

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТИЦИКЛОНУ

Енергетичні характеристики антициклону, в якому спостерігалися інтенсивні конвективні явища, досліджуються за допомогою Ейлерової схеми. Показано, що запаси різних видів енергії та перетворення одного виду в інший збільшуються до стадії максимального розвитку баричного утворення. На цій стадії запаси вихрових енергій збільшуються, а середніх – зменшуються.

Ключові слова: енергетика атмосфери, цикл енергії, антициклони.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Велику увагу, яка надається дослідженню енергетики атмосферних процесів, можна пояснити тим, що енергетика дозволяє розглядати динамічні процеси, що відбуваються в атмосферних системах різного масштабу, в усьому їх різноманітті. Майже єдиним концептуальним припущенням, цілком реальним та неодноразово доказаним експериментально та теоретично, є існування перетворення одних видів енергії в інші і, за рахунок цього, енергетичного "підживлення" атмосферних процесів одного масштабу іншими. Таким чином, проблема, яка розглядалася та розглядається у теперішній час багатьма дослідниками, полягає у найбільш точному з фізичної точки зору описі зазначених перетворень енергії.

Є загальноприйнятим, що першоджерелом атмосферної енергії є приплив тепла за рахунок сонячної радіації. Прямим результатом цього є нагрівання атмосфери і підстильної поверхні океану та суші, тобто генерування внутрішньої енергії. При цьому головна частина потоку тепла від Сонця нагріває не атмосферу, а поверхні океанів та материків, які, у свою чергу, й віддають тепло до атмосфери. За рахунок того, що зазначений приплив тепла від Сонця надходить на поверхню Землі нерівномірно, в атмосфері спостерігаються великі меридіональні температурні контрасти, які й обумовлюють переважно зональну циркуляцію, що має великі запаси кінетичної енергії, частина якої постійно дисипує за рахунок процесів тертя. Одна з головних проблем теорії загальної циркуляції – відповісти на запитання, яким чином деяка частина внутрішньої енергії, що створюється за рахунок припливу тепла від Сонця, у підсумку перетворюється у кінетичну енергію, а також яким чином це впливає на еволюцію об'єктів синоптичного масштабу [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Енергетика глобальної атмосфери досліджується вже протягом 50 років. Взавши за основу зонально симетричну структуру глобальної атмосфери, Лоренц у 1955 р. [3] розділив кінетичну (K) та доступну потенціальну (P) енергії на середньозональні (підрядковий індекс Z) та вихрові (підрядковий індекс E) компоненти, а також сформулював перетворення одного виду енергії в іншій, ґрунтуючись на ейлеровій середній меридіональній циркуляції. За останні декілька десятиріч роль об'єктів синоптичного масштабу як важливих факторів атмосферної енергетики глобального масштабу, висвітлена у багатьох наукових працях. Але, як правило, у цих працях розглядається переважно бюджет кінетичної енергії циклонів помірних широт. Система рівнянь для бюджетів кінетичної (KE) та доступної потенціальної енергії (DP), запропонована Лоренцем, може застосовуватися й для відкритих атмосферних систем, якими є циклони і антициклони [4, 5].

Використовуючи енергетичні характеристики для аналізу еволюції вихорів синоптичного масштабу, можна отримати результати, які дозволять суттєво розширити уявлення про динаміку вихорів. Розрахунок та аналіз характеристик енергетики

окремих синоптичних утворень є показовим засобом комплексного дослідження їх еволюції. В даній статті енергетичний підхід використовується для дослідження еволюції антициклону. Треба зауважити, що енергетика антициклонів, на відміну від циклонів, раніше досліджувалася дуже рідко [6, 7]. Таким чином, метою даної наукової роботи є дослідження енергетичних характеристик атмосфери у випадку антициклону 20-24 липня 2003 року. Цей антициклон був цікавий тим, що у ньому над територією України спостерігалися чисельні конвективні явища: грози, град, зливи, шквали.

Основний матеріал і методи дослідження. Як вихідні у цьому дослідженні використовувалися дані про метеорологічні величини у вузлах регулярної широтно-довготної сітки на ізобаричних поверхнях від AT_{1000} до AT_{100} для області, яка в горизонтальній площині обмежена 50° і 80° півн.ш. та 20° і 65° сх.д.. Ці дані отримані з сервера NCEP-NCAR, їх горизонтальне розділення становить $2,5^\circ$ по широті та довготі. Через те, що вони використовуються для вивчення процесів синоптичного масштабу, то їх репрезентативність може вважатися цілком задовільною. Метеорологічні величини, які використовуються у дослідженнях, це зональна та меридіональна складові вектора швидкості вітру u і v , аналог вертикальної швидкості в ізобаричній системі координат τ та температури повітря T .

Розглянемо тут систему рівнянь для бюджетів кінетичної та доступної потенціальної енергії, яка не дуже відрізняється від оригінального формулювання Лоренца, але може застосовуватися для антициклону [4, 5].

Для подальшого чисельного інтегрування вмісту енергії, її перетворень та потоків використаємо об'єм атмосфери, обмежений меридіанами λ_1 і λ_2 , широтними колами φ_1 і φ_2 та ізобаричними поверхнями p_1 і p_2 , де $p_1 < p_2$. Тоді, середнє зональне значення змінної X визначається, як

$$[X]_\lambda = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X d\lambda. \quad (1)$$

Вихрова складова X є відхиленням цього параметра від його середнє зонального значення

$$(X)_\lambda = X - [X]_\lambda. \quad (2)$$

Середнє меридіональне значення визначається, як

$$[X]_\varphi = \frac{1}{\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} X \cos \varphi d\varphi. \quad (3)$$

Тоді, з використанням формул (1) і (3), середнє значення на ізобаричній поверхні змінної X буде визначатися, як

$$[X]_{\lambda\varphi} = \frac{\int_y \int_x X dx dy}{\int_y \int_x dx dy} = \frac{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X a^2 \cos \varphi d\lambda d\varphi}{\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} a^2 \cos \varphi d\lambda d\varphi} = \frac{1}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X \cos \varphi d\lambda d\varphi. \quad (4)$$

Очевидно, що це середнє значення на ізобаричній поверхні є еквівалентом послідовного осереднення за широтним колом та меридіаном. З використанням цієї середньої величини та припускаючи гідростатичну рівновагу, інтеграл по вертикалі на одиницю площі можна визначити, як

$$\frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} [X]_{\lambda\varphi} dp. \quad (5)$$

Вираз (5) використовується для розрахунку енергії та її перетворень. Величина, визначена членами вищезгаданих співвідношень,

$$([X]_{\lambda})_{\varphi} = [X]_{\lambda} - [X]_{\lambda\varphi} \quad (6)$$

не змінюється по широтному колу.

Середня на ізобаричній поверхні повна (горизонтальна та вертикальна) дивергенція потоку змінної X задається через

$$BX = \frac{c_1}{g} \int_{p_1}^{p_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (Xu)_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\varphi dp + \frac{c_2}{g} \int_{p_1}^{p_2} ([Xv \cos \varphi]_{\lambda})_{\varphi_1}^{\varphi_2} dp - \frac{1}{g} ([X\tau]_{\lambda})_{p_1}^{p_2}, \quad (7)$$

де $c_1 = -\frac{1}{a(\lambda_2 - \lambda_1)(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)}$;

$$c_2 = -\frac{1}{a(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)}.$$

Для того, щоб розділити ДПЕ на зональну та вихрову складові, застосуємо виведену Лоренцем наближену формулу [1]. Використовуючи вирази (2) і (6), відхилення температури можна записати у вигляді

$$(T - [T]_{\lambda\varphi})^2 = ([T]_{\lambda})_{\varphi}^2 + 2([T]_{\lambda})_{\varphi} (T)_{\lambda} + (T)_{\lambda}^2. \quad (8)$$

Інтегруючи по масі об'єму атмосфери, що розглядається, та маючи на увазі, що член, який містить тільки відхилення від середнього зонального значення $(T)_{\lambda}^2$ прямує до нуля при осередненні за плоскістю, зональна і вихрова ДПЕ задаються виразами:

$$P_Z = \int_{p_1}^{p_2} \frac{[([T]_{\lambda})_{\varphi}]_{\lambda\varphi}^2}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} dp, \quad (9)$$

$$P_E = \int_{p_1}^{p_2} \frac{[(T)_{\lambda}^2]_{\lambda\varphi}}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} dp, \quad (10)$$

де інтеграл стосується об'єму, який визначається горизонтальними розмірами розрахункової сітки (обмеженої меридіанами λ_1 і λ_2 та широтними колами φ_1 і φ_2) і певними ізобаричними поверхнями (p_1 і p_2 , $p_1 < p_2$) по вертикалі. Зональна ДПЕ відповідає зонально осередненому полю, а вихрова – кількості ДПЕ, що залишилася.

У виразах (9) і (10) для розрахунку ДПЕ та у подальших формулах для перетворень та переносу ДПЕ застосовується параметр статичної стійкості

$$[\sigma]_{\lambda\varphi} = \left[\frac{gT}{c_p} - \frac{pg}{R} \frac{\partial T}{\partial p} \right]_{\lambda\varphi}. \quad (11)$$

Цей вираз для статичної стійкості відповідає оригінальному формулюванню Лоренца і надає можливість прямого застосування полів метеорологічних величин для розрахунків.

Згідно з розділенням ДПЕ, кінетична енергія також розділяється на зональну та вихрову складові використанням (2), тобто

$$u^2 + v^2 = [u]_{\lambda\varphi}^2 + [v]_{\lambda\varphi}^2 + 2\{[u]_{\lambda}(u)_{\lambda} + [v]_{\lambda}(v)_{\lambda}\} + (u)_{\lambda}^2 + (v)_{\lambda}^2. \quad (12)$$

Інтегруючи по масі об'єму, зональну та вихрову кінетичну енергію можна виразити формулами:

$$K_Z = \int_{p_1}^{p_2} \frac{[[u]_{\lambda}^2 + [v]_{\lambda}^2]_{\lambda\varphi}}{2g} dp, \quad (13)$$

$$K_E = \int_{p_1}^{p_2} \frac{[(u)_{\lambda}^2 + (v)_{\lambda}^2]_{\lambda\varphi}}{2g} dp. \quad (14)$$

Зональна KE відповідає зонально осередненому рухові, а вихрова KE – кількості

кінетичної енергії, що залишилася. При цьому, як було пояснено Лоренцем, зональна КЕ, що виражена формулою (13), не належить ні до зонального руху, ні до зонально осередненої КЕ.

Математичні вирази для перетворень одного виду енергії в інший записуються у вигляді [4, 5]:

$$\langle P_Z - K_Z \rangle = - \int_{p_1}^{p_2} [([T]_\lambda)_\varphi ([\tau]_\lambda)_\varphi]_{\lambda\varphi} \frac{R}{gp} dp, \quad (15)$$

$$\langle P_E - K_E \rangle = - \int_{p_1}^{p_2} [(T)_\lambda (\tau)_\lambda]_{\lambda\varphi} \frac{R}{gp} dp. \quad (16)$$

$$\langle P_Z - P_E \rangle = - \int_{p_1}^{p_2} \left[\left[\frac{(T)_\lambda (v)_\lambda}{a[\sigma]_{\lambda\varphi}} \frac{\partial([T]_\lambda)_\varphi}{\partial\varphi} \right]_{\lambda\varphi} + \left[\frac{(T)_\lambda (\tau)_\lambda}{p^{R/c_p}} \frac{\partial}{\partial p} \left\{ \frac{([T]_\lambda)_\varphi p^{R/c_p}}{[\sigma]_{\lambda\varphi}} \right\} \right]_{\lambda\varphi} \right] dp. \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \langle K_Z - K_E \rangle = & - \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} \left\{ \left[(u)_\lambda (v)_\lambda \frac{\cos\varphi}{a} \frac{\partial}{\partial\varphi} \left(\frac{[u]_\lambda}{\cos\varphi} \right) \right]_{\lambda\varphi} + \left[\frac{(v)_\lambda^2}{a} \frac{\partial[v]_\lambda}{\partial\varphi} \right]_{\lambda\varphi} \right\} dp - \\ & - \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} \left\{ \left[\frac{\tan\varphi}{a} (u)_\lambda^2 [v]_\lambda \right]_{\lambda\varphi} + \left[(u)_\lambda (\tau)_\lambda \frac{\partial[u]_\lambda}{\partial p} \right]_{\lambda\varphi} + \left[(v)_\lambda (\tau)_\lambda \frac{\partial[v]_\lambda}{\partial p} \right]_{\lambda\varphi} \right\} dp. \end{aligned} \quad (18)$$

Перенос повз межу різних видів енергії визначається інтегралом повної дивергенції потоку відповідної енергії (див. рівняння (7)). Отже, ці переноси через межу можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} BPZ = & c_1 \int_{p_1}^{p_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{1}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} (u \{ ([T]_\lambda)_\varphi^2 + 2([T]_\lambda)_\varphi (T)_\lambda \})_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\varphi dp + \\ & + c_2 \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} ([v \cos\varphi \{ ([T]_\lambda)_\varphi^2 + 2([T]_\lambda)_\varphi (T)_\lambda \}]_{\lambda_1})_{\varphi_1}^{\varphi_2} dp - \\ & - \frac{1}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} ([\tau \{ ([T]_\lambda)_\varphi^2 + 2([T]_\lambda)_\varphi (T)_\lambda \}]_{\lambda\varphi})_{p_1}^{p_2}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$BPE = c_1 \int_{p_1}^{p_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{1}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} (u (T)_\lambda^2)_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\varphi dp + c_2 \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} ([v \cos\varphi (T)_\lambda^2]_{\lambda_1})_{\varphi_1}^{\varphi_2} dp - \frac{1}{2[\sigma]_{\lambda\varphi}} ([\tau (T)_\lambda^2]_{\lambda\varphi})_{p_1}^{p_2}. \quad (20)$$

$$\begin{aligned} BKZ = & c_1 \int_{p_1}^{p_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{1}{2g} (u \{ [u]_{\lambda\varphi}^2 + [v]_{\lambda\varphi}^2 + 2\{ [u]_\lambda (u)_\lambda + [v]_\lambda (v)_\lambda \} \})_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\varphi dp + \\ & + c_2 \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{2g} ([v \cos\varphi \{ [u]_{\lambda\varphi}^2 + [v]_{\lambda\varphi}^2 + 2\{ [u]_\lambda (u)_\lambda + [v]_\lambda (v)_\lambda \} \}]_{\lambda_1})_{\varphi_1}^{\varphi_2} dp - \\ & - \frac{1}{2g} ([\tau \{ [u]_{\lambda\varphi}^2 + [v]_{\lambda\varphi}^2 + 2\{ [u]_\lambda (u)_\lambda + [v]_\lambda (v)_\lambda \} \}]_{\lambda\varphi})_{p_1}^{p_2}, \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} BKE = & c_1 \int_{p_1}^{p_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{1}{2g} (u \{ (u)_\lambda^2 + (v)_\lambda^2 \})_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\varphi dp + \\ & + c_2 \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{2g} ([v \cos\varphi \{ (u)_\lambda^2 + (v)_\lambda^2 \}]_{\lambda_1})_{\varphi_1}^{\varphi_2} dp - \frac{1}{2g} ([\tau \{ (u)_\lambda^2 + (v)_\lambda^2 \}]_{\lambda\varphi})_{p_1}^{p_2}. \end{aligned} \quad (22)$$

Отже ми маємо рівняння для запасів енергії (9), (10), (13), (14), їх перетворень

(15)-(18) та потоків повз бічні межі (19)-(22), за якими й здійснюватиметься подальший розрахунок. Докладний фізичний аналіз різних складових цих рівнянь наведено у [4, 5].

Розглянемо стисло синоптичну ситуацію, яка мала місце у досліджуваній період. На приземній карті за 00 СГЧ 20 липня 2003 р. спостерігається антициклон із центром над Архангельськом. Це баричне утворення має дві замкнуті ізобари 1020 і 1025 гПа, максимальний тиск у його центрі становить 1025,2 гПа. По південній, західній і північно-західній периферії антициклону проходить атмосферний фронт. На висотних картах абсолютної топографії антициклону відповідає гребінь, який розповсюджується з Атлантики. 21 та 22 липня 2003 р. антициклон змістився на південь і його центр розташовувався поблизу Москви. Антициклон має одну замкнуту ізобару 1020 гПа і максимальний тиск у центрі 1023,0 гПа. Південно-західна периферія антициклону знаходиться над територією північної та північно-східної України. На сході України в Донецькій області на ст. Дебальцеве 22 липня зафіксовано СГЯ – сильний дощ. 23 та 24 липня 2003 р. синоптична ситуація майже не змінювалася, а антициклон поступово руйнувався, внаслідок чого на кінець розглянутого періоду над Україною спостерігалось малоградієнтне баричне поле.

Результати дослідження. На рис. 1 зображено запаси зональної ДПЕ (P_Z),

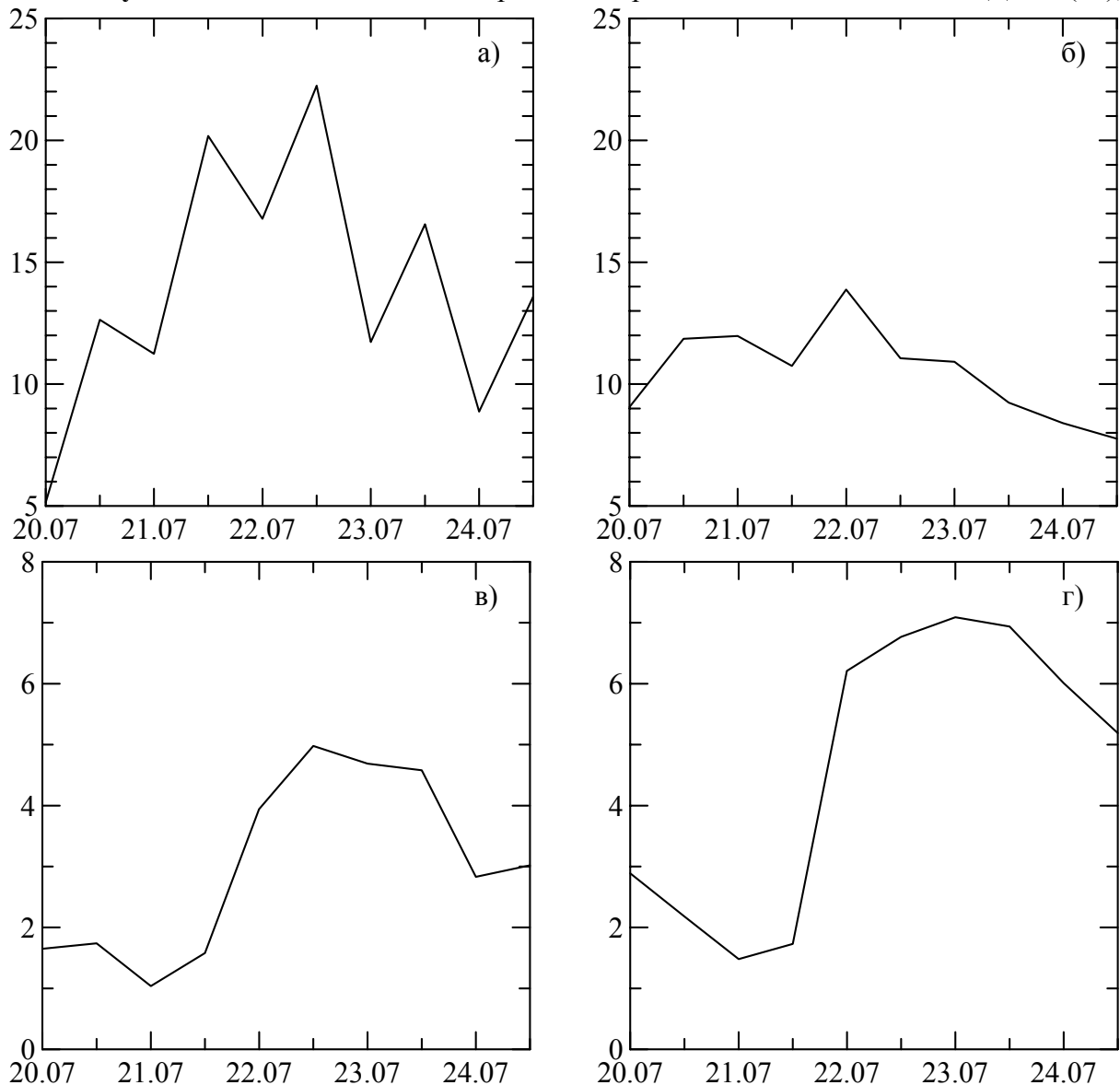


Рис. 1 – Запаси P_Z (а), K_Z (б), P_E (в) і K_E (г) $\times 10^5 \text{ Дж/м}^2$ протягом досліджуваного періоду.

вихрової ДПЕ (P_E), зональної КЕ (K_Z) та вихрової КЕ (K_E) для кожного строку з 00 СГЧ 20 липня по 12 СГЧ 24 липня 2003 року. Як можна бачити, зональна ДПЕ (рис. 1а) збільшується протягом перших стадій розвитку антициклону, що пояснюється адвекцією тепла з північного заходу. Значення P_Z змінилося від $5,15 \times 10^5$ Дж/м² 20 липня о 00 СГЧ до $22,24 \times 10^5$ Дж/м² 22 липня о 12 СГЧ. На стадії руйнування антициклону зональна ДПЕ зменшилася до значення $8,87 \times 10^5$ Дж/м². Зональна кінетична енергія K_Z (рис. 1б) збільшується з $9,06 \times 10^5$ Дж/м² на початку синоптичного процесу до $13,88 \times 10^5$ Дж/м² в стадії максимального розвитку баричного утворення 22 липня о 00 СГЧ. Далі K_Z зменшується і досягає свого мінімального значення $7,76 \times 10^5$ Дж/м² на останній стадії руйнування антициклону 24 липня о 12 СГЧ. Вихрова ДПЕ (рис. 1в) веде себе аналогічно зональній ДПЕ. На початку процесу P_E має значення $1,65 \times 10^5$ Дж/м², 22 липня о 12 СГЧ вона досягла свого максимального значення $4,98 \times 10^5$ Дж/м², що більше, ніж на стадії утворення антициклону у 3 рази. Вихрова КЕ (рис. 1г) змінюється наступним чином. На початку утворення антициклону 20 липня о 00 СГЧ K_E має значення $2,89 \times 10^5$ Дж/м², з розвитком баричного утворення вихрова КЕ зменшується до значення $1,48 \times 10^5$ Дж/м² 21 липня о 00 СГЧ. На стадії максимального розвитку K_E збільшується до $7,09 \times 10^5$ Дж/м² 23 липня о 00 СГЧ. Далі до кінця існування антициклону вихрова КЕ зменшується до значення $5,19 \times 10^5$ Дж/м², що є більшим майже у 2 рази, ніж на початку процесу.

Перетворення різних форм енергії в інші ($K_Z - K_E$), ($P_Z - P_E$), ($P_Z - K_Z$) і ($P_E - K_E$), інтегровані по усьому об'єму атмосфери, який займає антициклон, представлені на рис. 2. З аналізу рис. 2г випливає, що у початковій стадії розвитку антициклону зональна енергія K_Z живиться за рахунок вихрової K_E : значення ($K_Z - K_E$) зменшується від $5,37$ Вт/м² 20 липня о 00 СГЧ до $0,58$ Вт/м² 21 липня о 00 СГЧ. Потім цей процес стає протилежним і зональна КЕ перетворюється на вихрову. Максимальне значення ($K_Z - K_E$) спостерігається 22 липня о 00 СГЧ і складає $9,62$ Вт/м². У цей термін спостережень було відмічено стихійне гідрометеорологічне явище – сильний дощ. Після 22 липня значення ($K_Z - K_E$) починає зменшуватися і на стадії руйнування антициклону становить $0,25$ Вт/м². Такі зміни ($K_Z - K_E$) свідчать про те, що вихровий перенос кількості руху у напрямку підтримки кінетичної енергії збурення переважає в період максимального розвитку процесу, а також протягом всього синоптичного процесу.

Аналіз перетворень ($P_Z - P_E$), як видно з рис. 2в, свідчить про те, що запаси P_E збільшуються за рахунок P_Z і досягають максимуму $8,07$ Вт/м² в момент максимального розвитку антициклону. Потім значення ($P_Z - P_E$) зменшується і наприкінці процесу складають $1,70$ Вт/м². Ці дані свідчать про те, що на протязі всього процесу вихровий потік тепла був спрямований за температурним градієнтом, зменшуючи меридіональний перепад температури.

Перетворення між зональними формами енергії ($P_Z - K_Z$) в області антициклону має наступний часовий розподіл (рис. 2а). На початку утворення антициклону відбувається генерація P_Z за рахунок K_Z , далі до періоду максимального розвитку баричного утворення K_Z генерується за рахунок P_Z і в другій половині процесу перетворення ($P_Z - K_Z$) змінюють знак на протилежний.

Нарешті, перетворення між вихровими формами енергії ($P_E - K_E$) представлені на рис. 2б. На початку еволюції антициклону ($P_E - K_E$) має від'ємне значення $-0,09$ Вт/м². Далі перетворення між вихровими формами енергії збільшуються і стають додатними, що говорить про барокліність процесу.

Далі було розраховано інтегральні переноси енергії BPZ , BPE , BKZ , BKE протягом еволюції антициклону. Додатні значення цих величин вказують на переноси енергії від оточення антициклону у середину досліджуваної області, а від'ємні – навпаки.

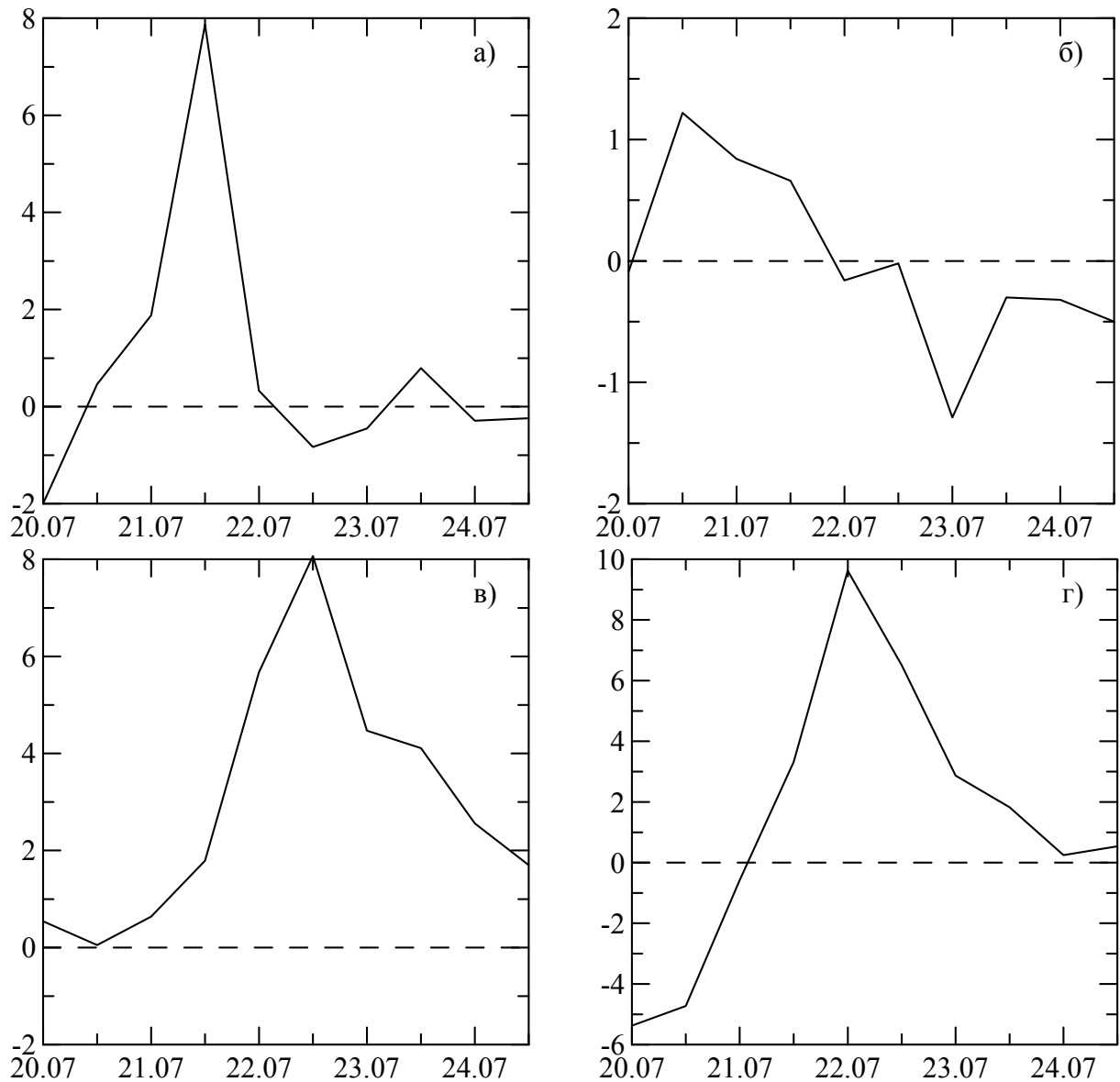


Рис. 2 – Перетворення $(P_Z - K_Z)$ (а), $(P_E - K_E)$ (б), $(P_Z - P_E)$ (в) і $(K_Z - K_E)$ (г) Вт/м^2 протягом досліджуваного періоду.

У момент появи антициклону існує приплив P_Z (рис. 3а) до розрахункової області, який дорівнює $2,02 \text{ Вт/м}^2$ 20 липня о 00 СГЧ. Після цього спостерігається інтенсивний відтік енергії до оточення антициклону. Максимальне значення відтоку складає $-11,23 \text{ Вт/м}^2$ 21 липня о 12 СГЧ. Цей процес відбувається до 23 липня до 12 СГЧ. Приток енергії в антициклон від оточуючої області дорівнює $1,26 \text{ Вт/м}^2$. Далі до кінця процесу спостерігається відтік енергії до оточення антициклону. Якщо розглядати усі строки разом, то відтік P_Z від антициклону здійснюється зі швидкістю $3,41 \text{ Вт/м}^2$.

Напрямок переносу вихрової ДПЕ майже цілком відрізняється від зонального переносу ДПЕ (рис. 3б). Протягом розвитку й руйнування антициклону P_E надходить до досліджуваної області. Максимальне значення притоку P_E складає $2,21 \text{ Вт/м}^2$ 22 липня о 12 СГЧ. Антициклон забирає енергію у оточуючого середовища із середньою швидкістю $0,96 \text{ Вт/м}^2$.

Приплив зональної K_E (рис. 3в) відзначається на протязі майже всього синоптичного процесу. Віддає антициклон енергію $0,33 \text{ Вт/м}^2$ у строк 12 СГЧ 20 липня,

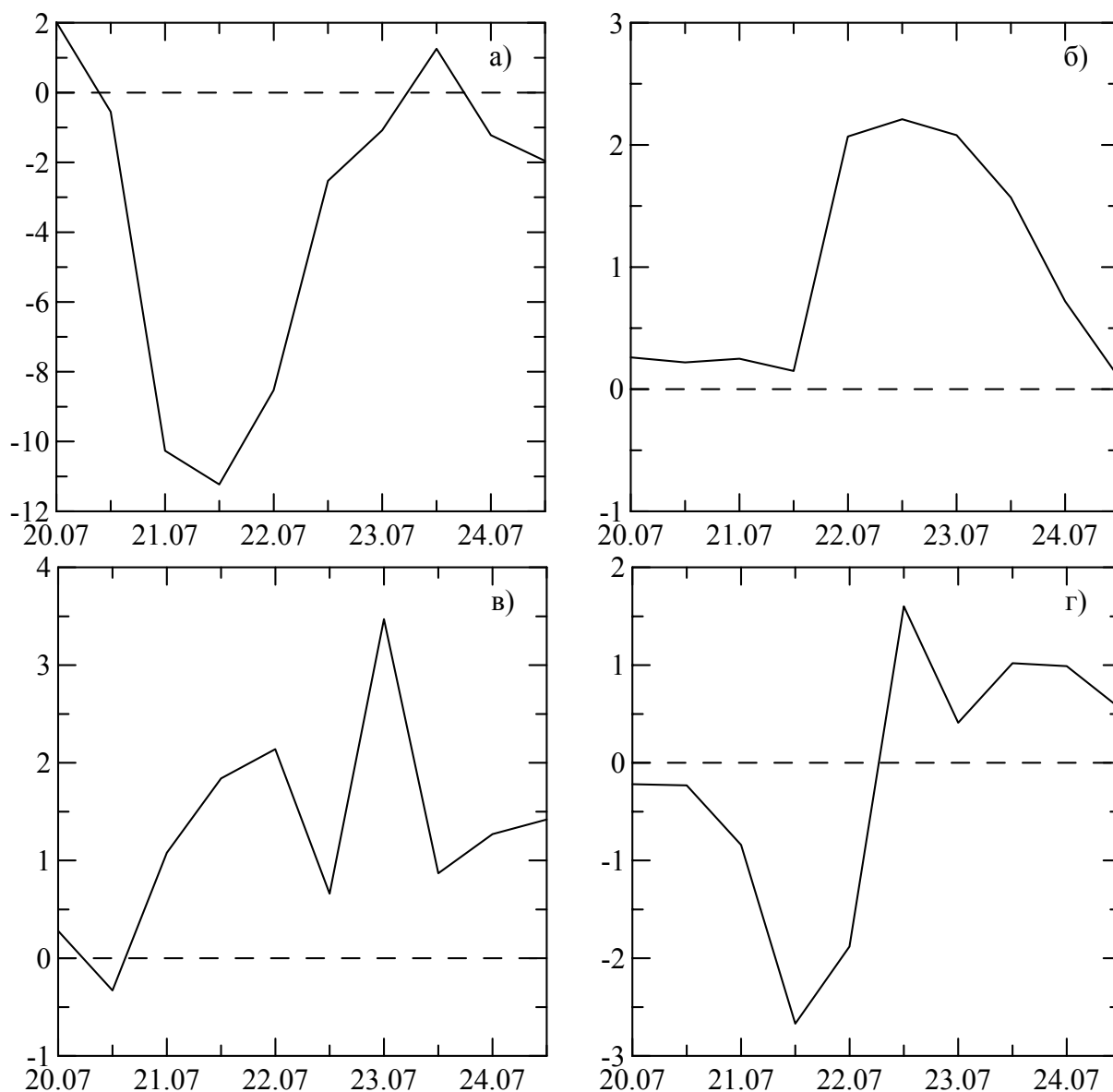


Рис. 3 – Потоки BPZ (а), BPE (б), BKZ (в) і BKE (г) W/m^2 протягом досліджуваного періоду.

тобто на початку утворення антициклону. Максимальне значення припливу K_Z $3,47 W/m^2$ спостерігається 23 липня 2003 року о 00 СГЧ. В цілому, антициклон набуває зональну KE від оточення зі середньою швидкістю $1,27 W/m^2$.

Швидкість переносу вихрової KE (рис. 3г) є приблизно такою ж, як і зональної KE . Але в першу половину досліджуваного періоду антициклон віддає енергію оточуючому середовищу. Максимальне значення K_E складає $2,67 W/m^2$ 21 липня о 12 СГЧ. А в другій половині періоду імпортує енергію від оточення з максимальним значенням $1,60 W/m^2$ 22 липня 2003 року о 12 СГЧ. Переноси енергії відбуваються із середньою швидкістю $0,13 W/m^2$.

На основі розрахунків енергетичних характеристик було побудовано схему перетворення енергій (рис. 4). Цикл енергії подано для 22 липня 2003 року для 00 СГЧ, коли на сході України зафіксовано стихійне гідрометеорологічне явище – сильний дощ. З рис. 4 видно, що існує перетворення зональної кінетичної енергії K_Z від зональної доступної потенціальної енергії P_Z . За рахунок цього припливу підживлюється

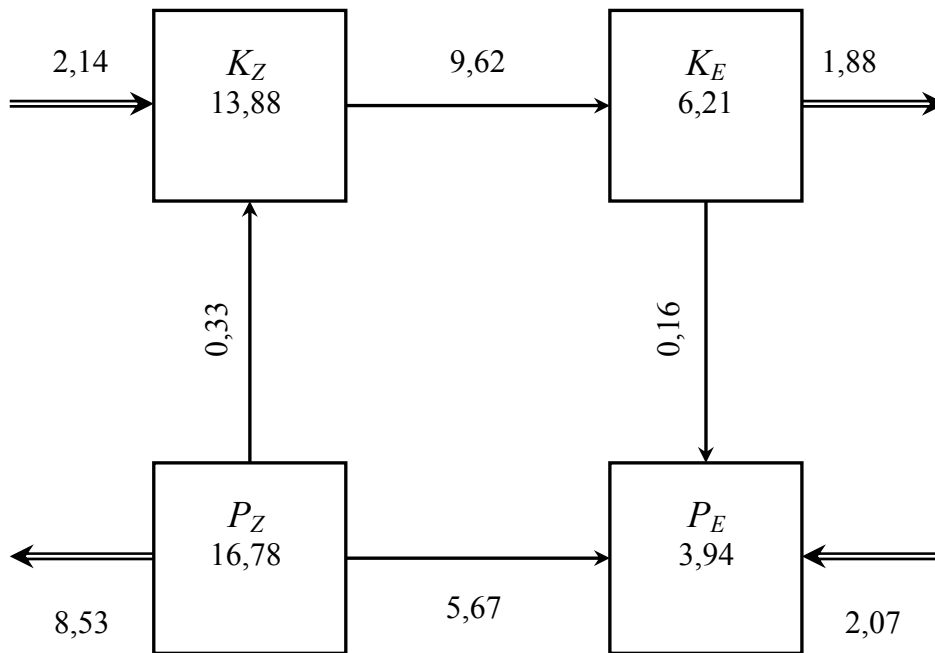


Рис. 4 – Перетворення та потоки енергії в антициклоні за 22 липня 2003 року, 00 СГЧ.

кінетична вихрова енергія K_E . В свою чергу, K_E витрачається на підтримку вихрової ДПЕ P_E . На збільшення вихрової ДПЕ також витрачається і зональна ДПЕ P_Z , а інша частка P_Z підживлює зональну кінетичну енергію. На збільшення P_E також впливає приплив вихрової ДПЕ з оточуючого середовища до антициклону. Треба зазначити, що існує і відтік із області дослідження середньозональної ДПЕ P_Z і кінетичної вихрової енергії K_E . У цілому ж можна бачити, що у стадії максимального розвитку антициклону зменшуються зональні види енергії і збільшуються вихрові.

Висновки. В даній науковій роботі проводилося дослідження енергетичних характеристик антициклону. В результаті досліджень можна зробити наступні висновки.

Запаси зональної ДПЕ (P_Z) і K_E (K_Z) збільшуються з початку виникнення синоптичного утворення і досягають максимальних значень в період максимального розвитку антициклону. По мірі руйнування баричного утворення запаси зональної ДПЕ (P_Z) і K_E (K_Z) зменшуються. Запаси вихрової ДПЕ (P_E) і K_E (K_E) максимальні значення мають в період стадії максимального розвитку баричного утворення. Збільшення вихрової енергії P_E і K_E свідчить про перебудову термічного поля над районом дослідження. Зональна орієнтація поля температури змінюється на меридіональну, що збільшує меридіональний контраст температури. А це, в свою чергу, приводить до посилення атмосферного фронту, який є причиною стихійного гідрометеорологічного явища – сильний дощ, яке спостерігалось 22 липня 2003 року на сході України, який знаходився під впливом південної периферії антициклону. Максимальні перетворення зональних потоків у вихрові відбувається на стадії максимального розвитку антициклону.

Проведений аналіз підтвердив висловлене вище зауваження про доцільність використання енергетичних характеристик атмосфери при аналізі еволюції баричних утворень, але для того, щоб зробити більш обґрунтовані висновки про певний зв'язок між еволюцією антициклонів та змінами енергетичних характеристик, мають бути здійснені чисельні розрахунки за наведеною схемою для різних антициклонів помірних широт.

Список літератури

1. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 259 с.
2. Хохлов В.Н. Энергетика общей циркуляции атмосферы. – Одесса: Изд-во "ТЭС", 2004. – 134 с.
3. Lorenz E.N. Available potential energy and the maintenance of the general circulation // *Tellus*, 1955. – Vol. 7. – P. 157-167.
4. Michaelides S.C., Prezerakos N.G., Flocas Y.A. Quasi-Lagrangian energetics of an intense Mediterranean cyclone // *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 1999. – Vol. 125. – P. 139-168.
5. Хохлов В.М. Энергетика атмосферы: Конспект лекцій. – Одеса: Екологія, 2008. – 62 с.
6. Хохлов В.Н. Энергетический бюджет антициклонов в процессе их эволюции // *Метеорология, климатология и гидрология*, 1999. – Вып. 38. – С. 47-54.
7. Семенова И.Г. Енергетичні процеси в атмосфері протягом природно-синоптичних періодів // *Метеорология, климатология и гидрология*, 2002. – Вып. 46. – С. 54-59.

Энергетические характеристики антициклона. Недострелова Л.В., Хохлов В.Н.

Энергетические характеристики антициклона, в котором наблюдались интенсивные конвективные явления, исследуются при помощи Эйлераевой схемы. Показано, что запасы разных видов энергии и превращения одного вида в другой увеличиваются к стадии максимального развития барического образования. На этой стадии запасы вихревых энергий увеличиваются, а средних – уменьшаются.

Ключевые слова: энергетика атмосферы, цикл энергии, антициклоны.

Energy behaviour of anticyclone. Nedostrelova L.V., Khokhlov V.N.

Energy behaviour of anticyclone associated with intense convective phenomena is studied by using Euler formulation. It is shown that various energy contents and conversions of one energy to another increase toward the maximal development stage of pressure system. In this stage, the eddy energy contents rise and zonal mean ones fall.

Keywords: energy behaviour, energy cycle, anticyclones.