

## **СХЕМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В БЛОКУЮЧОМУ АНТИЦИКЛОНІ**

*Запропоновано стадії енергетичної взаємодії блокуючої ситуації з процесами, які відбуваються в її оточенні. Визначено типові схеми перетворення різних видів енергії для кожної стадії.*

**Ключові слова:** енергетика атмосфери, блокуючий антициклон, стадії енергетичної взаємодії

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Енергетичні характеристики вихорів синоптичного масштабу аналізуються тривалий період часу. Але тільки в останні приблизно два десятиріччя, після того як були сформовані загальнодоступні бази даних ре-аналізу, виникла можливість розрахунку та аналізу атмосферної енергетики майже для будь-якого синоптичного об'єкту над будь-яким районом земної кулі за будь-який період часу. Проте треба відзначити, що переважна більшість досліджень енергетики вихорів синоптичного масштабу зосереджувалася на циклонах помірних широт. Для антициклонів, на відміну від циклонів, майже зовсім не проводився аналіз атмосферної енергетики, хоча вплив, наприклад, блокуючих антициклонів на формування екстремальних погодних умов, таких як посухи, хвилі тепла, суховії тощо є суттєвим. Внаслідок того, що енергетика атмосфери дозволяє розглядати динамічні процеси, які відбуваються в блокуючих антициклонах, в усьому їх різноманітті, представлено дослідження виявило певні особливості еволюції процесу блокування та енергетичної взаємодії антициклону з його оточенням, зокрема циклонами помірних широт. Метою роботи було отримання схематичної картини енергообміну між блокуючим процесом та навколишнім оточенням, а саме циклонічними утвореннями та атмосферними фронтами, а також визначення стадій енергетичної взаємодії блокуючого антициклону з іншими синоптичними об'єктами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Можливо першими, хто досліджував вплив блокуючого антициклону на енергетичні характеристики загальної циркуляції атмосфери, були Кунг і Бейкер [1], які використали розкладання атмосферної енергетики у просторі зональних хвильових чисел [2]. Вони показали, що взимку, коли блокуючий антициклон охоплює велику територію у Північній півкулі, під час процесу блокування кінетична енергія передається по спектру від хвильових чисел  $n = 3 \div 10$  до  $n = 1 \div 2$ , що й є причиною виникнення та розвитку антициклону. Запаси кінетичної енергії на  $n = 3 \div 10$  підтримуються інтенсивним барокліним перетворенням з доступної потенціальної енергії. Влітку, коли розміри антициклону були не такими великими, як взимку, процес блокування існував за рахунок передавання кінетичної енергії до хвильового числа  $n = 4$  та її підживлення за рахунок барокліного перетворення в усьому спектрі хвильових рухів. Цікавим продовженням їх роботи є дослідження, виконане Фурньє [3] за допомогою вейвлет-перетворення. Це дозволило йому виявити не тільки передавання вихрової кінетичної енергії від вихорів меншого масштабу до великомасштабного блокуючого гребеня, тобто вгору по спектру рухів, але й зворотній процес – підживлення енергією окремих вихорів синоптичного масштабу за рахунок малорухомого, великого за розмірами антициклону. Ватараї та Танака [4] виконали аналіз енергетики для великої кількості випадків блокуючих процесів за формулюванням, що ґрунтується на поняттях середнього та зсувного потоків. Такий підхід дозволив виявити дві головні відмінності, що мають місце за інтенсивного процесу блокування. По-перше, для випадків блокуючого антициклону є характерним приплив механічної енергії середнього руху до зони поблизу гребеня, що

не спостерігається за відсутності блокування. По-друге, кінетична енергія середнього потоку у верхній частині атмосфери зменшується для випадків блокуючого антициклону внаслідок її перенесення у східному напрямку. Таким чином, конвергенція потоку механічної енергії середнього руху поблизу гребеня може вважатися ознакою виникнення процесу блокування. Хохлов [5] виявив, що на початкових стадіях розвитку в рухливих антициклонах відзначаються істотні перетворення доступної потенціальної енергії у кінетичну разом з припливом останньої через бокові межі вихору. Для стаціонарних антициклонів ці процеси мають місце тільки у верхній атмосфері, тобто над атмосферним вихором. Саме це, з точки зору автора й є причиною того, що одні області підвищеного тиску у подальшому розвиваються у блокуючі процеси, а інші залишаються звичайними синоптичними утвореннями. Цікавим є й те, що, починаючи з роботи Міхалідеса [6], використовувалася схема розрахунку, яка ґрунтується на рівняннях, запропонованих Лоренцем [2] для глобальної атмосфери. Як відомо, Лоренц запропонував розглядати енергетичний цикл в атмосфері між середньої кінетичною, середньою доступною потенціальною, вихровою кінетичною та вихровою доступною потенціальною енергіями. Міхалідес же вивів рівняння для відкритої системи, якою є циклони та антициклони помірних широт. Мішра і Рао [7], застосувавши формулювання Міхалідеса, проаналізували вертикальний розподіл енергетичних характеристик атмосфери і виявили, що найбільш активні процеси перетворення та переносу енергії у циклоні мають місце у верхній тропосфері та нижній стратосфері. За їх результатами, динамічна взаємодія вихору та великомасштабного потоку обмежена шаром 350-100 гПа, що підтверджується вертикальним розподілом перетворення середньої кінетичної та вихрової доступної потенціальної у вихрову кінетичну енергію, а також генерації потенціальної енергії.

Кей та ін. [8] аналізували різницю в енергетичних характеристиках між низькочастотними та високочастотними вихорами. З першими, певною мірою, можна асоціювати блокуючі антициклони, а з другими – звичайні вихори синоптичного масштабу. Автори цієї роботи показали, що з енергетичної точки зору низькочастотні вихори, які розташовуються поблизу вісі струменевої течії, є майже ідентичними високочастотним – вони також еволюціонують за рахунок барокліності через перенесення тепла в напрямку полюсу та перетворення вихрової доступної потенціальної енергії у вихрову кінетичну. Якщо ж розглядати перетворення середньої кінетичної енергії у вихрову кінетичну, то існує невелика, але істотна відмінність. Зокрема, низькочастотні вихори підживлюються енергією на боці струменевої течії з циклонічним зсувом, а високочастотні – набагато північніше від цієї зони. Також, на боці струменевої течії з антициклонічним зсувом низькочастотні вихори дістають енергію, а високочастотні – втрачають [8].

Пецца та ін. [9] досліджували енергетику атмосфери для пари «інтенсивний циклон – блокуючий антициклон» над Аляскою і виявили, що саме зона підвищеного тиску відіграє ключову роль безпосередньо перед виникненням циклону, коли має місце істотне барокліне перенесення енергії від антициклону до його оточення. Треба відзначити, що ця робота є, найвірогідніше, першою, в якій визначається вплив антициклону на сусідній циклонічний вихор. Пецца та ін. [9] також показали, що баротропне перетворення енергії, тобто з середньої кінетичної у вихрову кінетичну енергію, є суттєвим чинником на першій стадії розвитку циклону, після чого основним стає барокліне перетворення – з вихрової доступної потенціальної у кінетичну енергію.

**Основний матеріал і методи дослідження.** Вихідними даними в дослідженні були тривимірні поля об'єктивного аналізу NCEP-NCAR з 1 січня 1998 по 31 грудня

2008 року для області 40°-70° півн.ш. і 0°-70° сх.д. Горизонтальне розділення сітки становить 2,5° по широті і довготі; інтервал між строками складає 24 години. Метеорологічні величини, які використовуються у дослідженнях, це зональна та меридіональна складові вектора швидкості вітру  $u$  і  $v$ , аналог вертикальної швидкості в ізобаричній системі координат  $\tau$  та температури повітря  $T$ . Для опису енергетики досліджуваної області використовувалися такі характеристики: середньозональна доступна потенціальна енергія  $P_Z$ , вихрова доступна потенціальна енергія  $P_E$ , середньозональна кінетична енергія  $K_Z$ , вихрова кінетична енергія  $K_E$ , а також перетворення цих енергій  $(K_Z - K_E)$ ,  $(P_Z - P_E)$ ,  $(P_Z - K_Z)$ ,  $(P_E - K_E)$  і інтегральні перенесення даних видів енергії  $BPZ$ ,  $BPE$ ,  $BKZ$ ,  $BKE$ . Докладніше рівняння для бюджету енергії описані Міхалідесом [6]. Розрахунки проводилися по 119 випадках блокування, які були виявлені за період дослідження над територією Європи.

**Результати дослідження.** Усі блокуючі ситуації можна розділити на три категорії: безпосередньо блокуючий антициклон (I), гребінь з циклонічним зсувом вітру, вісь якого має напрямок з південного сходу на північний захід (II) та гребінь з антициклонічним зсувом вітру, який має орієнтацію з південного заходу на північний схід (III). На підставі цього отримані результати було сформовано у часові ряди та отримано по ним деякі статистичні параметри: максимальне ( $X_{max}$ ), мінімальне ( $X_{min}$ ), середнє арифметичне ( $\bar{X}$ ) значення та дисперсія ( $S_x^2$ ) для перетворень енергії, які наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Статистичні параметри перетворень різних видів енергії (Вт/м<sup>2</sup>) у блокуючих процесах

Під час дослідження перетворень різних видів енергії блокуючих антициклонів

Енергетичні характеристики	Статистичні параметри	Категорія I (Az)	Категорія II (Пд-Сх)	Категорія III (Пд-Зах)
$(K_Z - K_E)$	$X_{max}$	2,56	15,64	11,79
	$X_{min}$	-8,23	-19,27	-7,06
	$\bar{X}$	-2,23	2,84	3,49
	$S_x^2$	3,8	8,82	4,04
$(P_Z - P_E)$	$X_{max}$	0,62	1,48	1,61
	$X_{min}$	-0,60	-0,92	-0,48
	$\bar{X}$	-0,02	0,27	0,21
	$S_x^2$	0,12	0,17	0,18
$(P_Z - K_Z)$	$X_{max}$	3,45	11,17	6,72
	$X_{min}$	-3,87	-2,78	-2,37
	$\bar{X}$	-0,82	3,14	2,43
	$S_x^2$	3,46	4,37	1,85
$(P_E - K_E)$	$X_{max}$	0,71	3,64	2,41
	$X_{min}$	-1,65	-1,83	-1,42
	$\bar{X}$	-0,14	0,64	0,41
	$S_x^2$	0,20	0,50	0,31

було виявлено певні закономірності передачі того чи іншого виду енергії від блокуючого антициклону до оточуючих його процесів циклогенезу та фронтогенезу. Узагальнюючи такі закономірності передачі енергії, доцільно запропонувати визначити деякі стадії енергетичної взаємодії блокуючої ситуації з процесами, які відбуваються в

оточенні блокінга. Крім того, можна визначити типові схеми перетворення різних видів енергії для кожної стадії.

На початковій стадії (стадії утворення блокуючого антициклону) середньозональна доступна потенціальна енергія ( $P_Z$ ) практично для всіх досліджених блокуючих процесів має максимальні значення (рис. 1). Це свідчить про те, що перед блокуванням в атмосфері сконцентрована велика кількість середньозональної доступної потенціальної енергії. На стадії утворення блокуючого антициклону запаси вихрової доступної потенціальної енергії ( $P_E$ ) мають великі значення, але не є максимальними. На цій стадії розвитку блокування вихрова компонента доступної потенціальної енергії отримує запаси від  $P_Z$ . Ймовірно, такої потужності вихрової енергії достатньо для початку утворення в атмосфері блокуючого процесу. Початкова стадія існування блокуючого процесу характеризується середніми значеннями запасів середньозональної кінетичної енергії ( $K_Z$ ) і перетвореннями запасів  $P_Z$  у середньозональну кінетичну енергію. На першій стадії утворення блокуючого процесу запаси вихрової кінетичної енергії ( $K_E$ ) невеликі, але не є мінімальними, завдяки перетворенням середньозональних енергетичних запасів (рис. 1).

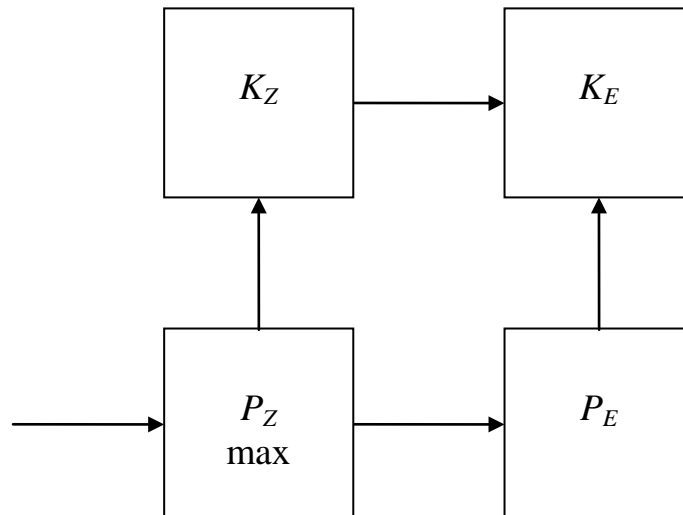


Рис. 1 – Схема перетворення енергії в антициклоні, початкова стадія

Під час взаємодії блокуючої ситуації з процесами в її оточенні (друга стадія) запаси середньозональної доступної потенціальної енергії блокінга починають зменшуватися і можуть досягати своїх мінімальних значень (рис. 2). Ймовірно, під час взаємодії блокуючого процесу з оточуючими його циклонами та фронтами відбувається потужна передача даного виду енергії від одного баричного утворення до іншого. Крім того, запаси  $P_Z$  перетворюються в інші види енергії: в вихрову доступну потенціальну, середньозональну кінетичну та вихрову кінетичну енергії. При взаємодії з циклонами запаси  $P_E$  блокінга розподіляються неоднозначно. Якщо тиск у блокуючому антициклоні збільшується, тобто відбувається посилення блокінгу, то вихрова доступна потенціальна енергія також збільшується. Крім того, у цей час  $P_E$  підживлюється від середньозональної доступної потенціальної та вихрової кінетичної енергій. Коли спостерігається послаблення блокуючої ситуації, то запаси вихрової доступної потенціальної енергії зменшуються навіть у періоди взаємодії з оточенням для всіх розглянутих процесів і її запаси витрачаються на вихрову кінетичну енергію. У періоди

взаємодії антициклона з процесами циклогенезу середньозональна кінетична енергія стрімко зменшується і може навіть досягати своїх мінімальних значень.

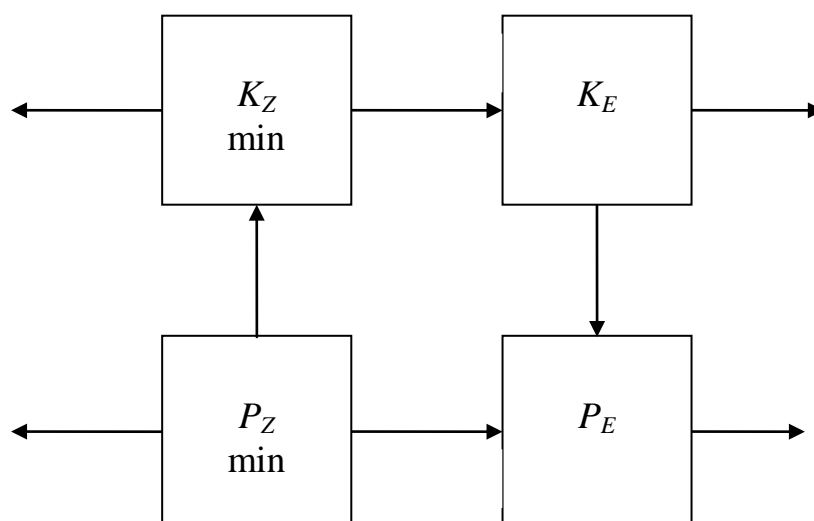


Рис. 2 – Схема перетворення енергії в антициклоні, стадія взаємодії антициклона з оточенням

Такий розподіл  $K_Z$  свідчить про передачу цього виду енергії від області блокінга до зони цикло- та фронтогенезу для підтримки циклонічної та фронтальної діяльності. Крім того,  $K_Z$  віддає частину своїх запасів на підтримку вихрової кінетичної енергії. При активній циклонічній і фронтальній діяльності в оточенні блокінга вихрова кінетична енергія як в області блокування, так і в оточуючих районах збільшується, продовжуючи отримувати енергію від середньозональної кінетичної та середньозональної доступної потенціальної енергій.

На стадії максимального розвитку (третя стадія) блокуючого антициклона запаси середньозональної доступної потенціальної енергії мають достатньо невеликі значення, хоча отримують енергію від інших видів енергії (рис. 3). Запаси вихрової доступної потенціальної енергії збільшуються і стають максимальними за весь період існування блокуючого процесу. Частина вихрової доступної потенціальної енергії перетворюється на середньозональну доступну потенціальну енергію. На стадії максимального розвитку блокування запаси середньозональної кінетичної енергії зростають до максимальних значень, отримуючи при цьому частину запасів вихрової кінетичної енергії. На цій стадії збільшується кривизна ізоліній і середньозональна кінетична енергія концентрується в області блокінга. Зростання запасів  $K_E$  спостерігається і під час максимального розвитку блокуючого антициклона, але ці величини не є максимальними. Частину енергетичних запасів  $K_E$  отримує від вихрової доступної потенціальної енергії.

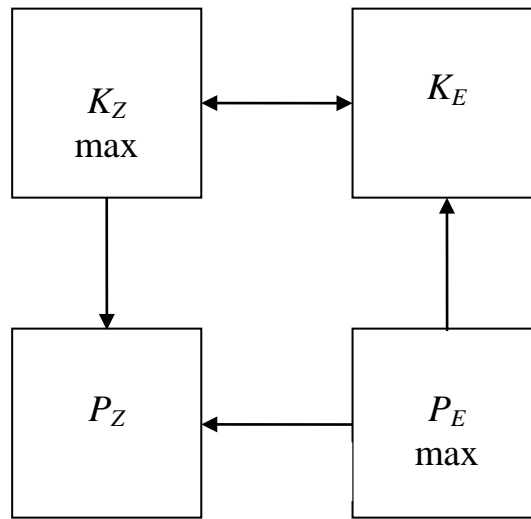


Рис. 3 – Схема перетворення енергії в антициклоні, стадія максимального розвитку

На четвертій стадії (стадія руйнування блокінга) запаси  $P_Z$  стрімко збільшуються у всіх досліджених ситуаціях (рис. 4).

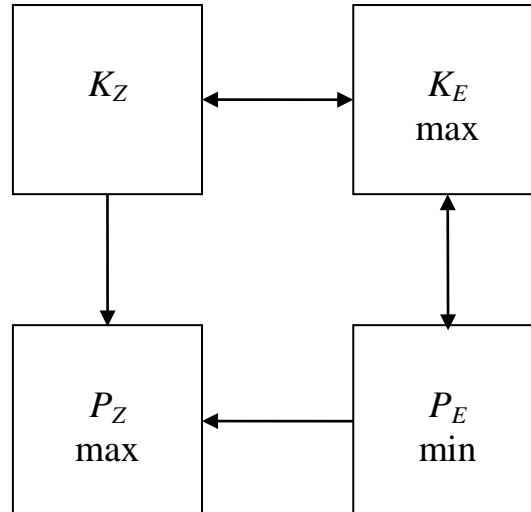


Рис. 4 – Схема перетворення енергії в антициклоні, стадія руйнування

Очевидно, вихрова компонента потенціальних енергій стає мінімальною, а середня – набуває максимуму. Під час руйнування антициклону вихрова доступна потенціальна енергія зменшується. На стадії руйнування блокуючої ситуації запаси середньозональної кінетичної енергії зменшуються і перетворюються у середньозональну доступну потенціальну енергію. Максимальні значення вихрової кінетичної енергії мають місце у період, коли вісь антициклону набуває квазівертикальності, що відбувається на стадії руйнування блокування. В цей період  $K_E$

підтримується за рахунок інших видів енергії. Далі вихрова кінетична енергія стрімко зменшуються, перетворюючись в інші види енергії.

**Висновки.** З енергетичної точки зору еволюцію блокуючого антициклону можна розділити на чотири стадії. Перша – початкова стадія, на якій відбувається утворення блокуючого антициклону. Друга – стадія взаємодії блокінга з процесами цикло- та фронтогенезу в його оточенні. Третя – стадія максимального розвитку блокуючого процесу. Четверта – стадія руйнування блокуючої ситуації. Одержані у дослідженні результати дозволяють, насамперед, покращити наукове розуміння про динамічні процеси, які відбуваються під час взаємодії блокуючого антициклону та циклону. З іншого боку, зважаючи на відносно тривалий період еволюції блокуючого антициклону, це розуміння може дозволити удосконалити методи середньострокового та довгострокового прогнозу погоди, особливо, що стосується екстремальних її проявів, пов'язаних з процесом блокування – посухи, хвилі тепла, зливи на периферії антициклону тощо.

### Список літератури

1. *Kung E.C.* Spectral energetics of the observed and simulated Northern Hemisphere general circulation during blocking episodes // *Journal of the Atmospheric Sciences*. – 1986. – Vol. 43, No. 13. – P. 2792-2812.
2. *Хохлов В.Н.* Энергетика общей циркуляции атмосферы. – Одесса: «ТЭС», 2004. – 132 с.
3. *Fournier A.* Instantaneous wavelet energetic transfers between atmospheric blocking and local eddies // *Journal of Climate*. – 2005. – Vol. 18, No. 13. – P. 2151-2171.
4. *Watarai Y.* Local energetics analysis of blocking formation in the North Pacific decomposed in vertical mean and sheared flows // *Journal of the Meteorological Society of Japan*. – 2004. – Vol. 82, No. 5. – P. 1447-1458.
5. *Хохлов В.Н.* Энергетический бюджет антициклонов в процессе их эволюции // *Метеорология, климатология и гидрология*. – 1999. – Вып. 38. – С. 47-53.
6. *Michaelides S.C.* Limited area energetics of Genoa cyclogenesis // *Monthly Weather Review*. – 1987. – Vol. 115, No. 1. – P. 13-26.
7. *Mishra S.K.* The energetics of an upper tropospheric cyclonic vortex over north-east Brazil // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. – 2001. – Vol. 127. – P. 2329-2351.
8. *Cai M.* Dynamical implications of the orientation of atmospheric eddies: a local energetics perspective // *Tellus*. – 2007. – Vol. 59A, No. 1. – P. 127-140.
9. *Pezza A.B.* Environmental energetics of an exceptional high-latitude storm // *Atmospheric Science Letters*. – 2010. – Vol. 11, No. 1. – P. 39-45.

#### Схеми преобразования энергии в блокирующем антициклоне.

**Хохлов В.Н., Недострелова Л.В., Семенова И.Г.**

*Предложены стадии энергетического взаимодействия блокирующей ситуации с процессами, которые ее окружают. Определены типовые схемы преобразования разных видов энергии для каждой стадии.*

*Ключевые слова:* энергетика атмосферы, блокирующий антициклон, стадии энергетического взаимодействия

#### Schemes of energy conversion in blocking anticyclone

**Khokhlov V.N., Nedostrelova L.V., Semenova I.G.**

*It was proposed the stages of energetic interaction for blockings and processes that are surrounding the anticyclone. The typical schemes for the conversion between different forms of energy during each stage.*

*Keywords:* Atmospheric energy, blocking anticyclone, stage of energetic interaction