

УДК 551.515.7

Л.В. Недострелова, ст. викл.

Одеський державний екологічний університет

ВЕРТИКАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ АТМОСФЕРИ В ПЕРІОД БЛОКУВАННЯ

На прикладі блокуючого антициклону розглянуто вертикальні профілі енергетичних характеристик атмосфери. Розраховано та проаналізовано запаси різних видів енергії, їх перетворення та перенесення.

Ключові слова: енергетика атмосфери, блокуючий процес, вертикальний розподіл.

Вступ. Як відомо, основним джерелом атмосферної енергії є приплив тепла за рахунок сонячної радіації. Результатом цього є генерування внутрішньої енергії за рахунок нагрівання атмосфери і підстильної поверхні океану та суші. 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. Зазначений приплив тепла від Сонця надходить на поверхню Землі нерівномірно, в атмосфері спостерігаються великі меридіональні температурні контрасти, які обумовлюють переважно зональну циркуляцію, що має великі запаси кінетичної енергії, частина якої постійно дисипує за рахунок процесів тертя. Як частину внутрішньої енергії можна розглядати приховану енергію фазових перетворень вологи, яка залежить від вологовмісту в атмосфері. Коли реалізація прихованої теплоти пароутворення є особливою формою припливу тепла, обумовленого навколишнім середовищем, а не внутрішнім квазіадіабатичним процесом, виявиться, що атмосфера здобуває внутрішню енергію при конденсації води у межах самої атмосфери. Тоді можна розглядати енергетику однієї лише атмосфери. При цьому, за виключенням поверхневого тертя, результуючий вплив навколишнього середовища на атмосферу можна трактувати як збільшення чи зменшення еквівалентної кількості теплової енергії за рахунок нагрівання чи охолодження [1, 2].

Вертикальні профілі енергетичних характеристик дають змогу визначити як поводить ся той чи інший вид енергії в атмосфері. З вертикального розрізу атмосфери можна бачити як підтримується та чи інша енергетична характеристика і на що витрачаються її запаси. В процесі вивчення даного питання було з'ясовано вертикальний енергетичний ресурс всієї атмосфери над районом дослідження в указаний період.

Матеріали і методи дослідження. Як вихідні 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. 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 .

Для опису синоптичного процесу використовувалися карти $AT-500$ гПа і приземні карти за 00 годин СГЧ. Об'єктом дослідження є блокуючий антициклон, який спостерігався з 9 липня по 5 серпня 2003 року. Цей процес цікавий тим, що під час його існування над територією України спостерігалися різні конвективні явища, такі як зливи, шквали, грози.

Результати дослідження. Досліджувану блокуючу ситуацію було поділено на два процеси. Перший – взаємодія блокуючого антициклону з циклоном, період існування – з 9.07 по 13.07.2003 р.; другий спостерігається з 14.07 по 5.08.2003 р. – це блокуючий антициклон та переміщення по його північній та південній периферіях циклонів та фронтів. Цим двом процесам відповідає два максимуми зональної доступної потенціальної енергії P_Z в нижній тропосфері (рис. 1).

На початковій стадії розвитку антициклону 9 липня 2003 року у нижній тропосфері P_Z мала максимальне значення $2,97 \cdot 10^5$ Дж/м². У цей час на півночі досліджуваного району спостерігається термічна улоговина, а на півдні – термічний гребінь. Отже, над даною територією мав місце максимальний термічний градієнт у напрямку з півночі на південь. У середній та верхній тропосфері значення зональної ДПЕ були меншими майже втричі. У нижній стратосфері на протязі першого досліджуваного періоду спостерігається ще один максимум $P_Z - 1,25 \cdot 10^5$ Дж/м² 13 липня 2003 року.

Друге збільшення зональної доступної потенціальної енергії у нижній тропосфері відбувається з 15 липня і досягає максимального значення 19 липня 2003 року ($2,00 \cdot 10^5$ Дж/м²), коли над розглянутим районом мав місце максимальний термічний градієнт у напрямку з півночі на південь (рис. 2). У нижній стратосфері на протязі другого періоду також спостерігається максимум P_Z , але він менший, ніж у першому випадку і дорівнює $0,75 \cdot 10^5$ Дж/м² 1 серпня 2003 року. Взагалі, в період з 15 липня по 5 серпня 2003 року в нижній тропосфері відбувається неодноразове збільшення зональної ДПЕ, що відповідає збільшенню дисперсії температури повітря з півночі на південь у досліджуваному районі.

З вертикального розподілу вихрової ДПЕ (P_E) видно, що на протязі всього періоду дослідження у шарі 400-300 гПа має місце її максимум. Запаси вихрової потенціальної енергії в усіх шарах менші за запаси зональної енергії. Винятком є тільки шар 400-300 гПа, де 24 липня значення P_E більше ніж значення P_Z утричі (рис. 3). В нижній тропосфері відбуваються часті збільшення вихрової ДПЕ, що відповідає наявності теплового сектора у циклонах, які рухаються по південній периферії антициклону, тим самим

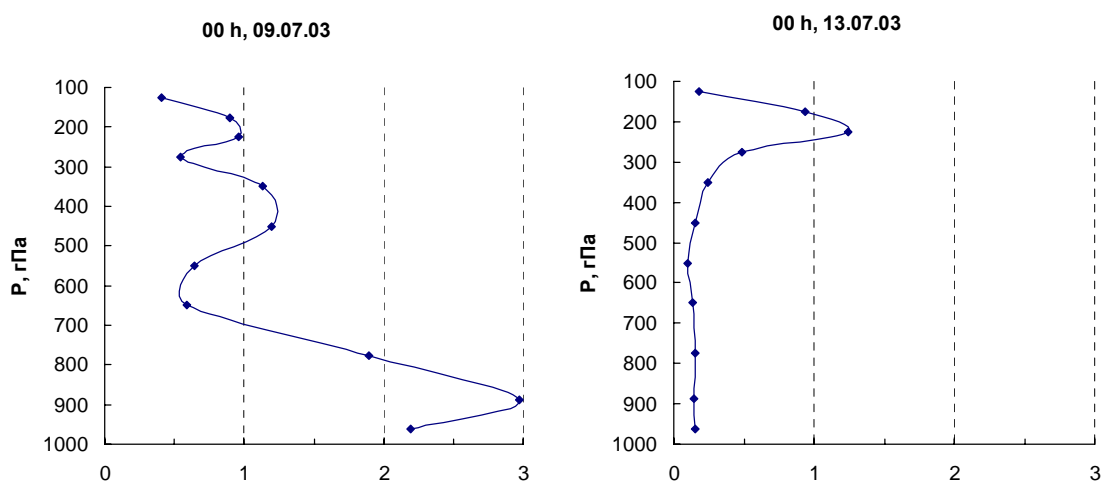


Рис. 1 – Вертикальний розподіл зональної доступної потенціальної енергії 9 і 13 липня 2003 року.

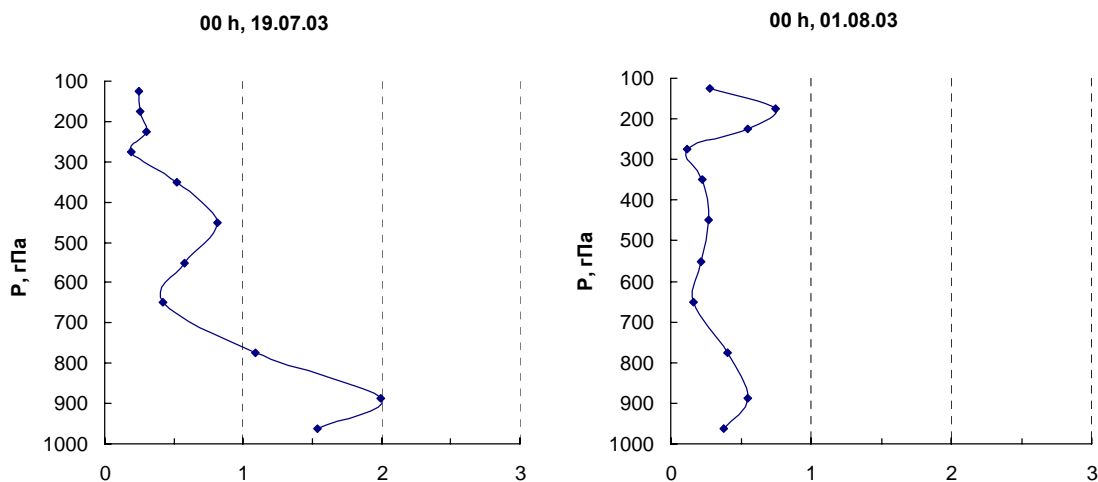


Рис. 2 – Вертикальний розподіл зональної доступної потенціальної енергії 19 липня і 1 серпня 2003 року.

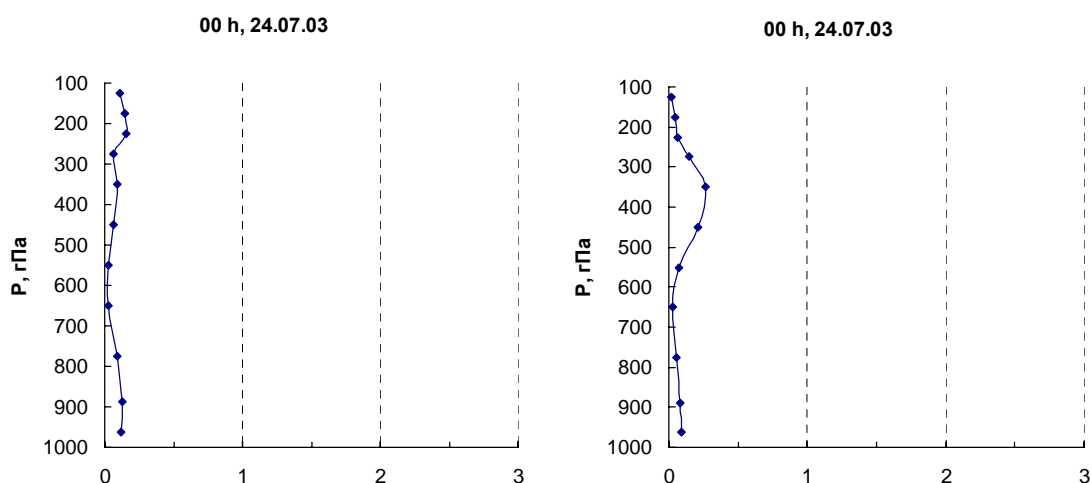


Рис. 3 – Вертикальний розподіл зональної доступної потенціальної енергії (зліва) і вихрової потенціальної енергії (справа) 24 липня 2003 року.

спричиняючи контрасти температур між західною та східною межами області дослідження.

Запаси зональної кінетичної енергії (K_Z) мають найбільші значення у порівнянні з іншими видами енергії. Максимум K_Z у верхній тропосфері та нижній стратосфері простежується у весь період дослідження, найбільші значення 10 липня ($3,43 \cdot 10^5$ Дж/м² у шарі 250-200 гПа) і 31 липня ($5,44 \cdot 10^5$ Дж/м² у шарі 300-250 гПа). Це свідчить про те, що головним чинником підтримки середнього зонального потоку є струминна течія верхньої тропосфери (рис. 4). Наслідком збільшення K_Z є зменшення амплітуди хвилі у верхній тропосфері над районом дослідження в указаний період. Збільшення K_Z у середній та верхній тропосфері також відбувається при перебудові висотного баричного поля. З

вертикального розподілу зональної кінетичної енергії видно, що 10-11 липня в нижній тропосфері спостерігається ще один максимум K_Z , що відповідає збільшенню тиску й посиленню блокуючого антициклона у поверхні землі. Необхідно зазначити, що 24 та 29 липня також має місце невелике збільшення зональної кінетичної енергії у нижній тропосфері. З аналізу приземних карт витікає, що в ці дати відбувається посилення антициклонального баричного поля і блокуючий процес набуває максимальної стадії свого розвитку.

Значення вихрової кінетичної енергії (K_E) значно менші за запаси K_Z , але збільшення вихрової кінетичної енергії відбувається також у верхній тропосфері та нижній стратосфері, де спостерігається струминна течія. Максимальні значення K_E (рис. 5) мають місце 12 липня ($1,04 \cdot 10^5$ Дж/м²) та 3 серпня ($1,14 \cdot 10^5$ Дж/м²). Збільшення вихрової K_E відбувається також під час зміни баричного висотного поля. В нижній тропосфері іноді відбувається збільшення K_E . Це спостерігається на стадії заповнення циклонів у поверхні землі.

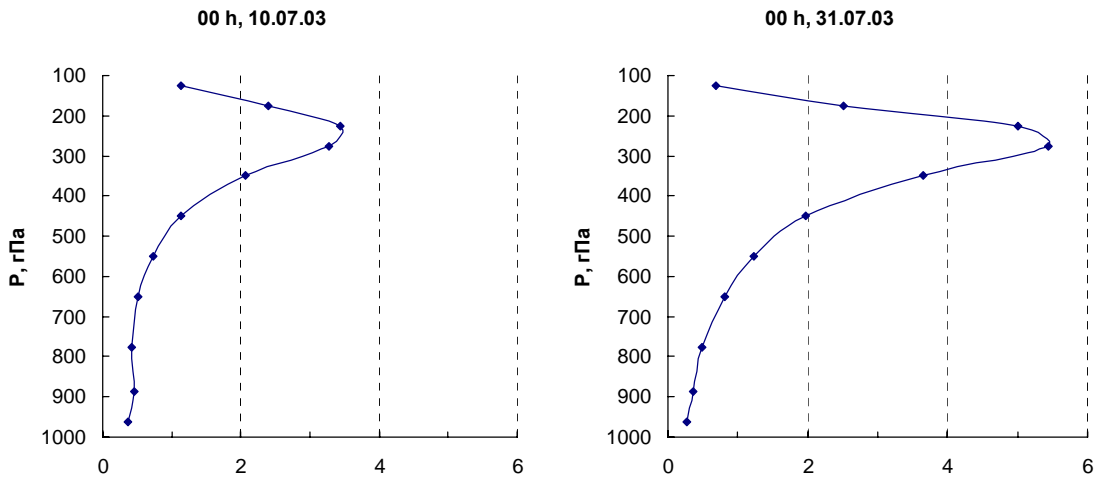


Рис. 4 – Вертикальний розподіл зональної кінетичної енергії 10 і 31 липня 2003 року.

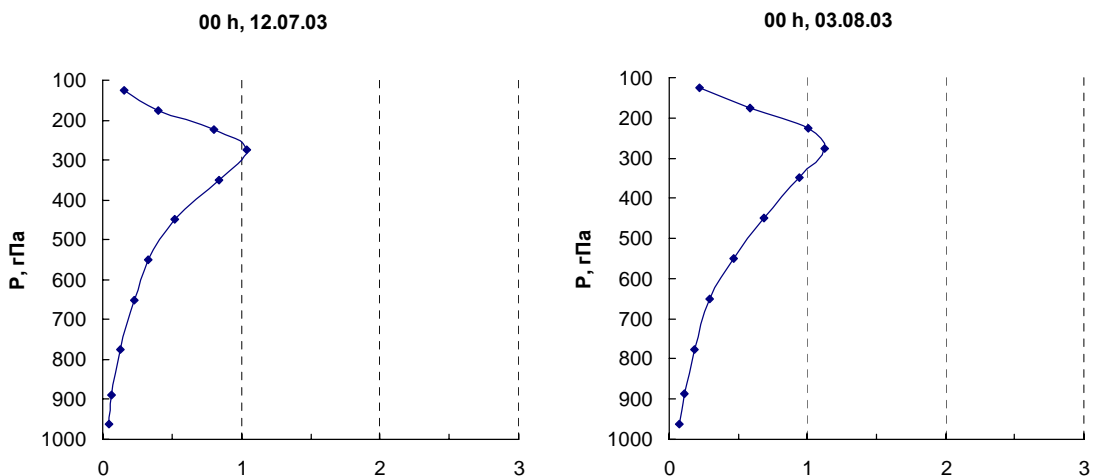


Рис. 5 – Вертикальний розподіл вихрової кінетичної енергії 12 липня і 3 серпня 2003 року.

Перетворення K_Z в K_E ($K_Z - K_E$) змінюється у верхній тропосфері та нижній стратосфері, в нижній тропосфері – майже незмінні і мають дуже малі значення. Збільшення додатних значень цього переходу відбувається при утворенні висотного антициклона та посиленні блокуючої ситуації у поверхні землі, а також при великих зональних градієнтах геопотенціалу на АТ - 500 гПа (рис. 6). Додатні значення перетворення K_Z в K_E зменшуються при зниженні тиску в антициклоні у поверхні землі. Від’ємні значення переходу ($K_Z - K_E$) спостерігаються при перебудові висотного баричного поля на АТ - 500 гПа, при появі в зоні дослідження циклону у поверхні землі, а також – на максимальній стадії розвитку приземного і висотного антициклона, коли має місце квазівертикальна вісь цього баричного утворення (рис. 6). Від’ємні значення даного перетворення відповідають великим меридіональним градієнтам геопотенціалу на АТ - 500 гПа.

Перетворення ($P_Z - P_E$) мало змінюється. В першому процесі відбувається перехід P_E в P_Z у всьому шарі тропосфери. В другому випадку додатні значення ($P_Z - P_E$) відповідають великим зональним градієнтам температури у поверхні землі в досліджуваному районі, а від’ємні – великим меридіональним градієнтам температури.

На початковій стадії розвитку антициклона перетворення ($P_Z - K_Z$) мають додатні значення у всьому вертикальному розрізі тропосфери і збільшуються до максимальної стадії еволюції баричного утворення (рис. 7). Коли тиск в антициклоні зменшується перехід P_Z в K_Z має від’ємні значення і тільки в нижній стратосфері зберігаються додатні значення цього перетворення (рис. 7). Після перебудови термобаричного поля на АТ - 500 гПа перехід ($P_Z - K_Z$) має знову додатні значення, що сприяє збільшенню кінетичної енергії у всій тропосфері. Далі до стадії максимального розвитку антициклона перетворення ($P_Z - K_Z$) має два піки додатних значень (нижня та верхня тропосфера) і один від’ємний – у середній тропосфері. Після стадії максимального розвитку еволюції антициклона майже у всій тропосфері перехід P_Z в K_Z – від’ємний. При виникненні у поверхні землі циклонів перетворення ($P_Z - K_Z$) у нижній і середній тропосфері мають від’ємні значення.

Перетворення ($P_E - K_E$) має малі значення у всій тропосфері і тільки на стадії утворення та максимального розвитку антициклона K_E збільшується за рахунок P_E (рис.8).

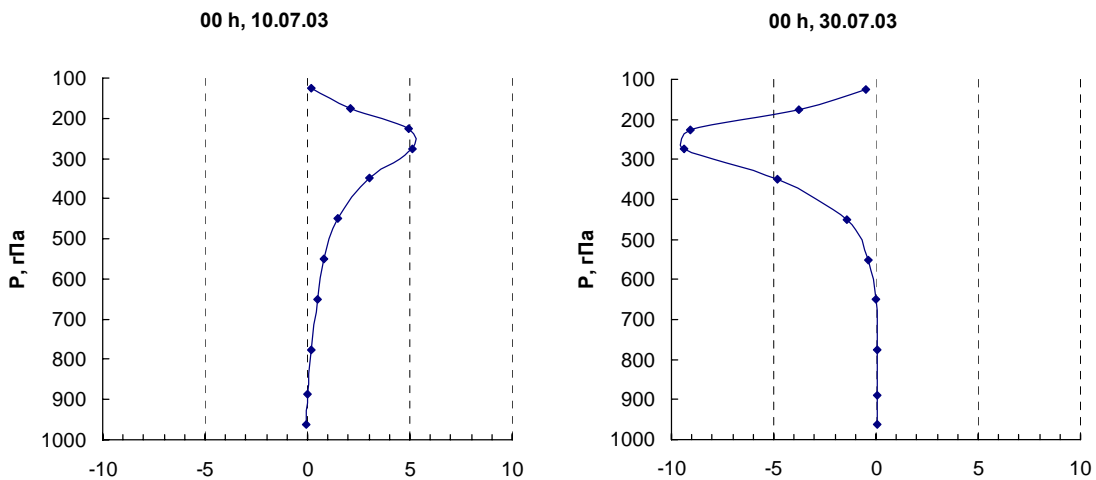
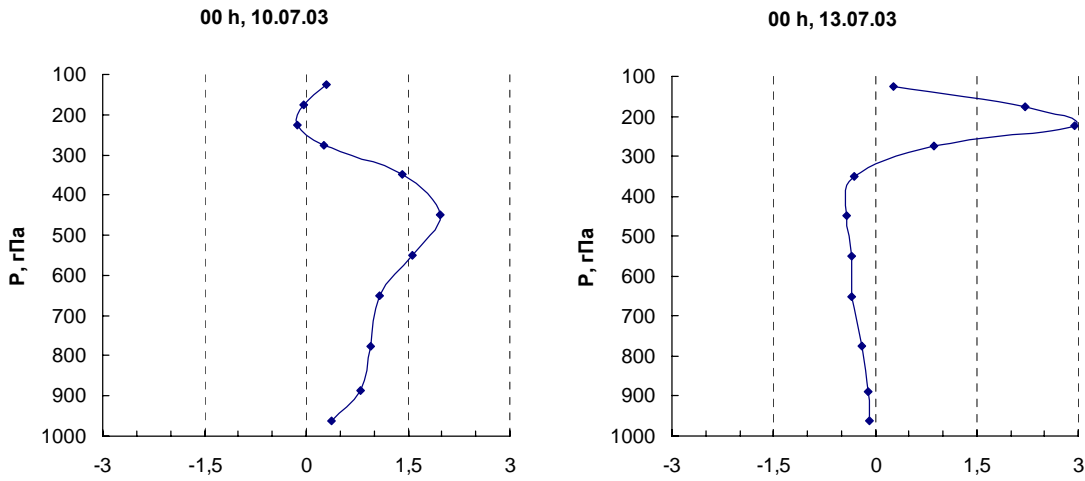
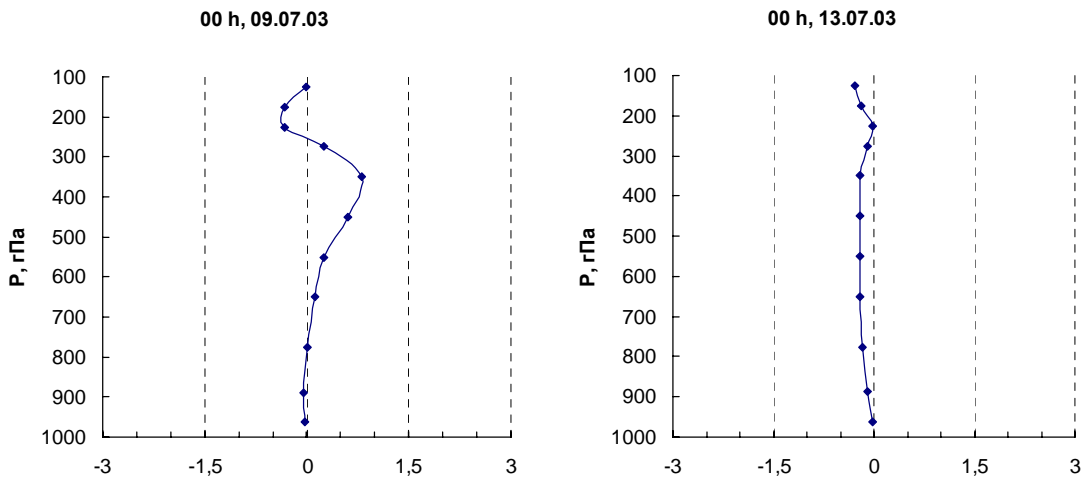


Рис. 6 – Вертикальний розподіл перетворення ($K_Z - K_E$) 10 липня і 30 липня 2003 року.

Рис. 7 – Вертикальний розподіл перетворення ($P_Z - K_Z$) 10 липня і 13 липня 2003 року.Рис. 8 – Вертикальний розподіл перетворення ($P_E - K_E$) 9 липня і 13 липня 2003 року.

При перебудові висотного баричного поля цей процес має зворотний знак (рис.8).

Перенесення зональної ДПЕ (BPZ) у всій товщі атмосфери в період блокуючої ситуації має від'ємні значення, що говорить про відтік зональної потенціальної енергії до оточення антициклону (рис. 9). Винятком є тільки ті періоди, коли у поверхні землі спостерігаються циклони – в цей період BPZ має додатні значення в нижній тропосфері, що відповідає притоку енергії в область антициклону (рис. 9).

Інтегральне перенесення вихрової ДПЕ (BPE) має від'ємні значення у середній і верхній тропосфері на початковій стадії еволюції антициклону, які перевищують значення BPZ (рис. 10). Від'ємні значення вихрової потенціальної енергії відповідають відтоку BPE з області антициклону. Далі значення BPE є малими і ними можна знехтувати.

Як додатні, так і від'ємні значення перенесення зональної кінетичної енергії (BKZ) спостерігаються у шарі 350-250 гПа, що відповідає тропосферній струминній течії. На початковій стадії та стадії максимального розвитку антициклону має місце відтік зональної

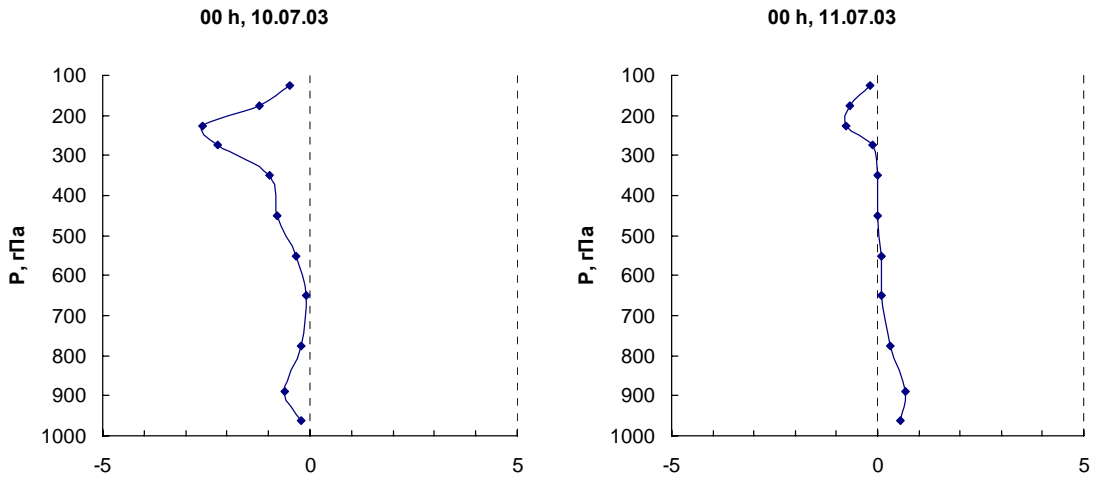


Рис. 9 – Вертикальний розподіл інтегрального перенесення *BPZ* 10 липня і 11 липня 2003 року.

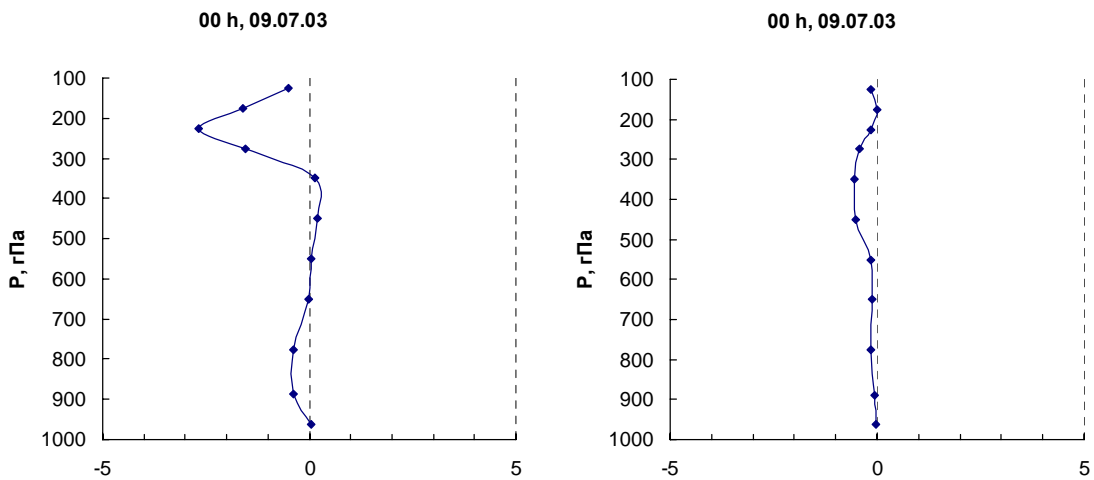
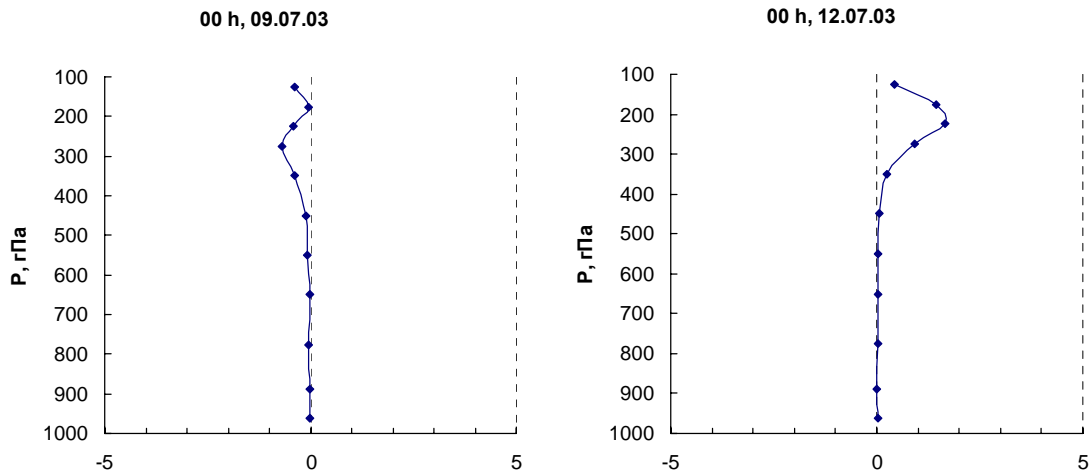
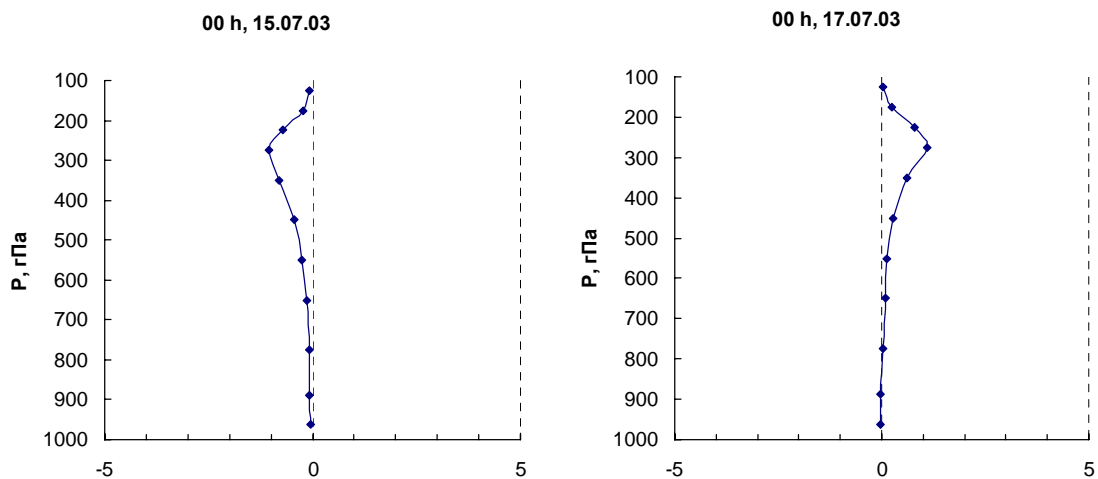


Рис. 10 – Вертикальний розподіл *BPZ* (зліва) і *BPE* (справа) 9 липня 2003 року.

кінетичної енергії з області блокуючого процесу, про що говорять від'ємні значення *BKZ* (рис. 11). На стадії руйнування антициклону та при появі циклонів у поверхні землі *BKZ* має додатні значення у нижній стратосфері (рис. 11). Коли відбувається перебудова висотного баричного поля на АТ - 500 гПа, то у верхній тропосфері та нижній стратосфері спостерігається два піки *BKZ* – від'ємний (шар 350-250 гПа) і додатний (250-150 гПа). Взагалі, значення *BKZ* менші, ніж значення *BPZ*.

При посиленні антициклону збільшуються від'ємні значення перенесення вихрової кінетичної енергії (*BKE*) у шарі 350-250 гПа – має місце відтік вихрової кінетичної енергії з області блокуючої ситуації (рис. 12). При появі циклону біля землі *BKE* збільшується і має додатні значення у верхній тропосфері та нижній стратосфері, що відповідає притоку даного виду енергії до антициклону (рис. 12).

Рис. 11 – Вертикальний розподіл VKZ 9 липня і 12 липня 2003 року.Рис. 12 – Вертикальний розподіл VKE 15 липня і 17 липня 2003 року.

Висновки. Аналіз вертикальних профілів енергетичних характеристик атмосфери під час формування блокуючого процесу дозволяє зробити такі висновки. Збільшення зональної доступної потенціальної енергії P_Z відбувається в нижній тропосфері в період адвекції тепла і адвекції холоду в область дослідження, що сприяє формуванню максимальних термічних градієнтів в шарі атмосфери над розглянутим районом. Запаси вихрової доступної потенціальної енергії P_E менші, ніж запаси зональної ДПЕ у всьому розглянутому шарі атмосфери. Значення зональної кінетичної енергії K_Z більші, ніж інші види енергії. Максимум K_Z має місце у верхній тропосфері та нижній стратосфері у весь період дослідження. Це свідчить про те, що головним чинником підтримки середнього зонального потоку є струминна течія. Величина вихрової кінетичної енергії K_E менша величини зональної кінетичної енергії K_Z . Збільшення K_E в верхній тропосфері та нижній стратосфері відбувається під впливом струминної течії. Перетворення ($K_Z - K_E$) має як

додатні, так і від'ємні значення і змінюється у верхній та нижній стратосфері. Перетворення ($P_Z - P_E$) мало змінюється. Перетворення ($P_Z - K_Z$) мають додатні значення і збільшуються в нижній стратосфері, де має місце струминна течія. У перетворенні ($P_E - K_E$) переважає вихрова кінетична енергія K_E майже у всій тропосфері і у всіх областях. Інтегральний перенос BPZ в області блокуючої ситуації майже у всій атмосфері від'ємний, що свідчить про відтік енергії з області блокування. Інтегральний перенос BPE має від'ємні значення практично у весь період дослідження в області антициклону у всій атмосфері. Значення інтегрального переносу кінетичної зональної енергії BKZ менші, ніж значення BPZ . Інтегральний перенос BKZ має від'ємні значення майже у всій атмосфері в області блокування. Значення інтегрального переносу кінетичної вихрової енергії BKE в верхній тропосфері та нижній стратосфері мають додатні значення, що свідчить про підтримку цього виду переносу струминною течією.

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.

Вертикальное распределение энергетических ресурсов атмосферы в период блокирования. Недострелова Л.В.

На примере блокирующего антициклона рассмотрены вертикальные профили энергетических характеристик атмосферы. Рассчитаны и проанализированы запасы различных видов энергии, их превращение и перенос.

Ключевые слова: энергетика атмосферы, блокирующий процесс, вертикальное распределение.

Vertical distribution of atmospheric energetics during the blocking process. Nedostrelova L.V.

On the example of blocking anticyclone, the vertical profiles of atmospheric energetics are considered. The content of different energies, as well as their conversions and transfers are calculated and analysed.

Keywords: atmospheric energetics, blocking, vertical distributing.