

# **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  $\frac{\partial \nabla^2 T_m}{\partial t} > 0$

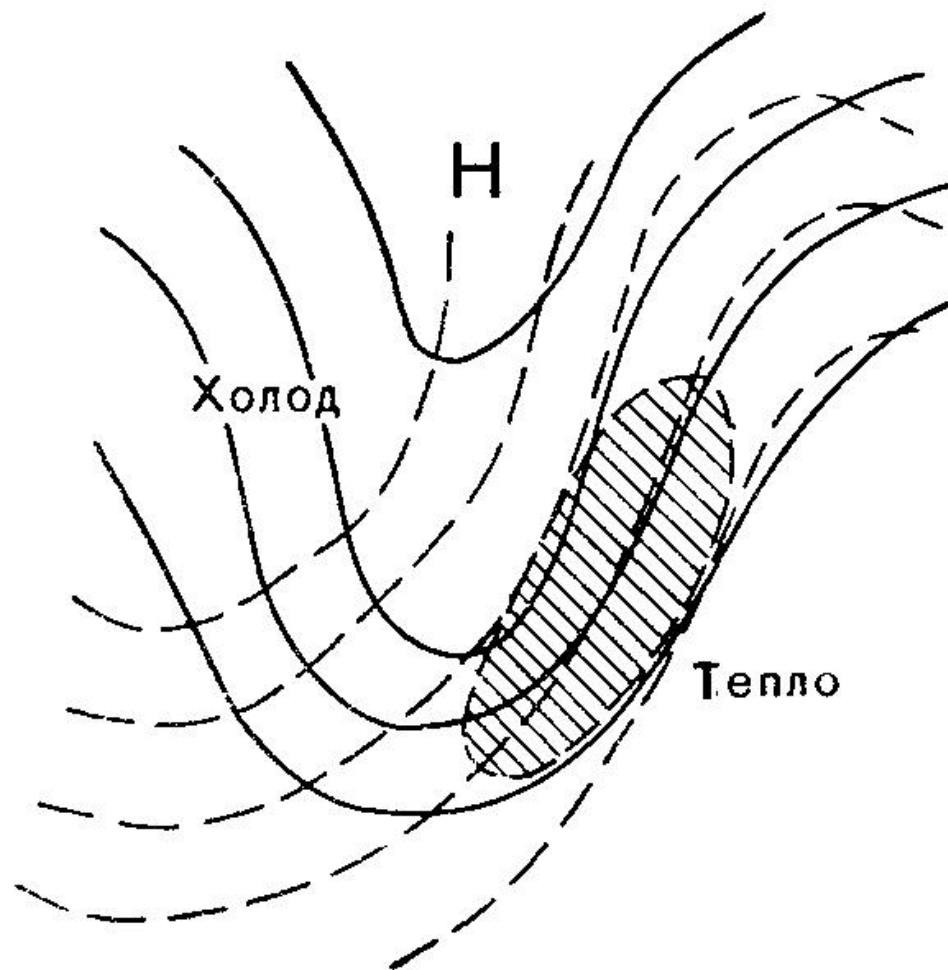
благоприятствует возникновению антициклона у поверхности земли.



# **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

