

ОСНОВЫ АЭРОДИНАМИКИ ВЕТРОТУРБИН

Лектор: Байжұма Жандос Ескендірұлы

Тел.: +7 707 556 60 08

Email: zhandos.baizhuma@kaznu.edu.kz

Лекция3

Тема. Понятие об атмосферном давлении. Причины изменения давления. Барические ступени. Суточный и годовой ход давления.

Цель: Познакомить студентов с физической сущностью атмосферного давления, рассмотреть причины его изменения, понятие барических ступеней и особенности суточного и годового изменения атмосферного давления.

Основные вопросы:

1. Понятие атмосферного давления и его физический смысл.
2. Единицы измерения атмосферного давления и взаимосвязь между ними.
3. Нормальное атмосферное давление и условия его определения.
4. Факторы, влияющие на изменение атмосферного давления.
5. Понятие барической ступени и её значение.
6. Суточный и годовой ход атмосферного давления.

Краткие тезисы:

- **Атмосферное давление** — это сила давления столба воздуха на единицу площади земной поверхности или на любую другую поверхность.
- Давление обусловлено весом воздушного столба, находящегося над данной точкой.
- **Единицы измерения давления:**
 - миллиметры ртутного столба (мм рт. ст.);
 - миллибары (мб);
 - гектопаскали (гПа);
 - паскали (Па).

Физическое состояние воздуха атмосферы можно характеризовать не только температурой, влажностью, но и давлением. Эти показатели связаны между собой. Эту связь можно охарактеризовать уравнением состояния газов:

$$P = \rho R T ,$$

где ρ — плотность газа;

R — газовая постоянная (зависит от состава и влажности газа);

T — температура газа.

Атмосферным давлением называют числовое значение силы давления воздушного столба на единицу площади поверхности.

В любой точке атмосферы или земной поверхности атмосферное давление выражается

весом всего вышележащего столба воздуха с основанием равным единице.

Для измерения атмосферного давления существует несколько единиц измерения: миллиметры ртутного столба (мм. рт. ст.); миллибары (мб), паскали (Па) или гектопаскали (гПа).

Для перехода от мм.рт.ст. к миллибарам или гектопаскалям существуют переводные формулы и коэффициенты.

$$P_{\text{мм.рт.ст.}} \cdot \frac{4}{3} = P_{\text{мб}} \text{ или } P_{\text{мб}} \cdot \frac{3}{4} = P_{\text{мм.рт.ст.}}$$

$$1 \text{ мб} = 1000 \text{ дин/см}^2 = 0,75 \text{ мм рт.ст.}$$

$$1 \text{ мм рт.ст.} = 1,333 \text{ мб}$$

Нормальное атмосферное давление – это средняя величина атмосферного давления на уровне моря при температуре 0°C в умеренных широтах (45°). Оно близко к 760 мм. рт.ст. » 1013 мб (гПа) = 1033,3 г/см² (10333 кг/м²). Эту величину давления называют еще одной атмосферой (1 атм.). Нормальное давление (1 атм.) в этом случае уравнивается давлением столбика ртути высотой 760 мм сечением 1 см². Если взять водный столб того же сечения, то высота столба воды составила 10330 мм.

Нормальное давление, таким образом, можно выражать следующим образом:

$$760 \text{ мм.рт.ст} = 1013,25 \text{ мб} = 101325 \text{ Па} = 1013,25 \text{ гПа}$$

Величина атмосферного давления зависит от: абсолютной высоты местности и температуры воздуха.

С высотой атмосферное давление уменьшается в связи с уменьшением высоты воздушного столба. Чем больше абсолютные высоты, тем меньше атмосферный столб, а, следовательно,

меньше его вес. Атмосферный столб уменьшается за счет той части, где плотность воздуха максимальная.

Расстояние в метрах на которое нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на 1 мм. рт. ст) называют *барической ступенью*. Их измеряют в метрах. В нижнем слое тропосферы (до высоты 1000 м) атмосферное давление понижается на 1 мм. рт. ст. при подъеме на 10,5 м. С высотой барическая ступень возрастает

Величина барической ступени зависит от температуры. С повышением температуры на 1°C она увеличивается на 0,4 %. В теплом воздухе барическая ступень больше, чем в холодном.

Барические ступени.

Высота (тыс. м)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Барич. ступень (м)	10,5	11,9	13,5	15,2	17,3	19,6

Давление атмосферы с высотой, в общем, закономерно убывает: на высоте 5 км оно меньше в 2 раза, чем на уровне моря, на высоте 10 км – в 4 раза, 15 км – в 8 раз, 20 км – в 18 раз.

Изменение давления атмосферы происходит повсеместно непрерывно и в довольно широких пределах. Значение давления часто приводят к одному уровню. Это можно сделать, при небольшой разнице высот (не более 1000 м.), с помощью упрощенной барометрической формулы (формула Б.Ф. Бабиня):

$$h = 8000 * 2 (P_1 - P_2) / (P_1 + P_2) * (1 + 0,04 t^{\circ}) ,$$

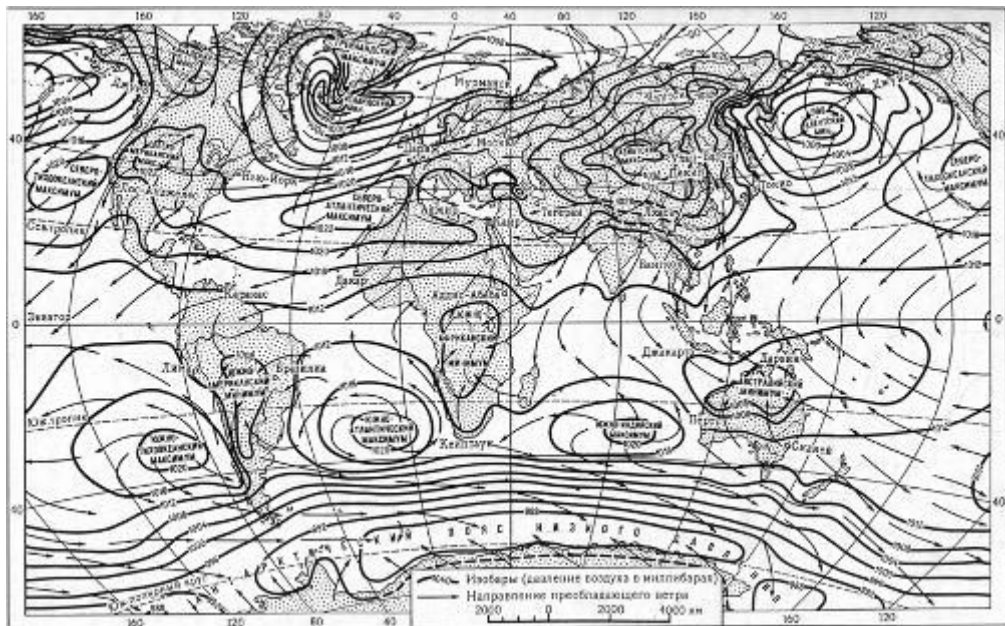
где, h – разность высот двух пунктов ($h_2 - h_1$);

P_1 – давление в нижнем пункте;

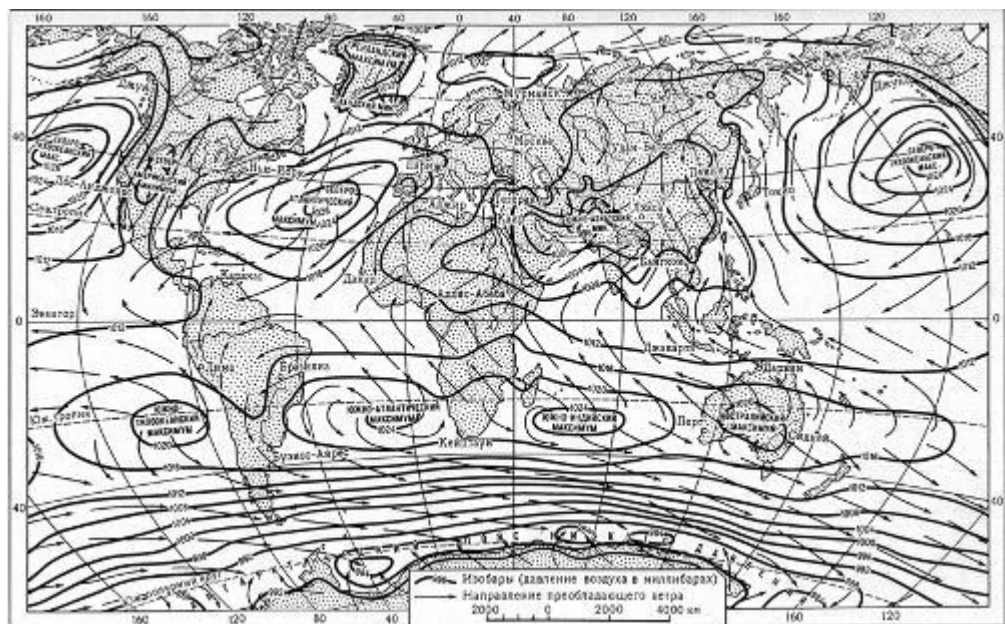
P_2 – давление в верхнем пункте;

t° – температура (°C) средняя между двумя уровнями.

8000 – высота «однородной» атмосферы (т.е. атмосферы одинаковой плотности, такой, какая она у подстилающей поверхности).



Давление воздуха и ветры в январе (по Б.П. Алисову).



Давление воздуха и ветры в июле (по Б.П. Алисову).

Причины изменения давления

Давление изменяется в результате перемещения воздуха, в результате оттока из одного места и притока в другое. Перемещения воздуха связаны с различиями в плотности воздуха, возникающими при неравномерном нагревании его от подстилающей поверхности.

Нагревание вызывает подъем нагретого воздуха. Но одно это не приводит к изменению давления, поскольку масса столба воздуха не изменилась. Для того чтобы давление уменьшилось, должен произойти отток воздуха. Так при нагревании, возникают восходящие токи, изобарические поверхности поднимаются в месте нагревания, так как

вверху плотность возрастает. Но воздух начинает стекать по изобарическим поверхностям в стороны. С этого момента давление на поверхности начинает падать и понизу воздух с периферии потечет в место нагревания, стремясь выровнять перепад давления. Таким образом, неравномерное нагревание подстилающей поверхности вызывает движение воздуха, его циркуляцию.

Движение воздуха также может быть вызвано неравномерным охлаждением поверхности. Только характер циркуляции будет иным. Здесь воздух сжимается.

На некоторой высоте давление становится ниже, чем на одном уровне с соседними участками. Наверху возникает движение воздуха в сторону холодного участка. Это вызывает повышение давления у земной поверхности. В результате воздух начинает растекаться по направлению барического градиента.

Таким образом, в теплых районах у земной поверхности возникают области пониженного давления, в холодных – повышенного, а на высоте наоборот. Каждому типу соответствует своя система циркуляции воздуха. Термические причины (изменение температуры) приводит к появлению динамических причин (уменьшению или увеличению массы воздуха) – изменению давления и циркуляции воздуха.

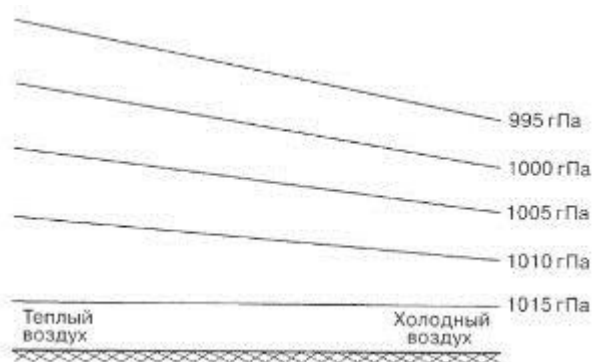
Барические ступени

Давление атмосферы непрерывно изменяется по вертикали и в горизонтальном направлении. По мере увеличения высоты места давление понижается, так как уменьшается столб воздуха и его плотность. Высота, на которую надо подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на 1 гПа, называется барической (барометрической) ступенью. У земной поверхности при давлении 1000 гПа и температуре 0°C она равна 8 м/гПа. С ростом температуры и увеличением высоты над уровнем моря она возрастает, т. е. она прямо пропорциональна температуре и обратно пропорциональна давлению. Величина, обратная барической ступени, – *вертикальный барический градиент*, т. е. изменение давления при поднятии или опускании на 100 метров. При температуре 0°C и давлении 1000 мб он равен 12,5 гПа.

Температура, °C	Давление воздуха, гПа (мм. рт. ст.).						
	960 (720)	973 (730)	987 (740)	1000 (750)	1013 (760)	1027 (770)	1040 (780)
+30	12,43	12,25	12,10	11,94	11,78	11,63	11,48
+28	12,35	12,17	12,01	11,85	11,70	11,55	11,40
+26	12,26	12,08	11,93	11,77	11,61	11,46	11,31
+24	12,17	11,99	11,84	11,68	11,53	11,38	11,23
+22	12,08	11,90	11,75	11,60	11,44	11,29	11,14
+20	11,99	11,82	11,67	11,51	11,36	11,21	11,06
+18	11,90	11,73	11,58	11,43	11,27	11,12	10,97
+16	11,81	11,64	11,49	11,34	11,19	11,04	10,89
+14	11,72	11,55	11,41	11,25	11,11	10,96	10,82
+12	11,63	11,47	11,32	11,17	11,02	10,88	10,74
+10	11,55	11,38	11,23	11,08	10,93	10,80	11,66
+8	11,46	11,29	11,15	11,00	10,85	10,71	10,57
+6	11,37	11,20	11,06	10,91	10,77	10,63	10,49

+4	11,28	11,12	10,97	10,83	10,69	10,55	10,41
+2	11,19	11,03	10,89	10,74	10,60	10,46	10,32
0	11,10	10,94	10,80	10,66	10,52	10,38	10,24
-2	11,01	10,85	10,71	10,58	10,44	10,30	10,16
-4	10,92	10,76	10,63	10,49	10,35	10,21	10,07
-6	10,83	10,68	10,54	10,41	10,28	10,13	9,99
-8	10,74	10,59	10,45	10,32	10,20	10,05	9,91
-10	10,65	10,50	10,37	10,24	10,11	9,96	9,82
-12	10,57	10,41	10,28	10,15	10,03	9,88	9,74
-14	10,48	10,33	10,19	10,07	9,94	9,80	9,66
-16	10,39	10,24	10,11	9,98	9,86	9,72	9,59
-18	10,30	10,15	10,02	9,89	9,78	9,64	9,51
-20	10,21	10,06	9,93	9,81	9,69	9,55	9,42

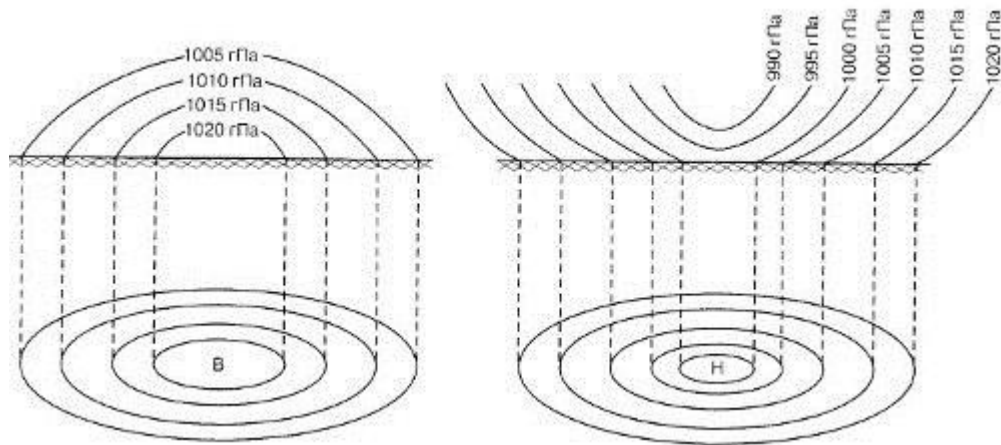
Пространственное распределение атмосферного давления называют **барическим полем**. Распределение давления по вертикали изображается с помощью **изобарических поверхностей** – воображаемых поверхностей в атмосфере, соединяющих точки с одинаковым атмосферным давлением. На их расположение в пространстве большое влияние оказывает температура. При одинаковом давлении у земной поверхности одни и те же изобарические поверхности в теплом воздухе (например, на экваторе) лежат выше, чем в холодном (например, на полюсах). Это объясняется тем, что в холодном и более плотном воздухе давление с высотой уменьшается быстрее, т. е. барическая ступень там меньше, чем в теплом воздухе. Рельеф изобарических поверхностей в тропосфере показывается на специальных картах с помощью **изогипс** – линий равной высоты над уровнем моря, на которых лежит в данном месте та или иная изобарическая поверхность. Такие карты носят название карт **абсолютной барической топографии** (АТ). В синоптической практике принято анализировать изобарические поверхности 850, 700, 500, 300 и 200 мб, лежащие соответственно на высотах около 1,5, 3, 5, 7 и 9 км.



Изобарические поверхности в областях тепла и холода в разрезе

Изменение давления на уровне моря показывается с помощью **изобар** – линий на карте, соединяющих точки с одинаковым приземным атмосферным давлением, обязательно приведенным к уровню моря. Принято показывать изобары, кратные 5 мб, например 995, 1000, 1005, 1010 мб и т. д. Изобары, подобно горизонталям на топографических картах, могут иметь разнообразную конфигурацию. То же можно сказать и об изогипсах, которые, по сути дела, являются теми же горизонталями – линиями равных высот.

Изобары и изогипсы могут быть замкнутыми и незамкнутыми. Система замкнутых изобар с пониженным давлением в центре называется барическим минимумом или циклоном. Система замкнутых изобар с повышенным давлением в центре называется барическим максимумом или антициклоном. На высоте в циклонах изобарические поверхности, не касающиеся поверхности Земли, прогнуты вниз в виде воронок и образуют замкнутые понижения, а в антициклонах, наоборот, выгнуты вверх в виде замкнутых куполов. Кроме замкнутых барических систем, у Земли и в тропосфере выделяются незамкнутые системы: ложбины, гребни и седловины.

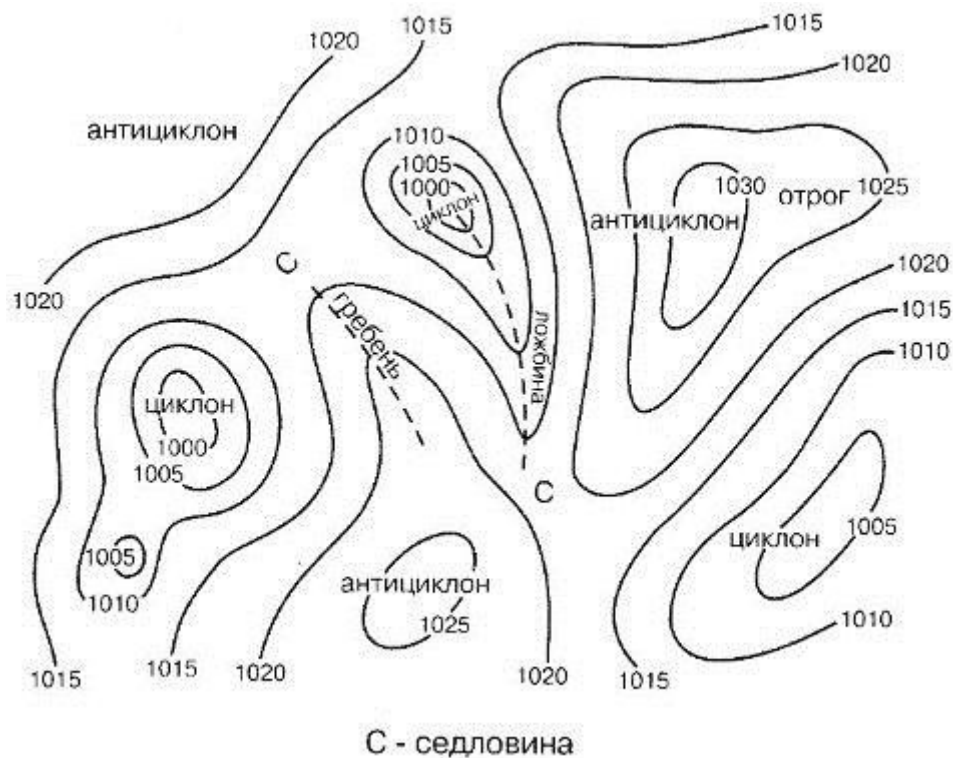


Изобарические поверхности в антициклоне (В) и циклоне (Н) в вертикальном разрезе и их проекции - изобары на плоскости

Ложбина – связанная с циклоном и вытянутая от его центра к периферии полоса пониженного давления, расположенная между двумя областями повышенного давления.

Гребень – связанная с антициклоном и вытянутая от его центра к периферии полоса повышенного давления, расположенная между двумя областями пониженного давления.

Седловина – участок барического поля между двумя циклонами и антициклонами, расположенными крест-накрест.



Барические системы (изобары в мб)

На высоте эти системы соответствуют своим названиям и на картах АТ так и изображаются: ложбинами, гребнями и седловинами. Горизонтальные размеры барических систем изменяются от сотен до тысяч километров, их вертикальная протяженность достигает нескольких километров.

Суточный и годовой ход давления

Суточный ход давления. Атмосферное давление в каждой точке земной поверхности все время меняется, либо растет либо падает. Эти изменения давления в основном носят непериодический характер. Давление в пункте может в течение суток меняться на 20-30 мб. Запись на барографе может иметь вид волнообразной неправильной кривой. Поэтому изменения давления называют еще колебаниями давления.

При метеорологических наблюдениях отмечают величину изменения давления за последние 3 часа перед сроком наблюдений. Эта величина называется *барической тенденцией*.

Суточное изменение хорошо выражено в тропиках и имеет двойной ход: два максимума (перед полуднем и перед полуночью) и два минимума (рано утром и после полудня). Суточная амплитуда может достигать 3-4 мб. От тропиков к полюсам амплитуда суточных колебаний убывает; к 60° может составлять десятые доли миллибара.

Причинами суточного хода давления являются: суточный ход температуры воздуха, собственные упругие колебания атмосферы, приливные волны в атмосфере.

Годовой ход давления. Области низкого давления (циклоны) испытывают определенные изменения положения в течение года. Над океанами умеренных широт циклоны зимой

глубже, чем летом. Над материками зимой преобладают области высокого давления (*антициклоны*), а летом – области пониженного давления (*циклоны*).

Над субтропическими частями океанов круглый год преобладают антициклоны, но в северном полушарии они сильнее выражены в июле, а в южном – в январе.

В экваториальных широтах круглый год преобладают области низкого давления.

Над Арктикой давление повышенное, но антициклон формируется только над Гренландией. Над Антарктидой находится устойчивый барический максимум.

Типы годового хода давления разнообразны. Наиболее прост он над материками, где максимум приходится на зиму и минимум на лето, а годовая амплитуда растет с удалением от океанов.

В высоких широтах океанов максимум наблюдается ранним летом, а минимум зимой. В средних широтах над океанами нередок двойной ход давления – с максимумами летом и зимой и с минимумами весной и осенью, причем амплитуда невелика. В тропических широтах над океаном годовой ход давления выражен слабо.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Как определяется атмосферная давление?
2. Что такое нормальное атмосферное давление?
3. Что представляет собой понятие «Барические ступени»?
4. Как определяется суточный и годовой ход давления?

Литература

1. Зубащенко Е.М. Региональная физическая география. Климаты Земли: учебно-методическое пособие. Часть 1. / Е.М. Зубащенко, В.И. Шмыков, А.Я. Немыкин, Н.В. Полякова. – Воронеж: ВГПУ, 2007. – 183 с.