для компенсации этого вытекания в центральной части антициклона развивается нисходящее движение воздуха из вышележащих слоев в нижний слой атмосферы.

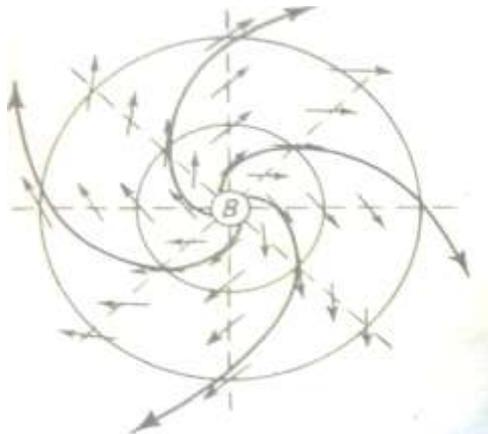


Рисунок 19 – Векторы скорости и линии тока в антициклоне (северное полушарие)

На рисунке 20 показано соотношение сил и векторы скорости в барическом минимуме. Градиентная сила направлена от периферии к центру области, вектор скорости отклонен вправо от нее (в северном полушарии), отклоняющая сила перпендикулярна вектору скорости и отклонена от него тоже вправо, центробежная сила перпендикулярна вектору скорости и направлена по радиусу траектории движения от ее центра, сила трения противоположна вектору скорости. Пунктиром показана траектория движения. Из рисунка видно, что в циклоне при стационарном движении градиентная сила также уравновешивается суммой сил (трения, отклоняющей и центробежной). Центробежная сила действует в том же направлении, что и отклоняющая. Равнодействующая этих сил направлена противоположно градиентной силе и равна ей по величине.

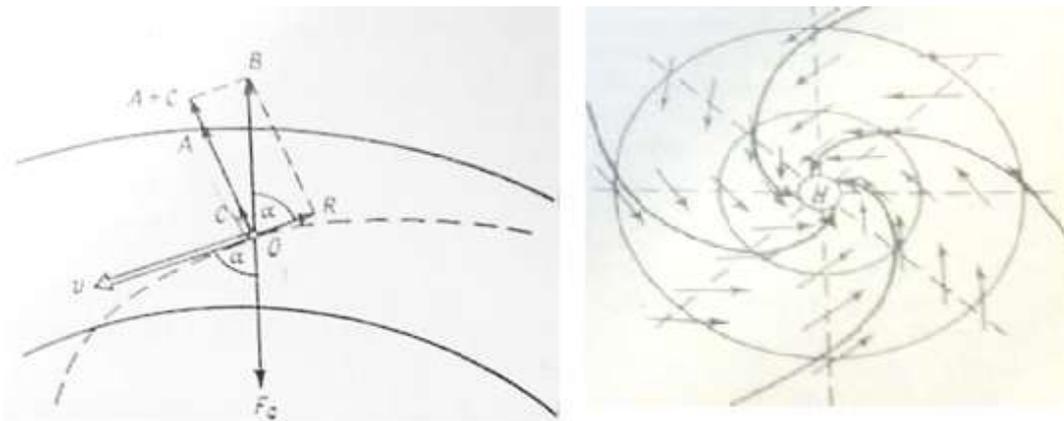


Рисунок 20 - Равновесие сил при установившемся движении воздуха и векторы скорости в циклоне в слое трения (северное полушарие)

Движение воздуха в циклоне направлено против часовой стрелки от периферии к центру. Таким образом, воздух из окружающих районов стремится втечь внутрь циклона. Для компенсации этого втекания в центральной части циклона развивается восходящее движение воздуха из нижних в более высокие слои атмосферы.

Расположение вектора скорости относительно изобар на рисунках 17, 18 и 20 иллюстрирует так называемый *барический закон ветра* (закон Бейс-Балло): если стать спиной к ветру, то область низкого давления будет расположена слева и несколько впереди наблюдателя, а область высокого давления справа и несколько позади наблюдателя (в северном полушарии).

*Термическая циркуляция в атмосфере.* В теплом воздухе изобарические поверхности располагаются на больших расстояниях друг от друга, чем в холодном, в результате чего возникает замкнутая циркуляция воздуха. Объясняется это следующим образом. Пусть сначала температура и давление на всех участках горизонтальной поверхности ABC одинаковы и изменение давления с высотой над этим участком тоже одинаково. Тогда изобарические



поверхности располагаются горизонтально, так что у поверхности земли и на всех высотах отсутствует горизонтальный градиент давления, и горизонтального движения воздуха нет (рисунок 21.1).

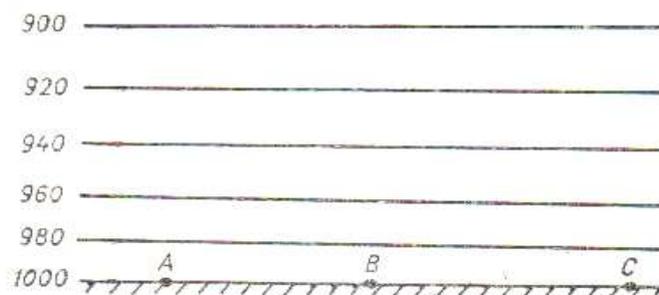


Рисунок 21.1 – Изобарические поверхности при отсутствии горизонтального градиента давления

Теперь в районе точки *B* температура повысилась и нагревание постепенно распространиться в вышележащие слои. Изобарические поверхности над этим районом начнут приподниматься и расходиться (рисунок 21.2).

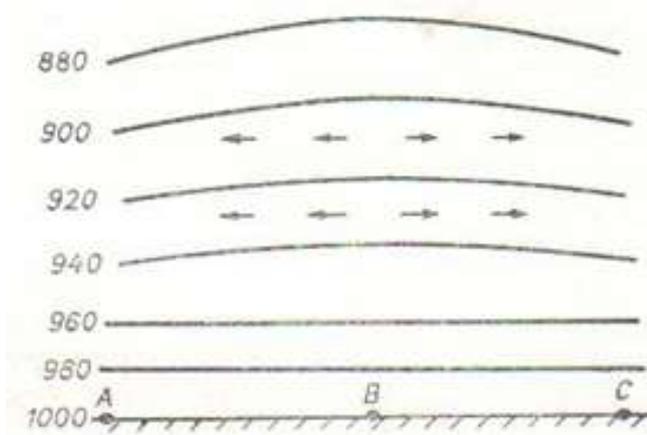


Рисунок 21.2 – Движение воздуха на высотах над нагретым районом



На верхних уровнях давление над районом точкой *B* окажется больше, чем над районами т. *A* и *C*, т.е. возникает горизонтальный градиент давления и начинается движение воздуха от большого давления к меньшему.

Такое давление приведет к изменению давления и на нижних уровнях: в районе точкой *B* вследствие оттока воздуха оно понизится, в районах *A* и *C* вследствие притока воздуха оно повысится. Соответственно в районе *B* изобарические поверхности на нижних уровнях опустятся, а в районах *A* и *C* – поднимутся. Теперь и на нижних уровнях возникает горизонтальный градиент давления и начинается движение воздуха от большого давления к меньшему, т.е. из районов *A* и *C* воздух будет перемещаться в район *B*.

Таким образом, между нагретым районом *B* и более охлажденными районами *A* и *C* возникает замкнутая термическая циркуляция воздуха, состоящая из четырех звеньев; над теплой поверхностью – восходящее движение, над более холодной – нисходящее, у земной поверхности – движение от холодной области к теплой, а выше некоторого уровня – движение от теплой области к холодной (рисунок 21.3).

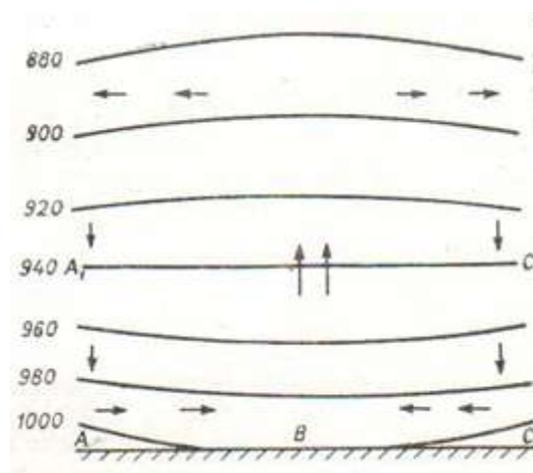


Рисунок 21.3 – Термическая циркуляция в атмосфере

Циркуляция такого же типа возникает и в результате охлаждения какого-либо отдельного участка земной поверхности: над ним развивается нисходящее



движение воздуха, а над соседними, более теплыми участками – восходящее. Внизу воздух опять будет перетекать с холодного участка на теплый, а наверху в обратном направлении.

В результате термической циркуляции возникают местные ветры, такие как бризы, горно-долинные и ледниковые ветры.

*Бризами* называются ветры, возникающие возле береговой линии морей и других крупных водоемов и имеющие отчетливо выраженную суточную смену направлений.

Днем ветер дует с моря на сушу – это морской бриз, а ночью с суши на море – это береговой бриз (рисунок 22.1). Причиной бризов является разность температур воздуха над водоемом и над сушей, вследствие чего возникает замкнутая термическая циркуляция воздуха.

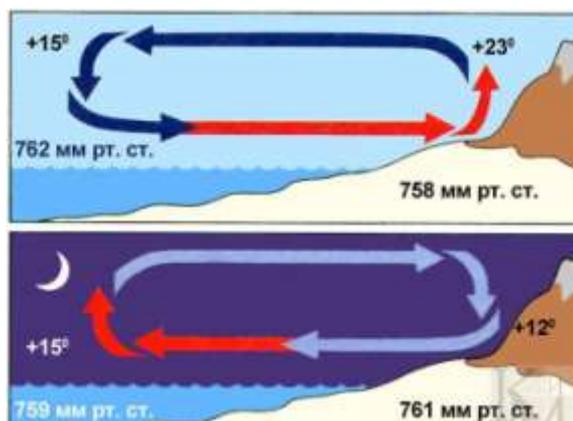


Рисунок 22.1 – Морской и береговой бриз

*Горно-долинные* ветры возникают в больших глубоких долинах, выходящих на равнины. Днём горно-долинный ветер дует вверх по долинам и горным склонам, ночью горный ветер дует в обратном направлении (рисунок 22.2). Это обусловлено различиями в нагревании и охлаждении атмосферы над горами и над равниной. Днём воздух над хребтами и долинами нагревается



сильнее, чем на тех же уровнях над равниной, и больше расширяется. Поэтому на верхних уровнях возникает падение давления (горизонтальный барический градиент), направленное от гор к равнине, и перенос воздуха в том же направлении. Ночью, наоборот, воздух в долине более охлажден от тех же склонов, чем воздух над равниной.

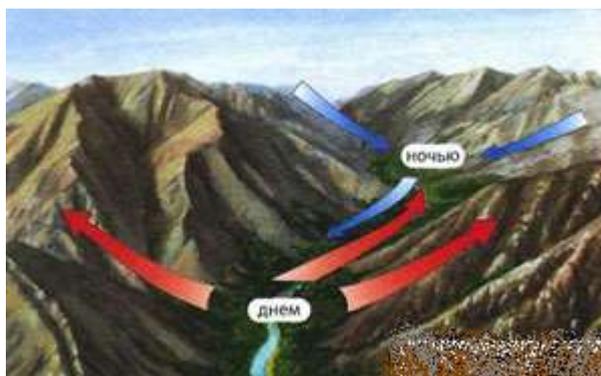
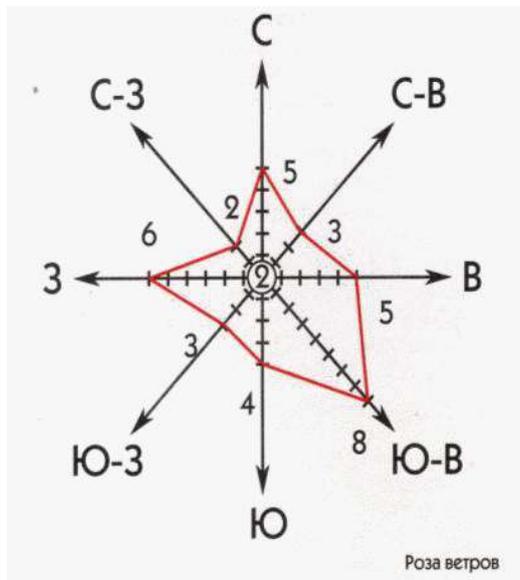


Рисунок 22.2 – Горно-долинные ветры

Ветровой режим - ветровые условия в данной местности, характер распределения и изменения скорости ветра и его направления, их годовой и суточный ход, свойства ветров различных направлений и скоростей. Определяется он орографическими особенностями территории и действующими в данном сезоне барическими системами.

Ветровой режим определяется на основе многолетних наблюдений и характеризуется направленностью и скоростью воздушных потоков в данной местности. Для проектирования важно знать «розу ветров», показывающую повторяемость ветров того или иного направления.



*Роза ветров* - диаграмма, характеризующая режим ветра в данном месте по многолетним наблюдениям и выглядит как многоугольник, у которого длины лучей, расходящихся от центра диаграммы в разных направлениях (румбах горизонта), пропорциональны повторяемости ветров этих направлений («откуда» дует ветер). Розу ветров учитывают при строительстве взлётно-посадочных полос аэродромов, автомобильных

дорог, планировке населенных мест (целесообразной ориентации зданий и улиц), оценке взаимного расположения жилмассива и промзоны (с точки зрения направления переноса примесей от промзоны) и множества других хозяйственных задач (агронмия, лесное и парковое хозяйство, экология и др.).

*Использование данных о ветровом режиме в отдельных отраслях экономики.* Ветер представляет собой огромный, неиссякаемый и постоянно возобновляющийся источник энергии. Энергия ветра в тысячи раз превосходит энергию сжигаемого на Земле угля. Люди уже давно использовали энергию ветра. В глубокой древности были известны парусные суда и ветряные мельницы. И теперь над проблемой использования энергии ветра работают многие исследователи. Однако использовать энергию ветра очень трудно, так как его скорость постоянно колеблется в широких пределах. Меняется и направление ветра. Кроме того, ветер нельзя «запасти», как, например, воду в водохранилище.

Современные ветряные двигатели устроены так, что могут работать при скоростях ветра от 2 м/с до штормовых. Лопасты ветрового колеса автоматически поворачиваются при изменении направления и скорости ветра,



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ**  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Иркутской области  
**«Иркутский гидрометеорологический техникум»**

благодаря чему достигается постоянство числа оборотов колеса. Применяются также различные способы аккумуляции энергии ветра, хотя все они сложны в эксплуатации и требуют больших затрат. Поэтому ветер используют преимущественно в тех производствах, где допускаются перерывы в подаче энергии.

Для рационального использования энергии ветра в той или иной местности необходимы сведения о ветровом режиме, представленные в форме, удобной для производства ветроэнергетических расчетов.

Данные о ветровом режиме используются при проектировании промышленных объектов, жилых и общественных зданий, при планировке и застройке новых городов и рабочих поселков и т. д. Кроме средних многолетних скоростей и направлений ветра, используются также вероятностные характеристики, получаемые расчетным путем. Расчетная скорость ветра есть наибольшая скорость, возможная хотя бы один раз за некоторый период времени (5, 10, 20 лет).

Очень важно учитывать влияние ветра на распространение вредных примесей, поступающих в атмосферу от промышленных предприятий, электростанций, автотранспорта и т. д. Эффективность некоторых мер, направленных на охрану чистоты воздуха, находится в прямой зависимости от ветрового режима данного района. В последние годы к изучению загрязнений воздуха привлечена сеть метеорологических станций, на которых проводятся систематические наблюдения за содержанием вредных примесей в воздухе и одновременно измеряются метеорологические величины, определяющие рассеяние и перенос этих примесей.



## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ**

Построение розы ветров по среднемноголетним данным

Задание:

1. Начертите 8 направлений (румбов), соответствующих основным сторонам горизонта (С; Ю; З; В; С-З; С-В; Ю-З; Ю-В );
2. По каждому направлению (румбу) отметьте направление ветра из таблицы 1 (масштаб 1 см: 10%);

Таблица 1 - Повторяемость различных направлений ветра, %

Направление ветра	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
за год, %	4	20	19	12	9	5	10	11

3. Соедините точки линией;
4. Сделайте вывод о господствующих направлениях ветра за год и о размещении жилого массива и промышленных предприятий с вредными выбросами.