

ЦИКЛОГЕНЕЗ и АНТИЦИКЛОГЕНЕЗ

Гидродинамическая теория

УРАВНЕНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ВИХРЯ СКОРОСТИ

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial \Omega}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega}{\partial y} \right) - \tau \frac{\partial \Omega}{\partial p} - (\Omega + l) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \left(u \frac{\partial l}{\partial x} + v \frac{\partial l}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial \tau}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial p} - \frac{\partial \tau}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial p} \right)$$

Из уравнения видно, что локальное изменение вихря скорости (т.е. тенденция $\frac{\partial \Omega}{\partial t}$) определяется 5 факторами:

- 1 – адвекция вихря скорости;
- 2 – вертикальный перенос;
- 3 – дивергентный фактор;
- 4 – адвекция силы Кориолиса;
- 5 – характеризует зависимость $\frac{\partial \Omega}{\partial t}$ от горизонтального градиента вертикальной скорости и изменения ветра (учитывается только в горных районах при меридионально ориентированных хребтах).

ОСНОВНЫЕ СЛАГАЕМЫЕ В УРАВНЕНИИ ТЕНДЕНЦИИ ВИХРЯ СКОРОСТИ

Для выявления условий, наиболее благоприятных для циклогенеза у поверхности земли, целесообразно использовать уравнение тенденции вихря скорости, в котором ограничимся основными слагаемыми (вихревым и дивергентным):

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial \Omega}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega}{\partial y} \right) - \ell \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

Проведем преобразования

$$\text{Заменяя } u = u_g = -\frac{g}{\ell} \frac{\partial H}{\partial y}; \quad v = v_g = \frac{g}{\ell} \frac{\partial H}{\partial x}; \quad \Omega = \frac{g}{\ell} \nabla^2 H,$$

получим

$$\frac{\partial \nabla^2 H}{\partial t} = -\frac{g}{\ell} (H, \nabla^2 H) - \frac{\ell^2}{g} D. \quad (4.1)$$

$$\text{Известно, что } H_p = H_{p_0}^p + H_{p_0} = aT_m + H_{p_0},$$

где $a = \text{const}$ при заданных значениях p_0 и p .

Тогда

$$\frac{\partial \nabla^2 H_p}{\partial t} = a \frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} + \frac{\partial \nabla^2 H_{p_0}}{\partial t}. \quad (4.2)$$

Далее ...

Рассмотрев образование циклона в приземном слое и используя формулу (4.1), можем записать:

$$\frac{\partial \nabla^2 H_{p_0}}{\partial t} = -\frac{g}{\ell} (H, \nabla^2 H)_p - \frac{\ell^2}{g} D_p - a \frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} \quad (4.3)$$

Учитывая зависимость, существующую между локальными изменениями геопотенциала и вихря скорости

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -m\ell \frac{\partial \Omega}{\partial t} = -mg \frac{\partial \nabla^2 H}{\partial t},$$

где m – некоторый положительный коэффициент, уравнение (4.3) может быть записано в виде:

$$\frac{\partial H_{p_0}}{\partial t} = \frac{mg^2}{\ell} (H, \nabla^2 H)_p + m\ell^2 D_p + amg \frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} \quad (4.4)$$

УСЛОВИЯ ЦИКЛОГЕНЕЗА

Из уравнения (4.4) следует, что наиболее благоприятными условиями понижения давления в данном районе ($\frac{\partial H_{p_0}}{\partial t} < 0$) являются такие, при которых в средней тропосфере осуществляется положительная адвекция вихря скорости, т.е. когда $(H, \nabla^2 H) < 0$, дивергенция скорости имеет отрицательное значение ($D_p < 0$) и величина $\nabla^2 T_m$, соответствующая вихрю термического ветра, с течением времени уменьшается $\left(\frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} < 0 \right)$.

УСЛОВИЯ АНТИЦИКЛОГЕНЕЗА

Из уравнения (4.4) следует, что наиболее благоприятными условиями повышения давления в данном районе ($\frac{\partial H_{p_0}}{\partial t} > 0$) являются такие, при которых в средней тропосфере осуществляется отрицательная адвекция вихря скорости, т.е. когда $(H, \nabla^2 H) > 0$, дивергенция скорости имеет положительное значение ($D_p > 0$) и величина $\nabla^2 T_m$, соответствующая вихрю термического ветра, с течением времени увеличивается $\left(\frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} > 0 \right)$.

ВИХРЕВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ

Знак первого слагаемого можно оценить, используя уравнение вихревой составляющей в натуральных координатах:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right)_v = \frac{mg^2}{\ell} (H, \nabla^2 H)_p = \frac{mg^2}{\ell} H_n (H_n k_s + H_{ns} k + H_{nns}), \quad (4.5)$$

Условные обозначения к формуле

где $(H, \nabla^2 H)$ – якобиан геопотенциала (оператор Якоби);

m – коэффициент, $m > 0$;

l – параметр Кориолиса;

H_n – горизонтальный градиент геопотенциальных высот изобарической поверхности, величина всегда положительная;

H_{ns} – изменение градиента вдоль потока s : $H_{ns} > 0$ при сходимости изогипс;

$H_{ns} < 0$ при расходимости изогипс;

k – кривизна изогипс: $k > 0$ при циклонической кривизне изогипс;

$k < 0$ при антициклональной кривизне изогипс;

k_s – изменение кривизны изогипс вдоль потока s : $k_s > 0$ при увеличении

циклонической и уменьшении антициклональной кривизны; $k_s < 0$ при

уменьшении циклонической кривизны и увеличении антициклональной кривизны;

H_{ms} – изменение градиента геопотенциала по нормали к изогипсам и вдоль потока s :

$H_{ms} > 0$ при сгущении изогипс в сторону высокого геопотенциала;

$H_{ms} < 0$ при сгущении изогипс в сторону низкого геопотенциала;

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВИХРЕВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Для циклогенеза благоприятные условия создаются:

- 1) при расходимости циклонически искривленных изогипс и сходимости антициклонически искривленных изогипс (происходит падение давления);
- 2) при уменьшении циклонической и увеличении антициклонической кривизны изогипс по течению (происходит падение давления);
- 3) если сгущение изогипс по течению увеличивается со стороны низкого давления или уменьшается со стороны высокого давления (происходит падение давления).

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВИХРЕВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Для антициклогенеза благоприятные условия создаются:

- 1) при сходимости циклонически искривленных и расходимости антициклонически искривленных изогипс (происходит рост давления);
- 2) при увеличении циклонической и уменьшении антициклонической кривизны изогипс по течению (происходит рост давления);
- 3) если сгущение изогипс по течению увеличивается со стороны высокого давления или уменьшается со стороны низкого давления (происходит рост давления).

ДИВЕРГЕНТНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ

(горизонтальная дивергенция скорости)

$$\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right)_{\text{див}} = \frac{l^2}{m} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) = -\frac{l^2}{m} \frac{\partial \tau}{\partial p}.$$

Дивергентный фактор качественно можно оценить по характеру изменения интенсивности и знака вертикальных движений с высотой $\left(\frac{\partial \tau}{\partial p}\right)$.

При восходящих токах $\tau < 0$, а при нисходящих $\tau > 0$.

ОЦЕНКА ДИВЕРГЕНТНОГО ФАКТОРА

Циклогенез наблюдается, если:

1) восходящие движения с высотой усиливаются или нисходящие ослабевают

$$\partial\tau < 0, \partial p < 0, \left(\frac{\partial\tau}{\partial p}\right) > 0;$$

2) отмечается переход с высотой нисходящих движений в восходящие.

В этих случаях наблюдается падение давления $\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right) < 0$.

ОЦЕНКА ДИВЕРГЕНТНОГО ФАКТОРА

Антициклогенез наблюдается, если:

1) нисходящие движения с высотой усиливаются или восходящие ослабевают

$$\partial\tau > 0, \quad \partial p < 0, \quad \left(\frac{\partial\tau}{\partial p}\right) < 0;$$

2) отмечается переход с высотой восходящих движений в нисходящие.

В этих случаях наблюдается рост давления $\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right) > 0$.

ТЕРМИЧЕСКАЯ АДВЕКЦИЯ

$$\left(\frac{\partial H}{\partial t} \right)_{\text{терм.}} = \frac{P}{m} \ln \frac{P_0}{P} \frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} ,$$

где $\frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t}$ изменение лапласиана средней температуры

в слое $P_0 \div P$ во времени.

Исходя из этого уравнения, можно сформулировать следующие правила:

АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКОГО ФАКТОРА

– возникновение и усиление термического гребня $\frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} < 0$

способствует возникновению циклона у поверхности земли;

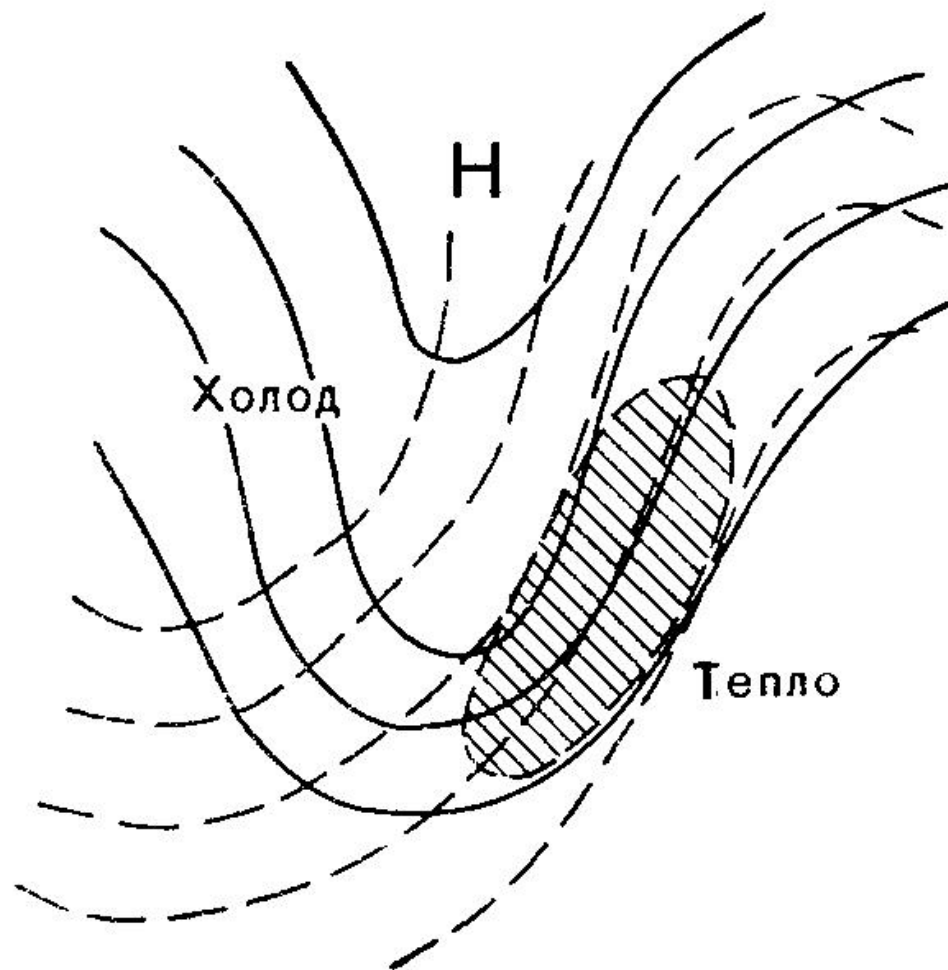
– возникновение и усиление термической ложбины $\frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} > 0$

благоприятствует возникновению антициклона у поверхности земли.

БЛАГОПРИЯТНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ЦИКЛОГЕНЕЗА

- **Благоприятные условия для возникновения циклона у поверхности Земли возникают, если приземный центр располагается под передней частью высотной барической ложбины**

ТЕРМОБАРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, БЛАГОПРИЯТНОЕ ДЛЯ ЦИКЛОГЕНЕЗА



БЛАГОПРИЯТНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ АНТИЦИКЛОГЕНЕЗА

- **Благоприятные условия для возникновения антициклона у поверхности Земли будут, если приземный центр располагается под тыловой частью высотной барической ложбины**

ТЕРМОБАРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, БЛАГОПРИЯТНОЕ ДЛЯ АНТИЦИКЛОГЕНЕЗА

