

6 Геопотенциал. Абсолютная и относительная высота изобарических поверхностей

В последние десятилетия получил широкое распространение новый метод анализа полей давления в свободной атмосфере — метод барической топографии (БТ). В основе этого метода лежит применение карт БТ, составляемых по данным зондирования атмосферы во многих точках Земли. Введем понятие геопотенциала. *Геопотенциалом* Φ^* уровня называется работа, которую необходимо совершить, чтобы поднять единицу массы в поле силы тяжести от исходного уровня (за который принимается, как правило, уровень моря) до этого уровня.

Поскольку при подъеме единичной массы на высоту dz затрачивается работа $d\Phi^* = g dz$, формула для Φ^* , очевидно, имеет вид

$$\Phi^* = \int_0^z g dz,$$

где z — высота точки над уровнем моря. Единица геопотенциала в СИ — $\text{м}^2/\text{с}^2$.

Геопотенциальная высота Φ представляет собой отношение геопотенциала Φ^* к нормальному (стандартному) ускорению свободного падения $g_0 = 9,80665 \text{ м/с}^2$, т. е.

$$\Phi = \frac{\Phi^*}{g_0} = \frac{1}{g_0} \int_0^z g dz, \quad d\Phi = \frac{g}{g_0} dz. \quad (6.1)$$

Геопотенциальная высота имеет размерность длины. Ее единицей служит *геопотенциальный метр* (сокращенно гп. м). Поскольку g и g_0 близки между собой, значения Φ и z незначительно отличаются друг от друга (по крайней мере до высот порядка 30 км).

Введем геопотенциальную высоту в барометрические формулы (для примера ограничимся формулой реальной атмосферы). Если в формулу (3.3) ввести среднюю барометрическую температуру, то с учетом (6.1) она примет вид

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{g_0 \Phi}{R_c \bar{T}_v}\right). \quad (6.2)$$

Преимущество формулы (6.2) по сравнению с формулой (3.25) состоит в том, что при ее выводе не сделано допущение о независимости g от z . Это замечание является общим в том смысле, что путем перехода от z к Φ обеспечивается учет зависимости g от высоты во всех уравнениях и формулах.

Абсолютной высотой изобарической поверхности (с давлением p) называется ее геопотенциальная высота Φ_p над уровнем моря. Из формулы (6.2) следует

$$\Phi_p = \frac{R_c}{g_0} \bar{T}_v \ln \frac{p_0}{p} = 67,4 \bar{T}_v \lg \frac{p_0}{p}. \quad (6.3)$$

Согласно формуле (6.3), Φ_p (при $p = \text{const}$) зависит от давления на уровне моря p_0 и средней температуры \bar{T}_v столба воздуха, заключенного между уровнем моря и изобарической поверхностью.

Географические карты, с нанесенными на них значениями абсолютной высоты изобарической поверхности называют картами *абсолютной топографии* (АТ). На таких картах проводятся (как правило, через 40 гп. м) линии равных значений Φ_p , называемые *изогипсами* (они представляют собой кривые пересечения изобарической поверхности с уровнями поверхностями). Поскольку изобарическая поверхность над циклонами имеет вогнутую (к земной поверхности) форму, а над антициклонами — выпуклую, то циклоны и антициклоны на картах АТ представляют собой области в замкнутыми изогипсами соответственно с низкими и высокими значениями Φ_p в центре.

Широкое распространение в службе погоды получили также карты относительной топографии (ОТ), на которые наносятся значения *относительных высот*. Последние представляют собой превышение одной изобарической поверхности (p_2) над другой (p_1), выраженное в гп. м. Формула для относительной высоты $\Phi_{p_1}^{p_2}$ имеет вид

$$\Phi_{p_1}^{p_2} = 67,4 \bar{T}_v \lg \frac{p_1}{p_2}. \quad (6.4)$$

Из этой формулы следует, что $\Phi_{p_1}^{p_2}$ зависит только от средней температуры столба воздуха, заключенного между изобарическими поверхностями. С этой точки зрения карты ОТ эквивалентны картам средней температуры. Линии равных значений $\Phi_{p_1}^{p_2}$, проведенные на картах ОТ (через 40 гп. м), также называют *изогипсами*.

В дальнейшем в качестве вертикальной координаты вместо высоты иногда будет использовано давление. Поэтому приведем значения высот z , на которых расположены (при среднем распределении температуры по высоте (см. рис. 2.1) и $p_0 = 1013,2$ гПа) изобарические поверхности с давлением p :

p гПа	1000	900	850	800	700	500	300
z км	0,11	0,98	1,45	1,94	3,02	5,58	9,18
p гПа	200	100	50	20	10	5	1
z км	11,8	16,2	20,6	26,5	31,2	36,1	48,6