

**КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ІНТЕНСИВНОСТІ ЛІТНІХ АТМОСФЕРНИХ ФРОНТІВ НАД УКРАЇНОЮ**

© Г. П. Івус, Г. В. Хоменко, Н. М. Міщенко, Н. І. Косолапова, О. О. Сухов

*При прогнозуванні погоди головна увага приділяється небезпечним та стихійним явищам, які часто обумовлюються проходженням атмосферних фронтів, тому важливо визначити найбільш інтенсивні ділянки останніх, де погіршення погодних умов є найімовірнішим. Оскільки фронти пов'язані з бароклінічними зонами, для оцінки їх інтенсивності використано параметр  $\Psi$  – кількісна характеристика барокліності нижньої половини тропосфери*

**Ключові слова:** атмосферний фронт, небезпечні явища, бароклінна зона, інтенсивність опадів, циклон

*When forecasting the weather the main attention is paid to the hazardous phenomena and natural disasters which are often caused by passing of atmospheric fronts. Therefore it is important to determine the most intensive frontal zones where deterioration in weather conditions is the most probable. As the fronts are connected with baroclinic zones therefore in order to assess their intensity the  $\Psi$  parameter, the quantity characteristic of baroclinicity of the lower half of the troposphere, is used*

**Keywords:** atmospheric front, hazardous phenomena, baroclinic zone, intensity of rainfall, cyclone

**1. Вступ**

Завдяки інтенсивному розвитку чисельних методів прогнозу погоди в синоптичній практиці для зменшення суб'єктивного фактору в теперішній час при аналізі атмосферних процесів використовується багато кількісних характеристик. Так, при фронтологічному аналізі в зарубіжних прогностичних центрах широко застосовуються різні параметри, які є показниками барокліності атмосфери і циклонічності баричного поля в нижній тропосфері [1, 2]. Для оцінки інтенсивності вертикальних рухів у фронтальних зонах використовується потенціальний вихор Ертеля [3]. Розраховуються також множинні критерії гідродинамічної та конвективної нестійкості атмосферних течій, індекси блокування тощо [4].

**2. Літературний огляд**

Оскільки при прогнозуванні погоди головна увага приділяється небезпечним та стихійним явищам, які часто обумовлюються проходженням атмосферних фронтів, важливо визначити найбільш інтенсивні ділянки останніх, де погіршення погодних умов є найімовірнішим.

Така задача вирішувалася авторами [2], які займалися оцінкою зв'язку між показником барокліності нижньої половини тропосфери (параметром  $\Psi$ ) і кількістю опадів, тобто вивчалась роль барокліності у формуванні зон опадів. В останні роки з'являються роботи, автори яких використовують параметр  $\Psi$  як один із предикторів при прогнозі сильного вітру та шквалів [5], зокрема, в дослідженнях [6, 7] зроблена спроба виявити зв'язок між параметром  $\Psi$  і небезпечним вітром ( $10 \text{ мс}^{-1}$  та більше) в осінь-зимовий період.

**3. Мета та задачі дослідження**

Мета дослідження полягає в кількісній оцінці ролі барокліності в формуванні небезпечних явищ погоди на території України в літній період.

Згідно з поставленою метою вирішені такі задачі:

- розраховані поля фронтального параметра  $\Psi$  – показника барокліності нижньої тропосфери;
- зроблено зіставлення полів фронтального параметра з картами добових сум опадів та штормових повідомлень про вітер.

**4. Матеріали та методи дослідження**

Для аналізу використані поля фронтального параметра  $\Psi$ , синоптичні карти, штормові повідомлення по вітру, карти добових сум опадів та радіозонди для окремих пунктів України. Розрахунки фронтального параметра  $\Psi$  виконано за алгоритмом [8] у вузлах сітки з кроком  $2,5^\circ$  по широті і довготі за даними об'єктивного аналізу полів температури повітря і масової частки водяної пари на ізобаричних поверхнях 850, 700, 500 гПа за 00 UTC першого та двадцять шостого червня 2012 року, коли в окремих частинах України спостерігалось збільшення швидкості вітру до небезпечного, грози та опади. Область розрахунків обмежена паралелями  $35\text{--}60^\circ$  півн. ш. і меридіанами  $0\text{--}40^\circ$  сх. д. В тексті і на рисунках  $\Psi$  вказується в одиницях  $10^{-10} \text{ м}^{-1}$ .

Методика дослідження полягає в порівняльному аналізі параметра  $\Psi$  з сумами опадів та швидкістю вітру для виявлення наявності кількісного зв'язку барокліності в області атмосферних фронтів з опадами та вітром.

**5. Результати досліджень та їх обговорення**

В ситуації, що відбувалася першого червня, погодні умови в західних та центральних областях України були пов'язані з проходженням теплої ділянки полярного фронту; південні та східні райони знаходились під впливом холодного фронту.

Як показує рис. 1, полярний фронт з хвилями проходить в малоградієнтному баричному полі в широтній смузі між  $45$  та  $55^\circ$  півн. ш., при цьому більша частина теплового фронту пов'язана з улоговиною, спрямо-

ваною майже з північного сходу на південний захід, а менша його частина разом з холодною ділянкою проходить через гребінь, орієнтований на північний схід.

В роботах [1, 8] отримано, що в полі фронтального параметра  $\Psi$  більш чітко проявляються холодні фронти особливо в зимовий період; знайдено також зв'язок між параметром  $\Psi$  і опадами. Так, у фронтальних зонах, де  $\Psi \geq 5$  од., в 60 % випадків спостерігаються опади [8], що свідчить про досить високу активність відповідних фронтів. Значення  $\Psi = 5$  од. є пороговим для опадів. При прогнозі шквалів однією з необхідних умов виникнення шквалів є наявність фронтальної зони, де  $\Psi \geq 2,5$  од. [5].

В нашому випадку додатні значення параметра  $\Psi$  отримані для теплої гілки полярного фронту і ділянки холодного фронту, яка проходить над північно-

західним узбережжям Чорного моря. Рис. 1 показує, що  $\Psi$  змінюється від 2 до 10 од. в області 1 і від 11 до 25 од. поблизу лінії фронту в області 2. Бароклінна зона охоплює західні, центральні (в основному правобережні) і південно-західні райони України, тобто територію, на якій відбувалося посилення вітру до 10–19 м/с і в багатьох пунктах спостерігалися грози (рис. 2). Слід відзначити, що з часом фронти мало змінювали своє положення. І тому штормова зона над вказаними районами України першого червня зберігалася протягом майже 13 годин (від 9 до 22 год.). При цьому найбільша кількість штормових повідомлень по вітру та грозах приходилась на полуденні та післяполуденні часи, що може свідчити про додатковий внесок термічної конвекції в загострення процесів.

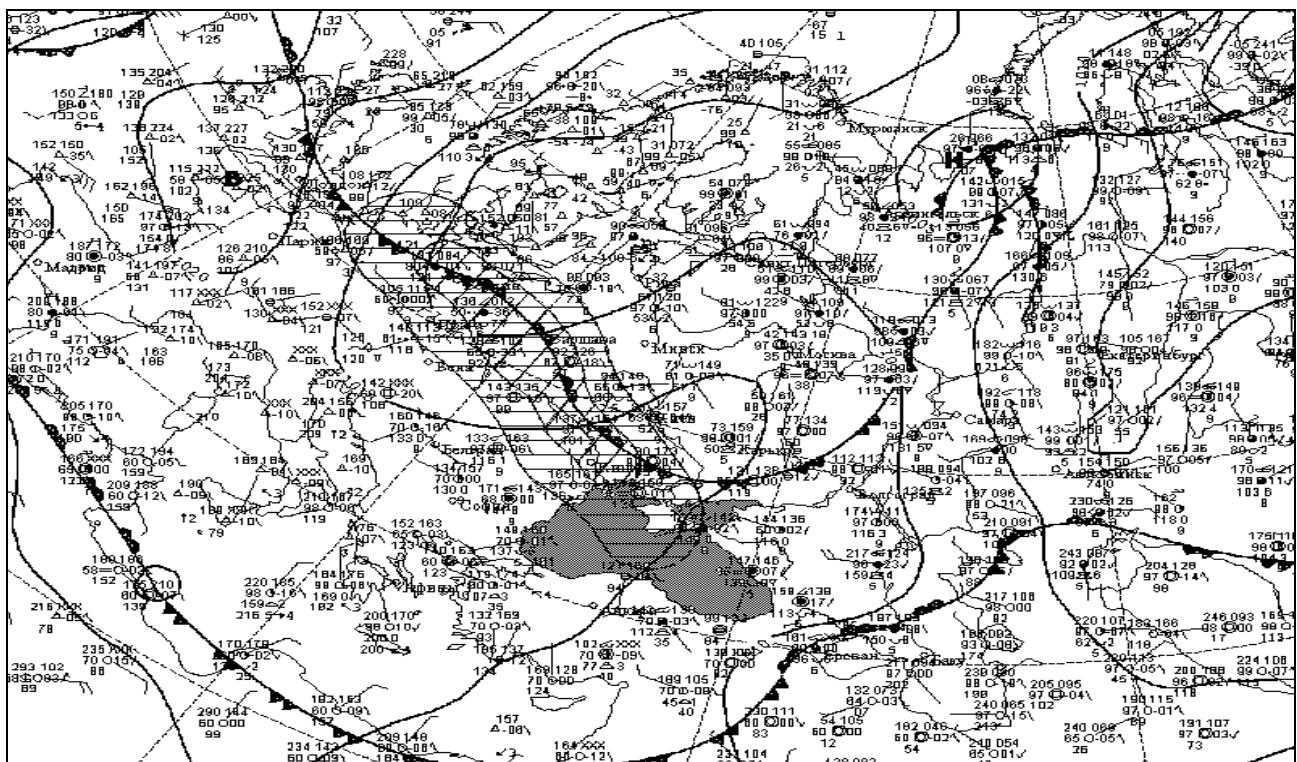


Рис. 1. Аналіз приземний 01.06.2012 р. 00 UTC Бароклінна зона ( $\Psi \geq 2$  од.)

На рис. 3 представлена карта опадів не тільки для території України, а й для Молдови і Румунії. Видно, що в більшості пунктів, які попадають в барокліну зону ( $\Psi > 2$  од.), добова сума опадів змінюється в широких границях. В центральних районах України (в правобережній частині) опади, кількість яких не перевищує 3 мм за добу, пов'язані з холодною ділянкою фронту, де значення параметра  $\Psi$  менші ніж 10 од. Перед теплою ділянкою фронту, що проходить над Західною Україною, опади інтенсивністю від 4 до 10 мм за добу спостерігаються в зоні, де  $\Psi$  перевищує 2 од. У вузькій зоні поблизу фронту  $\Psi$  змінюється від 10 до 25 од. (рис. 1, область 2), а добова кількість опадів в більшості пунктів складає 8–10 мм.

Тобто підтверджуються висновки, що отримані в роботах [1, 8], згідно з якими більшим значенням  $\Psi$  відповідають більш інтенсивні опади. Великі суми опадів в Закарпатті та західних районах Румунії можна пояснити додатковим впливом орографії.

В роботі [9], яка присвячена дослідженню впливу конвекції на формування небезпечних явищ погоди на території України, відзначається, що посилення вітру до шквалів, як і інші конвективні явища, виникають на фоні інтенсивних великомасштабних потоків зі значними вертикальними і горизонтальними зсувами вітру, тобто потоків, в яких може реалізуватися як бароклінна, так і баротропна нестійкість, що може сприяти виникненню гроз і ліній шквалів.

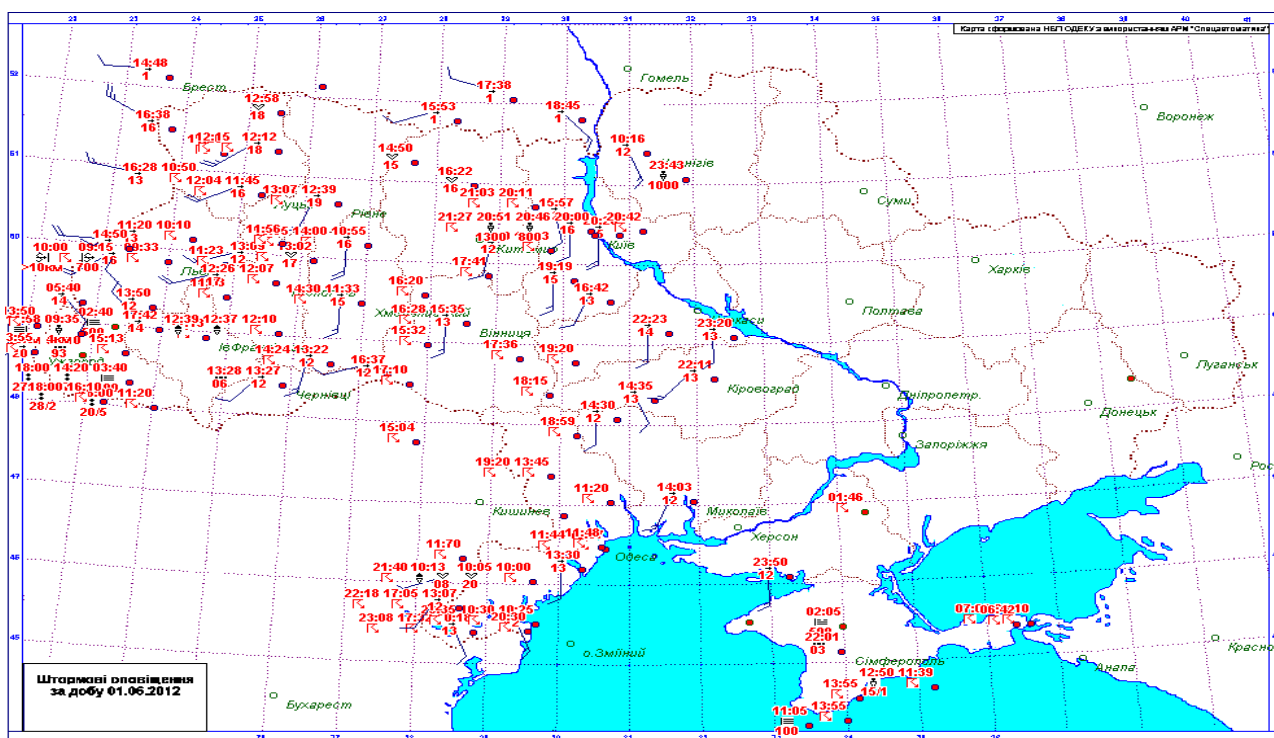


Рис. 2. Штормові повідомлення за добу 01.06.2012 р.

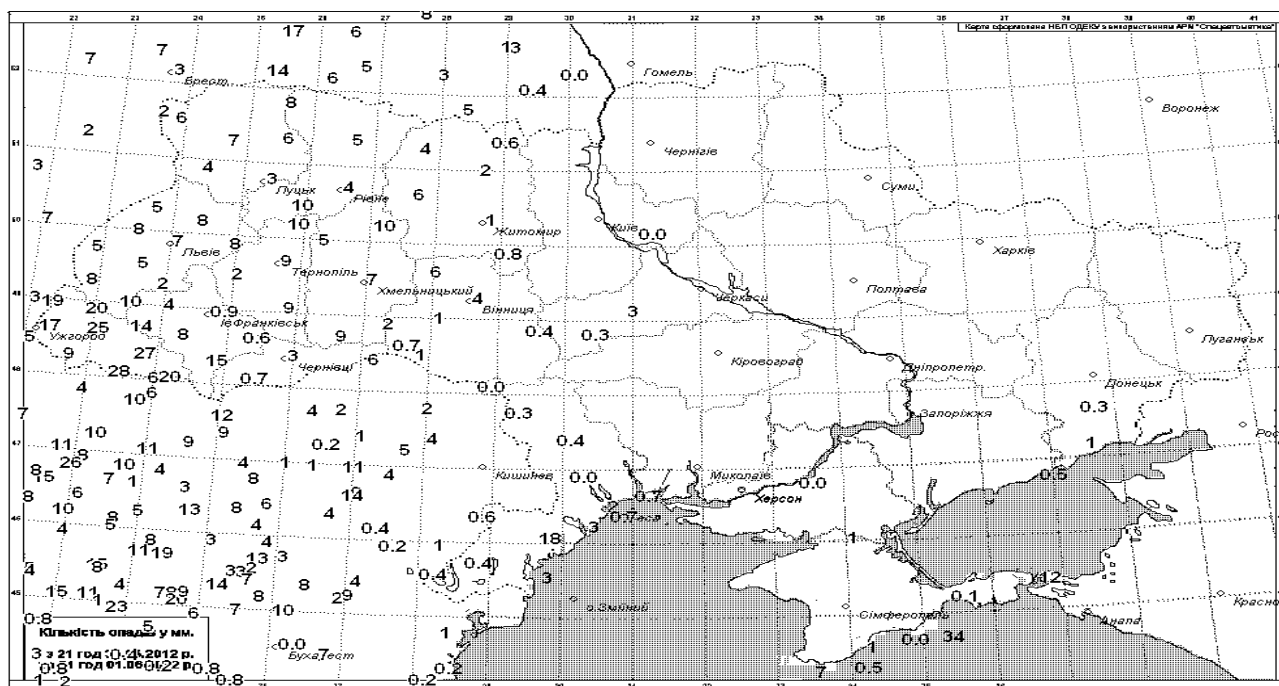


Рис. 3. Кількість опадів (мм) за добу 01.06.2012 р.

Оскільки в розвитку конвективних рухів основну роль відіграє доступна потенціальна енергія CAPE, в даній роботі проаналізовано радіозонди за перше червня для станцій: Одеса, Чернівці, Київ. Ці нічні радіозонди показали слабку нестійкість в районі Чернівців, де CAPE дорівнює 48 Дж/кг, та її відсутність в інших пунктах. Тобто в нічній строк конвективні рухи або відсутні, або слабкі, але в денні часи вони можуть досягати значної інтенсивності і, таким чином, сприяти і посиленню вітру, і формуванню конвективних опадів. Ще одним показником нестійкості нижніх шарів атмосфери є індекс нестійкості

ТТ, який при наявності конвекції перевищує порогове значення 44 °С. Оцінки цього індексу для нашого випадку свідчать про те, що в барокліній зоні теплового фронту ТТ змінюється від 44 до 52; в східних районах України (за холодним фронтом) ТТ коливається від 38 до 42.

Таким чином, посилення вітру, грози та опади в західних, центральних та південно-західних районах України обумовлене, перш за все, значною барокліністю, інтенсивність якої досягає в полі параметра  $\Psi$  25 од. Слабка конвекція, яка в денні часи могла посилюватися, також сприяла підвищенню швидкості

вітру в указаній частині України. В східних районах формування зон небезпечного вітру, як і опадів не відбулося, тому що холодний фронт проходив через область підвищеного тиску і не проявлявся в полі параметра  $\Psi$ ; значення індекса ТТ також не відповідають умовам, які сприяють розвитку конвекції.

В ситуації, яка відбувалася 26.06.2012 р., погодні умови на території України визначалися проходженням холодної гілки полярного фронту. На рис. 4 видно, що як холодна, так і тепла ділянки фронту добре проявляються в полі фронтального параметра, де  $\Psi$  змінюється від 2 до 30 од. в області 1 і досягає 40 од. в області 2. Найбільші значення  $\Psi$  відзначається у вузькій смужці за холодним фронтом і перед ним (над Північно-Західним Причорномор'ям). Меридіонально спрямованій ділянці цього фронту відповідають від'ємні значення параметра  $\Psi$ , що свідчить про слабку його інтенсивність.

З часом полярний фронт пересувався в південному напрямку і через 6 годин він проходив над північно-західним узбережжям Чорного моря і центральними районами України, а через добу був вже поза її межами. Повідомлення про посилення вітру до 10–13 і навіть до 15–16 м·с<sup>-1</sup> надходили в першу половину дня, в основному, з західних та центральних районів України, а в другу – з південних та східних її районів (рис. 5). В указані часи відповідні території знаходились в зоні, де значення  $\Psi$  дорівнювали або перевищували 2 од. Цей результат узгоджується з висновками, щодо можливості використання параметра

$\Psi$  в якості потенціального предиктора при прогнозі шквалів [5].

Аналіз поля опадів за 26.06.2012 р. (рис. 6) показує, що в західних та центральних областях України як посилення вітру, так і опади пов'язані з проходженням холодного фронту. Практично всі пункти з опадами знаходяться в барокліній зоні, де  $\Psi \geq 2$  од. Найбільша кількість пунктів, в яких добові суми опадів змінюються від 10 до 24 мм, потрапляють в найбільш інтенсивну частину барокліній зони, де  $\Psi$  набуває значень в діапазоні 30–40 од. Східні та південно-східні райони України знаходяться під впливом ділянки фронту значно меншої інтенсивності і суми опадів тут також менші: в східних районах вони не перевищують 5 мм, а в більшості пунктів менші 1 мм.

Опади зі значною інтенсивністю відмічаються за холодним фронтом, де сприятливі умови для розвитку конвективних рухів, особливо в денні часи. Про це свідчать значення доступної потенціальної енергії САРЕ, яка навіть в нічний строк для Києва (за холодним фронтом) складає близько 12 Дж/кг, а в 12 годин досягає 42 Дж/кг. Нажаль відсутність даних радіозондування не дає можливості оцінити цей фактор для інших пунктів. Щодо індексу нестійкості ТТ, то ця характеристика в центральних районах України, тобто (за холодним фронтом) змінюється від 40 до 48 °С і навіть досягає 53 °С, тобто декілька перевищує порогове значення. Можна вважати, що в денні часи це перевищення було значно більшим.

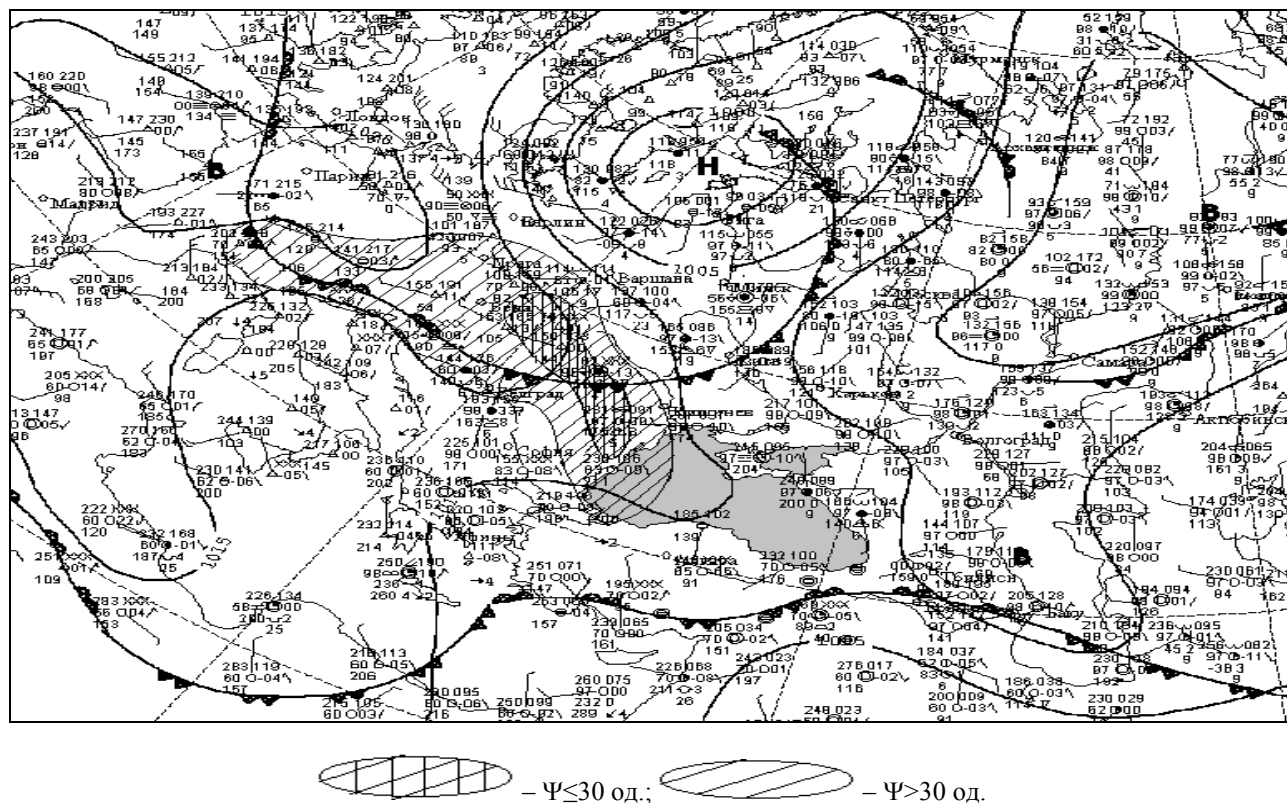


Рис. 4. Аналіз приземний 26.06.2012 р. 00 UTC. Бароклінна зона ( $\Psi \geq 2 \times 10^{-10} \text{ м}^{-1}$ )

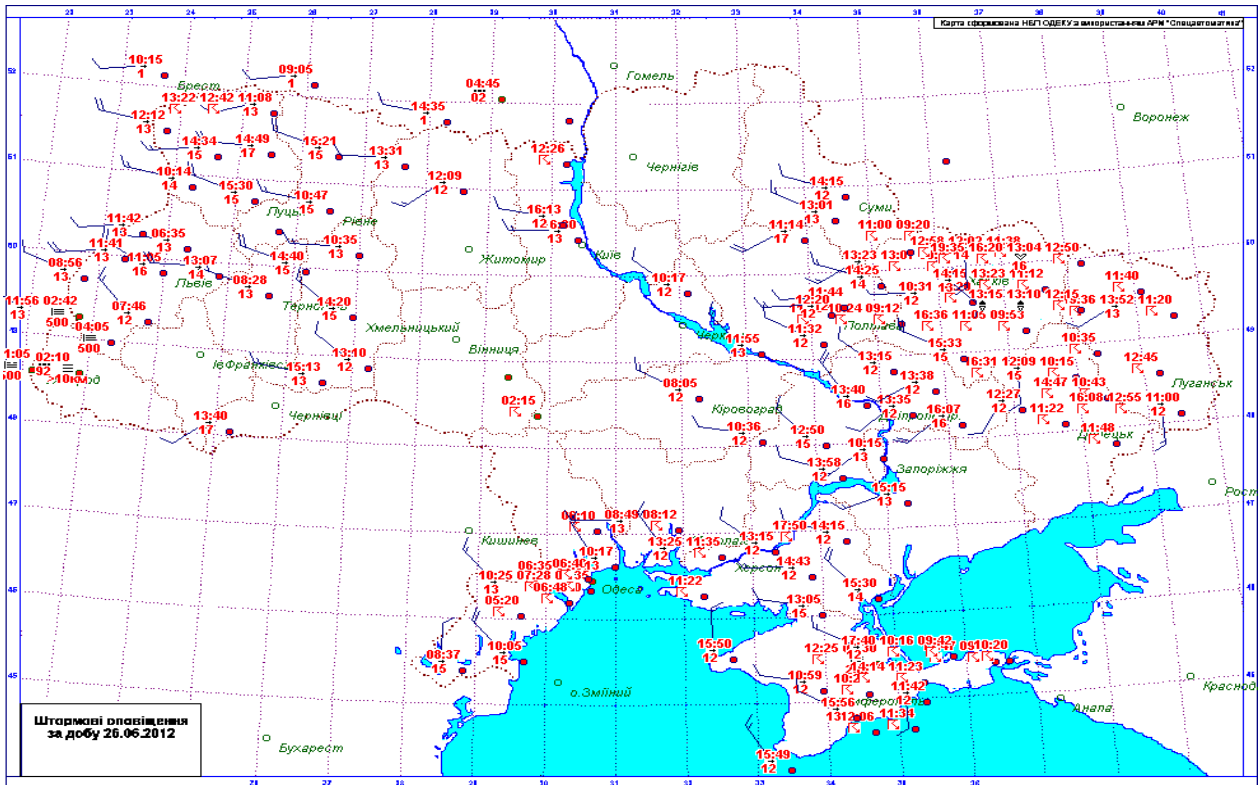


Рис. 5. Штормові повідомлення за добу 26.06.2012 р.

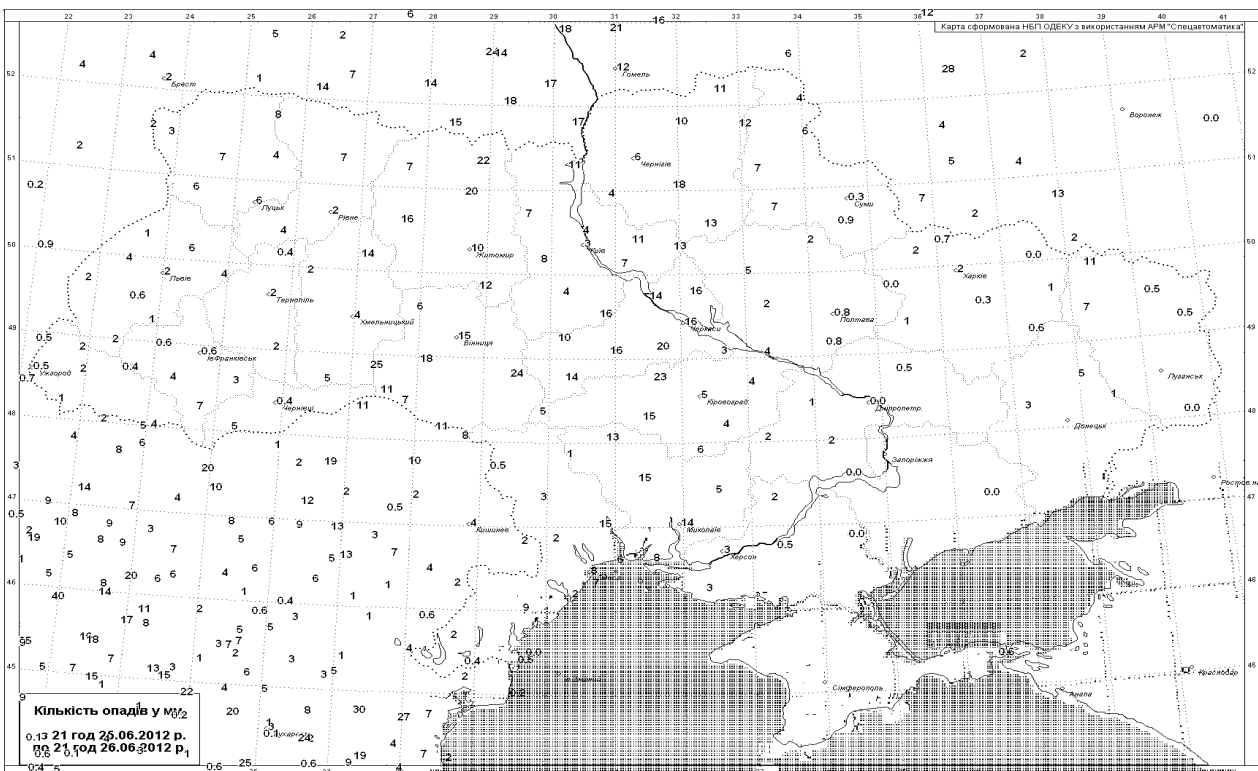


Рис. 6. Кількість опадів (мм) за добу 26.06.2012 р.

**6. Висновки**

Одже, розгляд двох літніх ситуацій з небезпечними явищами, які пов'язані з проходженням атмосферних фронтів через територію України, дозволяє зробити такі висновки:

– барокліну зону як теплою, так і холодною фронту, де параметр  $Y \geq 2$  од., можна вважати потенційною зоною небезпечного вітру;

– в полі параметра  $\Psi$  краще проявляється холодний фронт, якому відповідають значення  $\Psi$  майже удвічі більші в порівнянні з теплим фронтом;

– отримано якісний зв'язок між параметром  $\Psi$  та опадами: більшість випадків з опадами пов'язана з барокліною зоною, де  $\Psi$  перевищує 5 од.; для більш обґрунтованої оцінки впливу барокліності на фор-

мування зон опадів слід використовувати критерії гідродинамічної та конвективної нестійкості атмосфери;

– для літніх випадків, як і для зимових, не отримано кількісного зв'язку між параметром  $\Psi$  і швидкістю вітру;

– при уточненні методів прогнозу приземного вітру в теплу пору року поряд з параметром  $\Psi$  в якості пре-диктора слід враховувати також індекс нестійкості ТТ.

#### Література

1. Шакина, Н. П. Спектр повторяемости осадков на территории Европейской части бывшего СССР в зависимости от интенсивности фронтальных зон и конвективной неустойчивости сеточного масштаба [Текст] / Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 4. – С. 5–18.
2. Huber-Rock, F. An operational model of objective frontal analysis based on ECMWF products [Text] / F. Huber-Rock, Ch. Kress // Meteorology and Atmospheric Physics. – 1989. – Vol. 40, Issue 4. – P. 70–180. doi: 10.1007/bf01032457
3. Sawyer, J. S. The vertical circulation at meteorological fronts and its relation to frontogenesis [Text] / J. S. Sawyer // Proc. Roy. Soc. – 1998. – Vol. 234. – P. 17–55.
4. Шакина, Н. П. Лекции по динамической метеорологии [Текст] / Н. П. Шакина. – М.: «Триада ЛТД», 2013. – 160 с.
5. Юсупов, Ю. И. К вопросу об оперативном прогнозе шквалов [Текст] / Ю. И. Юсупов // Тр. ГМЦ РФ. – 2008. – Вып. 342. – С. 55–78.
6. Івус, Г. П. Умови утворення зон небезпечного вітру на території України [Текст] / Г. П. Івус, С. О. Зубкович, Г. В. Хоменко, І. А. Ковальков // Вісник ОДЕКУ. – 2014. – № 18. – С. 48–55.
7. Семенова, И. Г. Использование термического фронтального параметра для моделирования бароклинических зон в процессах циклогенеза [Текст] / И. Г. Семенова, Г. П. Івус // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 251. – С. 56–71.
8. Шакина, Н. П. Объективный анализ атмосферных фронтов и оценка его эффективности [Текст] / Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова, А. Р. Иванова // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 7. – С. 5–16.

9. Балабух, В. А. Межгодовая изменчивость интенсивности конвекции в Украине [Текст] / В. А. Балабух; под ред. В. И. Осадчего. – Глобальные и региональные изменения климата. – Киев: Ника-Центр, 2011. – С. 150–159.

10. Шакина, Н. П. Субъективный и объективный анализы атмосферных фронтов. II Объективное выделение зон фронтов [Текст] / Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова, А. Р. Иванова, Г. Ю. Калугина // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 8. – С. 5–15.

#### References

1. Shakina, N. P., Skriptunova, E. N. (2006). Spektр povtoryaemosti osadkov na territorii Evropeyskoy chasti byivshogo SSSR v zavisimosti ot intensivnosti frontalnykh zon i konvektivnoy neustoychivosti setochnogo masshtaba. Meteorologiya i gidrologiya, 4, 5–18.
2. Huber-Pock, F., Kress, C. (1989). An operational model of objective frontal analysis based on ECMWF products. Meteorology and Atmospheric Physics, 40 (4), 170–180. doi: 10.1007/bf01032457
3. Sawyer, J. S. (1998). The vertical circulation at meteorological fronts and its relation to frontogenesis. Proc. Roy. Soc., 234, 17–55.
4. Yusupov, Yu. I. (2008). K voprosu ob operativnom prognoze shkvalov. Tr. GMTs RF, 342, 55–78.
5. Shakina, N. P. (2013). Lektsii po dinamicheskoy meteorologii. Moscow: «Triada LTD», 160.
6. Іvus, H. P., Zubkovych, S. O., Khomenko, H. V., Koval'kov, I. A. (2014). Umovy utvorennia zon nebezpechnoho vitru na terytorii Ukrainy. Visnyk ODEKU, 18, 48–55.
7. Semenova, I. G., Іvus, G. P. (2011). Ispolzovanie termicheskogo frontalnogo parametra dlya modelirovaniya baroklinnykh zon v protsessakh tsiklogeneza. Naukovi pratsi UkrNDGMI, 251, 56–71.
8. Shakina, N. P., Skriptunova, E. N., Ivanova, A. R. (2000). Ob'ektivnyi analiz atmosfernih frontov i otsenka ego effektivnosti. Meteorologiya i gidrologiya, 7, 5–16.
9. Balabuh, V. A.; Osadchiiy, V. I. (Ed.) (2011). Mezhhodovaya izmenchivost intensivnosti konvektivnoy v Ukraine. Globalnye i regionalnye izmeneniya klimata. Kyiv: Nika-Tsentr, 150–159.
10. Shakina, N. P., Skriptunova, E. N., Ivanova, A. R., Kalugina, G. Yu. (1998). Sub'ektivnyi i ob'ektivnyi analizy atmosfernih frontov. II Ob'ektivnoe vydelenie zon frontov. Meteorologiya i gidrologiya, 8, 5–15.

*Рекомендовано до публікації д-р геогр. наук Ляшенко Г. В.  
Дата надходження рукопису 08.06.2016*

**Івус Галина Петрівна**, кандидат географічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра метеорології та кліматології, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016, E-mail: meteo@odeky.edu.ua

**Хоменко Галина Василівна**, кандидат географічних наук, доцент, кафедра метеорології та кліматології, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016 E-mail: in\_home@ukr.net

**Мищенко Наталія Михайлівна**, кандидат географічних наук, асистент, кафедра метеорології та кліматології, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016 E-mail: minatami@list.ru

**Косолапова Нелія Ігорівна**, аспірант, інженер-синоптик, кафедра метеорології та кліматології, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016 E-mail: nelj11072004@rambler.ru

**Сухов Олександр Олексійович**, асистент, кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту, Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченко, 1, м. Одеса, Україна, 65016 E-mail: sukhov7@ukr.net