

и атмосферных явлений. Физическое состояние атмосферы в определенный момент или промежуток времени, характеризующее совокупностью метеорологических величин и атмосферных явлений, носит название *погода*. При этом можно говорить о погоде в определенной точке пространства, о погоде района, о погоде по маршруту и т. п.

В зависимости от практической деятельности человека для характеристики погоды привлекаются различные совокупности метеорологических величин и явлений. Так, при метеорологическом обеспечении авиации наибольший интерес представляют: дальность видимости, высота облаков, гроза, обледенение и болтанка самолетов, ветер и температура на различных высотах. При обслуживании сельского хозяйства прежде всего необходимы сведения: о температуре и влажности почвы и приземного слоя воздуха, об осадках, притоке солнечной радиации и заморозках.

9 Градиент метеорологической величины

Метеорологические величины изменяются как во времени, так и в пространстве, т. е. являются функциями координат точки x , y , z и времени t :

$$f = f(x, y, z, t), \quad (9.1)$$

где f — произвольная метеорологическая величина.

Совокупность значений метеорологической величины во всем пространстве (или ограниченной области его) называют *полем* этой величины.

Для характеристики пространственного распределения метеорологических величин в фиксированный момент времени вводится понятие *эквискалярной поверхности*, в каждой точке которой, согласно определению, метеорологическая величина сохраняет постоянное значение:

$$f(x, y, z) = C, \quad (9.2)$$

где C — постоянная для данной эквискалярной поверхности. Эта постоянная различна для разных поверхностей.

Эквискалярные поверхности различных метеорологических величин носят название: давления — *изобарические*, температуры — *изотермические*, плотности — *изопикнические* и т. д.

Кривые пересечения эквискалярных поверхностей с любой другой поверхностью (в частности, с поверхностью уровня моря) называют изолиниями величины f . Применительно к давлению это изобары, к температуре — изотермы и т. д.

Количественной мерой изменения метеорологической величины в пространстве служит *градиент* этой величины. Градиентом ($\text{grad } f$) величины f называют вектор, который по направлению совпадает с нормалью \mathbf{N} к эквискалярной поверхности (положительное направление — в сторону уменьшения f), а по модулю равен производной от f по N с обратным знаком:

$$|\text{grad } f| = -df/dN. \quad (9.3)$$

Нетрудно показать, что проекция градиента величины f на любое направление l равна частной производной (с обратным знаком) от f по l :

$$\text{grad}_l f = -\partial f / \partial l. \quad (9.4)$$

В частности, проекции градиента на оси координат x , y , z равны $-\partial f / \partial x$, $-\partial f / \partial y$, $-\partial f / \partial z$ (плоскость xoy — горизонтальная, касательная к уровенной поверхности; ось z направлена по вертикали вверх).

Наибольший практический интерес представляют горизонтальная и вертикальная проекции $\text{grad } f$:

$$\text{grad}_n f = -\partial f / \partial n, \quad \text{grad}_z f = -\partial f / \partial z, \quad (9.5)$$

где n — нормаль к изолиниям величины f на уровенной поверхности (в частности, к изобарам или изотермам).

Горизонтальную и вертикальную проекции градиента принято называть соответственно горизонтальным и вертикальным градиентами. Поскольку n направлена в сторону убывания f , то горизонтальный градиент всегда положителен: $-\partial f / \partial n > 0$. Вертикальный градиент может быть как положительным, так и отрицательным, поскольку ось z всегда направлена по вертикали вверх.

Справедливо следующее общее правило: *если величина f убывает с высотой, то вертикальный градиент ее положителен ($-\partial f / \partial z > 0$); если величина f растет с высотой, то вертикальный градиент этой величины отрицателен ($-\partial f / \partial z < 0$).*

На практике при расчете градиентов истинные производные от метеорологических величин заменяют отношением конечных разностей, т. е. полагают

$$-\frac{df}{dN} = -\frac{\Delta f}{\Delta N}, \quad -\frac{\partial f}{\partial n} = -\frac{\Delta f}{\Delta n}, \quad -\frac{\partial f}{\partial z} = -\frac{\Delta f}{\Delta z}, \quad (9.6)$$

где Δf — приращение величины f , соответствующее увеличению расстояний (шагам) вдоль нормалей на ΔN и Δn и по высоте на Δz .

Давление воздуха (p). Основной единицей давления, согласно Международной системе единиц (СИ), служит паскаль (Па); $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 1 \text{ кг/(м}\cdot\text{с}^2)$. В метеорологии наиболее часто в качестве единицы давления используется гектопаскаль (гПа); $1 \text{ гПа} = 10^2 \text{ Па}$.

Обозначим вертикальный и горизонтальный градиенты давления через G_1 и G_2 соответственно:

$$G_1 = -\partial p / \partial z \text{ или } G_1 = -\Delta p / \Delta z, \quad (9.7)$$

$$G_2 = -\partial p / \partial n \text{ или } G_2 = -\Delta p / \Delta n. \quad (9.8)$$

На синоптических картах изобары проводят через 5 гПа ($\Delta p = -5 \text{ гПа}$). Поэтому, если Δn — расстояние между изобарами (по нормали к ним), проведенными через 5 гПа, формула (9.7) принимает вид $G_2 = 5 / \Delta n$.

Горизонтальный градиент давления рассчитывают чаще всего в гектопаскалях на 100 км (гПа/100 км). Значение G_2 в условиях атмосферы обычно колеблется от 1 до 5 гПа/100 км.

Так как давление всегда падает с высотой (это положение доказывается в главе 3), вертикальный градиент давления всегда положителен, т. е. $G_1 \geq 0$. Отметим, что в атмосфере G_1 в десятки и сотни тысяч раз больше G_2 , т. е. давление с высотой изменяется значительно быстрее, чем в горизонтальном направлении.

Температура воздуха (T или t). Единицей температуры в шкале Кельвина служит кельвин (К), в шкале Цельсия — градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$); $1 \text{ К} = 1^{\circ}\text{C}$. Температуры по шкале Кельвина (T) и шкале Цельсия (t) связаны между собой соотношениями:

$$T = 273,15 + t \text{ или } T = 273,15(1 + \alpha t),$$

где $\alpha = 1/273,15 \approx 0,00366 \text{ К}^{-1}$.

Горизонтальный и вертикальный градиенты температуры обозначим соответственно

$$\Gamma = -\partial T / \partial n \text{ и } \gamma = -\partial T / \partial z.$$

Горизонтальный градиент температуры Γ чаще всего рассчитывают в градусах Цельсия на 100 км. Обычно Γ составляет несколько градусов Цельсия на 100 км. Вертикальный градиент температуры γ , или, как его еще называют, вертикальный градиент стратификации, колеблется в условиях атмосферы (в различных слоях и в разные моменты времени) в широких пределах. Он может быть как положительным, так и отрицательным.

На практике γ рассчитывают для различных слоев по формуле

$$\gamma = -\Delta T / \Delta z,$$

где $\Delta T = T_2 - T_1$, $\Delta z = z_2 - z_1$ — приращения температуры и высоты; T_1 — температура на высоте z_1 , T_2 — температура на высоте z_2 (рис. В.1). Если $\gamma > 0$, то температура в данном слое падает с высотой ($T_2 < T_1$); если $\gamma = 0$, то температура постоянна (изотермия); если $\gamma < 0$, то температура растет с высотой (инверсия температуры).

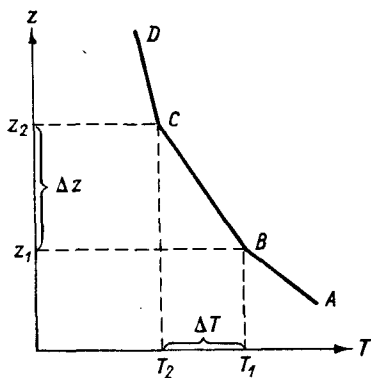


Рис. В.1. Кривая распределения температуры по высоте (кривая стратификации).

Кривую распределения температуры по высоте, или кривую стратификации, обычно строят по данным измерений с помощью радиозонда, самолета или ракеты. По этим данным наносят на график точки A, B, C, \dots (см. рис. В.1). Так как закономерности изменения температуры между этими точками неизвестны, обычно делают простейшее предположение: температура между точками A и B , B и C , C и D и т. д. изменится с высотой линейно.

Поэтому точки на графике соединяют отрезками прямой. Построенная таким образом ломаная линия и будет представлять собой *кривую стратификации*.

10 Понятие о барических системах

Метеорологические станции, на которых производится измерение давления и других метеорологических величин, расположены на различной высоте над уровнем моря. Так как давление изменяется с высотой, то измеренные на станциях значения его будут различаться прежде всего под влиянием разности высот. Оценивать изменение давления в горизонтальном направлении (в частности, рассчитать горизонтальный градиент давления) можно, очевидно, только тогда, когда давление приведено (т. е. пересчитано) к какому-либо одному уровню. В качестве такого уровня выбирается обычно уровень моря. Приведенное к уровню моря давление и другие метеорологические величины (температура; точка росы; скорость ветра; количество, высота и форма облаков и др.) наносятся на бланки географических карт, которые называются приземными картами погоды.

Установим связь между распределением давления в горизонтальном направлении и наклоном ($\text{tg } \alpha_p$) изобарических поверхностей. Пусть давление на уровне моря падает справа налево