

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ**  
**ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**МЕТЕОРОЛОГИЯ,  
КЛИМАТОЛОГИЯ  
И ГИДРОЛОГИЯ**

**Межведомственный научный сборник Украины**

**Основан в 1965 г.**

**ВЫПУСК 34**

Одесса – 1997

**Особенности распределения кинетической энергии и  
влагосодержания в южных циклонах.**

В настоящей работе рассматривается бюджет кинетической энергии и водяного пара южных циклонов, смещающихся через территорию Украины по различным траекториям [4].

На основе типизации Бельской Н.Н. [1] были выделены следующие типы траекторий. По траектории I перемещаются циклоны, возникшие над юго-западной частью Средиземного моря и впоследствии смещающиеся через Балканский полуостров и северо-запад Украины. Циклоны траектории II-го типа, зародившись над тем же районом, что и предыдущие, перемещаются затем с большой восточной составляющей через западные и северные районы Украины. По траектории III циклонические вихри, зародившиеся обычно над Генуэзским заливом или Балканским полуостровом, перемещаются через территорию Украины с юго-запада на северо-восток и могут достигать полярного круга. По последнему типу траекторий (IV) циклоны, возникнув над южным побережьем Франции, впоследствии пересекают западную часть Черного моря и территорию Украины с юга на север и заполняются над северо-западом России .

Уравнения бюджета кинетической энергии и водяного пара в общепринятых обозначениях запишем в дивергентной форме [3,5]:

$$\frac{\partial K}{\partial t} = -\nabla \vec{V} K - \frac{\partial \tau K}{\partial p} - \vec{V} \cdot \nabla \Phi + D_1, \quad (1)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\nabla \vec{V} q - \frac{\partial \tau q}{\partial p} + D_2 \quad (2)$$

В этих уравнениях члены слева описывают локальные изменения энергии (влажносодержания); первые два члена справа - дивергенцию горизонтальных и вертикальных потоков соответственно; третий член справа в (1) - генерацию кинетической энергии за счет работы силы барического градиента; последние члены трактуются как диссипативные, косвенным образом учитывающие процессы подсиноптического масштаба.

Методы расчета послойных значений указанных выше характеристик представлены в [1].

## 1. Запасы и бюджет водяного пара в циклонах.

В табл.1 приведены послойные значения бюджета водяного пара в процессе эволюции южных циклонов различного типа. При анализе будет рассматриваться влажносодержание только того слоя атмосферы, в котором находился циклон в конкретную дату. Не останавливаясь на подробном описании изменений составляющих бюджета для каждого циклона, отметим лишь основные отличия и сходные черты для всех циклонов, перемещающихся по различным траекториям.

Для всех циклонов можно отметить тенденцию к увеличению влажносодержания к стадии максимального развития (третья стадия), после которой происходит заметное (иногда, как в случае циклона IV-го типа, до 50%) уменьшение запасов водяного пара. Максимальные значения  $q$  наблюдаются для циклонов I-го типа ( $17.28 \text{ кг/м}^2$ ), а минимальные - для циклона

II-го типа ( $10.78 \text{ кг/м}^2$ ), что обусловлено различным влагосодержанием в начальной стадии развития циклонов и различными свойствами воздушных масс над географическими районами перемещения указанных вихрей.

Таблица 1.

Распределение послойных значений бюджета водяного пара ( $q$ ,  $\text{кг/м}^2$ ;  $(q_1 - q_4) \cdot 10^{-6} \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ ) в процессе эволюции южных циклонов, перемещающихся по различным траекториям.

| Тип траектории | Дата     | Стадия развития | Слой атм-ры, гПа | $q$   | $q_1$  | $q_2$  | $q_3$ | $q_4$  |
|----------------|----------|-----------------|------------------|-------|--------|--------|-------|--------|
| I              | 26.11.87 | 2               | 1000-850         | 7.22  | 5.03   | 59.39  | -3.22 | -51.15 |
|                | 27.11.87 | 3               | 1000-700         | 12.55 | 16.73  | 35.88  | -0.80 | -18.6  |
|                | 28.11.87 | 3               | 1000-500         | 17.28 | 27.87  | -54.03 | -2.33 | 75.37  |
|                | 29.11.87 | 4               | 1000-500         | 11.11 | -23.60 | -48.42 | -0.25 | 25.10  |
| II             | 10.02.83 | 2               | 1000-850         | 5.34  | 1.45   | 14.87  | 10.14 | -23.56 |
|                | 11.02.83 | 2               | 1000-700         | 8.62  | -2.44  | 56.83  | -2.22 | -57.03 |
|                | 12.02.83 | 2               | 1000-700         | 9.82  | 17.24  | -24.63 | -0.48 | 42.39  |
|                | 13.02.83 | 3               | 1000-500         | 10.78 | 6.34   | -7.13  | 0.53  | 12.90  |
|                | 14.02.83 | 3               | 1000-300         | 7.97  | -19.10 | -0.28  | -0.03 | -18.75 |
|                | 15.02.83 | 4               | 1000-300         | 7.95  | -15.44 | 38.12  | -0.03 | -53.53 |
| III            | 29.02.88 | 1               | 1000-850         | 5.10  | 0.58   | 22.49  | -5.19 | -16.72 |
|                | 01.03.88 | 2               | 1000-850         | 4.34  | 5.45   | 36.12  | 5.06  | -35.73 |
|                | 02.03.88 | 3               | 1000-500         | 11.13 | 18.46  | 96.95  | -2.78 | -75.69 |
|                | 03.03.88 | 4               | 1000-300         | 9.69  | -3.87  | -14.77 | -0.01 | 10.92  |
|                | 04.03.88 | 4               | 1000-300         | 8.57  | -14.34 | 3.84   | 0.07  | -18.78 |
|                | 05.03.88 | 4               | 1000-300         | 8.37  | 6.43   | -43.99 | 0.01  | 50.42  |
| IV             | 06.01.86 | 2               | 1000-850         | 5.60  | 36.29  | 46.63  | -0.86 | -9.48  |
|                | 07.01.86 | 2               | 1000-500         | 10.71 | -5.04  | 64.05  | -0.65 | -68.40 |
|                | 08.01.86 | 3               | 1000-500         | 12.46 | 10.38  | 50.06  | -1.31 | -38.38 |
|                | 09.01.86 | 4               | 1000-300         | 9.35  | -6.49  | 1.71   | 0.00  | -8.22  |
|                | 10.01.86 | 4               | 1000-300         | 6.16  | -11.93 | 6.12   | 0.01  | -18.04 |

Локальные изменения влагосодержания ( $q_1$ ) в целом соответствуют описанным выше особенностям распределения  $q$ . Следует при этом учитывать, что увеличение (уменьшение) запасов водяного пара обусловлено двумя механизмами: пространственным перераспределением водяного пара за счет трехмерной адвекции ( $q_2$  и  $q_3$ ) и изменением агрегатного состояния  $q$ . Последний фактор косвенным образом учитывается диссипативным членом  $q_4$  [3]. Для большинства циклонов в стадии углубления преобладают процессы конденсации ( $q_4 < 0$ ), а при заполнении - испарения водяных капель ( $q_4 > 0$ ). Исключение составляют циклоны IV-го типа, для которых отмечаются отрицательные значения  $q_4$  для всего жизненного цикла, и циклон II-типа, в котором испарение отмечалось накануне стадии максимального развития.

Рассматривая потоки водяного пара через боковую ( $q_2$ ) и верхнюю ( $q_3$ ) границы области вихря, следует отметить большие, чем на порядок, значения  $q_2$ , в связи с чем вертикальный поток водяного пара играет заметно меньшую роль в изменении влагосодержания циклона, чем горизонтальная дивергенция. За счет последнего фактора для всех циклонов в начальный период развития вихря наблюдается приток ( $q_2 > 0$ ), а в стадии заполнения - отток ( $q_2 < 0$ ) водяного пара в область циклонического вихря. Следует отметить, что для циклона IV-го типа положительные значения члена  $q_2$  наблюдаются и в последние дни его существования.

## **2. Бюджет кинетической энергии в южных циклонах.**

Величины составляющих уравнения бюджета кинетической энергии для различных южных циклонов приведены в табл.2.

В отличие от запасов водяного пара, сосредоточенных в основном в нижних слоях атмосферы, большая часть запасов кинетической энергии сосредоточена в районе верхнетропосферного струйного течения. Именно поэтому для южных циклонов II-го и IV-го типов максимальные значения  $K$  наблюдались в последние дни их существования, когда указанные вихри прослеживались в верхней тропосфере. Для циклонов I-го и III-го типов максимум запасов кинетической энергии отмечался непосредственно за стадией максимального развития. В целом же для всех четырех типов южных циклонов изменение запасов кинетической энергии характеризуется их увеличением в процессе эволюции циклонических вихрей.

Временной ход локальных изменений кинетической энергии имеет общие черты для циклонов II-го и IV-го типов, для которых отмечались положительные значения  $K_1$  во всех стадиях, хотя для IV-го типа циклонов эти величины в несколько раз больше. Для циклонов I-го и III-го типов положительные значения наблюдались лишь в стадии максимального развития. В целом же для всех типов циклонов можно отметить рост абсолютных значений  $K_1$  по мере развития вихрей.

Как и для бюджета влагосодержания, горизонтальный поток кинетической энергии как минимум на порядок превышает ее вертикальный поток. Кроме того следует отметить, что для циклонов I-го и II-го типов приток  $K$  за счет горизонтальной дивергенции потоков ( $K_2 > 0$ ) сопровождался оттоком в вышележащие слои ( $K_3 < 0$ ). Для остальных циклонических вихрей эта особенность прослеживается не столь четко. В целом же для всех циклонов отмечается рост  $K_2$  к стадии максимального развития, но для циклона I-го типа наблюдается ее отток ( $K_2 < 0$ ), а для остальных – приток ( $K_2 > 0$ ) кинетической энергии.

Таблица 2.

Распределение послойных значений бюджета кинетической энергии ( $K \cdot 10^5$ , Дж/м<sup>2</sup>,  $K_1$ - $K_5$ , Вт/м<sup>2</sup>) в процессе эволюции южных циклонов, перемещающихся по различным траекториям.

| Тип траектории | Дата     | Стадия развития | Слой атм-ры, гПа | $K$  | $K_1$ | $K_2$  | $K_3$ | $K_4$  | $K_5$  |
|----------------|----------|-----------------|------------------|------|-------|--------|-------|--------|--------|
| I              | 26.11.87 | 2               | 1000-850         | 0.39 | -0.49 | 0.70   | -0.03 | -2.80  | 1.64   |
|                | 27.11.87 | 3               | 1000-700         | 2.07 | 0.23  | 0.70   | -0.05 | -0.10  | -0.32  |
|                | 28.11.87 | 3               | 1000-500         | 4.55 | 1.09  | -7.40  | 2.52  | -10.10 | 16.07  |
|                | 29.11.87 | 4               | 1000-500         | 3.05 | -0.29 | -2.10  | 0.13  | -4.20  | 5.88   |
| II             | 10.02.83 | 2               | 1000-850         | 0.15 | 0.08  | 0.00   | 0.01  | 0.10   | -0.03  |
|                | 11.02.83 | 2               | 1000-700         | 1.72 | 0.83  | 1.80   | -0.03 | 0.70   | -1.64  |
|                | 12.02.83 | 2               | 1000-700         | 1.48 | 0.06  | -2.20  | 0.16  | -0.10  | 2.20   |
|                | 13.02.83 | 3               | 1000-500         | 3.25 | 0.04  | 1.10   | -0.10 | 2.30   | -3.26  |
|                | 14.02.83 | 3               | 1000-300         | 7.35 | 1.92  | 6.70   | -0.36 | 26.70  | -31.12 |
|                | 15.02.83 | 4               | 1000-300         | 8.58 | -0.49 | 52.80  | -0.14 | 28.60  | -81.75 |
| III            | 29.02.88 | 1               | 1000-850         | 0.50 | -0.02 | 0.50   | -0.11 | 6.80   | -7.21  |
|                | 01.03.88 | 2               | 1000-850         | 0.48 | -0.47 | 1.30   | 0.10  | 0.80   | -2.67  |
|                | 02.03.88 | 3               | 1000-500         | 5.33 | 1.15  | 8.50   | -1.80 | 25.20  | -30.85 |
|                | 03.03.88 | 4               | 1000-300         | 7.01 | -1.73 | -1.10  | -0.04 | -18.40 | 17.81  |
|                | 04.03.88 | 4               | 1000-300         | 5.34 | -0.19 | 2.00   | 0.22  | -0.30  | -2.11  |
|                | 05.03.88 | 4               | 1000-300         | 6.84 | 2.57  | -17.30 | 0.25  | -33.00 | 52.62  |
| IV             | 06.01.86 | 2               | 1000-850         | 0.45 | 0.06  | 1.80   | 0.02  | 4.10   | -5.86  |
|                | 07.01.86 | 2               | 1000-500         | 5.04 | 2.39  | 4.80   | 0.46  | -0.70  | -2.17  |
|                | 08.01.86 | 3               | 1000-500         | 4.51 | 2.10  | 5.60   | -0.64 | 3.40   | -6.26  |
|                | 09.01.86 | 4               | 1000-300         | 8.23 | 0.19  | -4.10  | -0.02 | -20.90 | 25.21  |
|                | 10.01.86 | 4               | 1000-300         | 8.89 | 1.47  | -0.30  | -0.03 | -10.50 | 12.30  |

Наибольший интерес представляют величины генерирующего члена ( $K_4$ ), т.к. он описывает переход одного вида энергии в другой. Для циклона I-го типа во все стадии развития отмечались отрицательные значения  $K_4$ , т.е. кинетическая

энергия переходила в потенциальную, причем максимальная интенсивность этого процесса наблюдалась в стадии максимального развития. Для циклона II-го типа практически нулевые значения  $K_4$  в первые стадии сменяются большими величинами положительной генерации в стадии максимального развития и заполнения циклона. В циклоне III-го типа положительные значения наблюдаются в стадии углубления с максимумом в момент наибольшего развития атмосферного вихря, после чего отмечается обратный переход кинетической энергии в потенциальную. Циклон IV-го типа характеризуется слабыми положительными значениями  $K_4$  до стадии максимального развития и большими отрицательными в процессе заполнения циклона.

Диссипативный член  $K_5$  характеризует переход кинетической энергии от синоптического к подсиноптическому масштабу. Положительные значения этого члена при этом означают приток кинетической энергии в циклон от меньшего масштаба, а отрицательные характеризуют обратный процесс передачи энергии. Для большинства циклонов диссипативный член по знаку обратен генерирующему, т.е. если наблюдается генерация кинетической энергии, то одновременно отмечается и ее переход к меньшим масштабам движения и наоборот.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о принципиальных отличиях циклонов разных типов, что можно использовать при идентификации траекторий перемещения южных циклонов.



## Литература.

-

1. **Бельская Н.Н.** Южные циклоны и условия их перемещения на Европейскую территорию СССР // Труды ЦИП. 1949. –Вып. 17(44).-С.64-113
2. **Кивганов А.Ф., Семенова И.Г., Хохлов В.Н.** Энергетические характеристики циклонов, влияющих на погодные условия Украины. - Библиографический указатель "Депонированные научные работы ВИНТИ". 1996. №3. б/о 169.
3. **Пинус Н.З., Капитанова Т.П.** О бюджете водяного пара и энергии фазовых превращений в циклоне умеренных широт // Метеорология и гидрология.-1978.- №10.-С. 13-22.
4. **Хохлов В.Н.** Условия образования южных циклонов и их влияние на погодные условия Украины. - Деп. В ГНТБ Украины. 19.05.96. №1190 - УК96.
5. **Kung E.C., Tsui T.L.** Subsiniptic scale kinetic energy balance in the storm area. - J.Atmos.Sci.. 1975. vol.32. No.4.

-