

УДК 551.515.9

Івус Г.П., к.геогр.н., Зубкович* С.О., ст.викл., Хоменко Г.В., к.геогр.н.,

Ковальков І.А., асп.

Одеський державний екологічний університет

*Харківський гідрометеорологічний технікум

УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЗОН НЕБЕЗПЕЧНОГО ВІТРУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

На основі спільного аналізу полів фронтального параметра, відносного вихору та небезпечного приземного вітру ($\geq 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) визначено, що між вказаними полями існує якісний зв'язок, який дозволяє розглядати фронтальний параметр та відносний вихор як додаткові предиктори при прогнозі сильного вітру та шквалів.

Ключові слова: фронтальний параметр, відносний вихор, барокліність, небезпечний вітер.

Вступ. З дев'яностих років минулого століття значно збільшилася кількість небезпечних явищ погоди в багатьох регіонах земної кулі, в тому числі і в Україні. Ці явища, такі як смерчі, шквали, сильні зливи, як правило, пов'язані з мезомасштабними процесами, для вивчення яких потрібна більш детальна інформація ніж та, яку містять в собі дані метеорологічних та аерологічних спостережень. Проте відомо, що локальні атмосферні процеси розвиваються на великомасштабному фоні, тому для виявлення умов розвитку небезпечних явищ погоди доцільно використовувати кількісні характеристики процесів синоптичного масштабу, зокрема, відносний вихор швидкості вітру, потенціальний вихор, різні види фронтального параметра, деякі критерії гідродинамічної нестійкості тощо.

Мета та методика дослідження. В даній роботі зроблена спроба оцінити вплив барокліності атмосфери, тобто горизонтальної неоднорідності поля температури на формування зон небезпечного вітру ($\geq 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) на території України в період 11 - 16 жовтня 2009 року.

В якості характеристики барокліності нижньої половини тропосфери вибрано фронтальний параметр ψ . В багатьох дослідженнях показано, що цей параметр достатньо добре описує активність атмосферних процесів в зоні фронтів [2,3]. Це пов'язано з тим, що параметр ψ описує не тільки температурні контрасти, а і просторову неоднорідність поля вологості, яка враховується шляхом використання відомостей про масову частку водяної пари.

Проте за результатами роботи [4] визначено, що більш інформативною характеристикою атмосферних процесів є фронтальний параметр F , який є сумою $\psi+P$, де P враховує циклонічність баричного поля в нижній тропосфері. Оскільки алгоритм визначення параметра P досить складний, в даній роботі для урахування циклонічності використані поля геострофічного відносного вихору Ω_p .

Розрахунки фронтального параметра виконані за результатами об'єктивного аналізу полів геопотенціалу, температури та вологості у вузлах географічної сітки з кроком $2,5^\circ$ по широті і довготі на ізобаричних поверхнях 850 і 500 гПа за 00^h кожного дня вказаного періоду. Для розрахунку відносного вихору використані поля геопотенціалу H_{500} , яке характеризує циклонічність баричного поля в середній тропосфері. Область розрахунків обмежена меридіанами 10 і 50°сх.д. та паралелями 30 і 65°півн.ш. Для сумісного аналізу отриманих і фактичних полів залучалися також карти приземні, карти баричної топографії та карти штормових оповіщень за відповідні

дні та строки. Для орієнтовної оцінки впливу конвекції на формування поля приземного вітру зроблено розрахунки деяких параметрів конвекції за даними радіозондування окремих пунктів України.

Отже ефективність параметра ψ свідчить добрий зв'язок його з зонами опадів на атмосферних фронтах. Наприклад, з ділянками фронтів, де $\psi \geq 5$ од. (одиниця ψ це 10^{-10} м^{-1}), в 60% випадків пов'язані зони опадів [2,3]. Відзначимо також, що згідно з результатами роботи [5] сприятливі умови для шквалів на фронтах утворюються вже при $\psi \geq 2,5$ од.

Вираз для цього параметра має вигляд

$$\psi = \nabla |\nabla ZTE| \cdot \vec{n}, \quad (1)$$

де $\vec{n} = -\frac{\nabla ZTE}{|\nabla ZTE|}$ – одиничний вектор, спрямований в область

мінімальних значень температури і вологості;

$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y}$ – двомірний векторний диференціальний оператор;

ZTE – еквівалентна товщина шару між ізобаричними поверхнями P_u і P_l .

$$ZTE = -\sum \frac{P_u}{P_l} \frac{R}{g} T_e \cdot \ln \left(\frac{P_u}{P_l} \right). \quad (2)$$

В (2) P – тиск, \bar{T}_e – функція від еквівалентної температури

$$\bar{T}_e = -\frac{[(T_e)_u - (T_e)_l]}{\ln \frac{(T_e)_u}{(T_e)_l}}. \quad (3)$$

В формулах (2), (3) індекси u та l означають верхню та нижню ізобаричні поверхні, які обмежують шар атмосфери (в нашому випадку ізобаричні поверхні 500 і 850 гПа).

Відповідно до формули (1) параметр ψ описує зміни густини ізоліній ZTE_{850}^{500} в бароклінній зоні в напрямку зменшення температури повітря [2]. Відносний вихор у геострофічному наближенні розраховано за даними об'єктивного аналізу поля геопотенціала

$$\Omega_g = \frac{g}{l} \nabla^2 H,$$

де g – прискорення сили тяжіння, l – параметр Коріоліса, H – висота ізобаричної поверхні 500 гПа; $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – двомірний оператор Лапласа.

Результати досліджень та їх аналіз. В період з 11 по 16 жовтня 2009 року територія України знаходилась під впливом двох систем атмосферних фронтів: арктичного та полярного. На початку періоду (11.10.09 р.) полярна система фронтів

проходила в широтному напрямку майже уздовж 40° півн.ш. і лише над Адриатичним морем набувала меридіональної спрямованості завдяки фронту оклюзії. Арктична система фронтів проходила над центральними районами Західної Європи, північним узбережжям Чорного моря і далі над Північним Кавказом (рис. 1а). Отже погодні умови над західними і центральними районами України формувалися під дією теплої ділянки арктичного фронту, а на південні райони впливала холодна ділянка. Поле

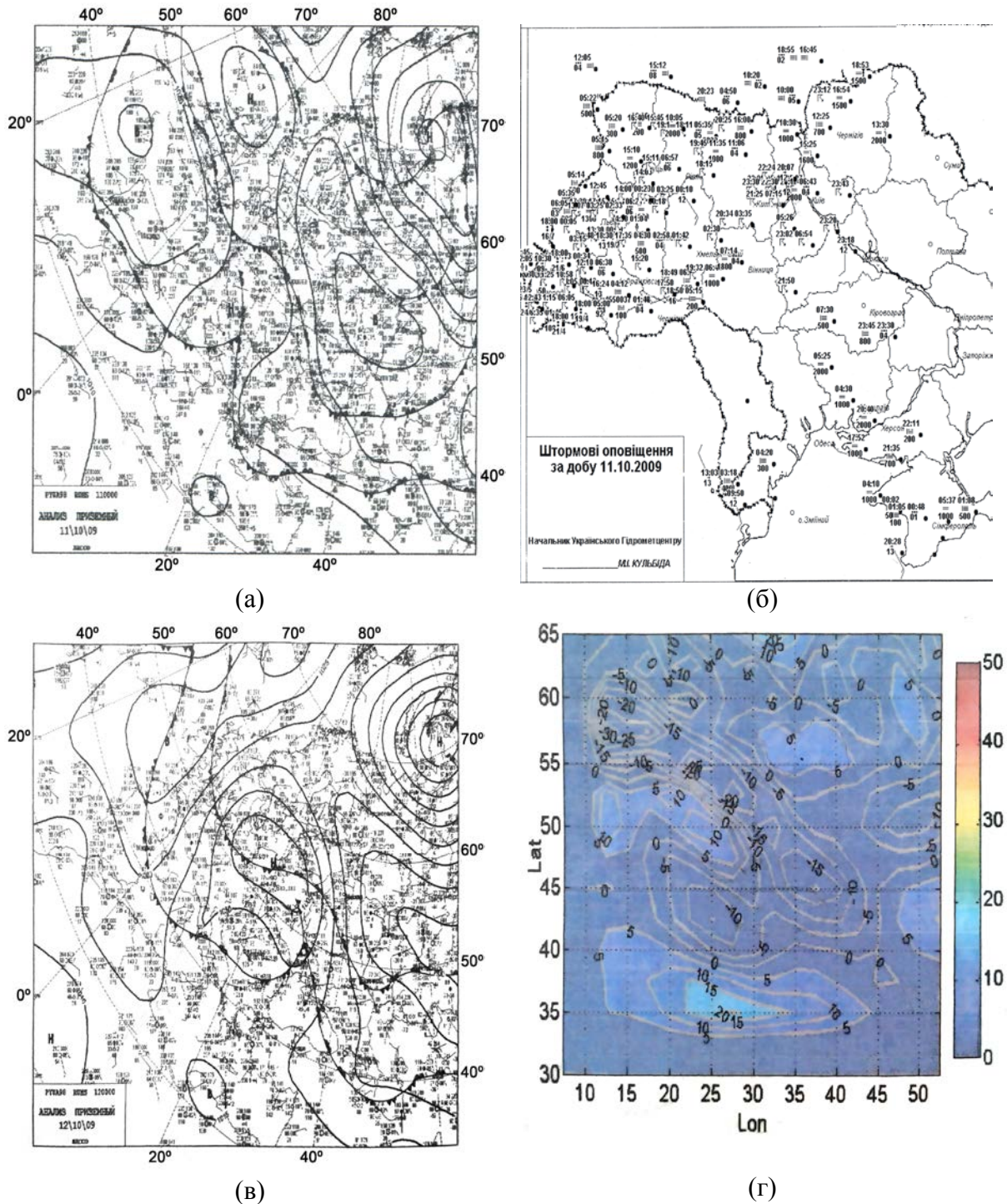


Рис. 1 - Приземний аналіз – (а), штормові оповіщення – (б) за 11.10.09 р.;
приземний аналіз – (в), фронтальний параметр – (г) за 12.10.09 р.

фронтального параметра за 11.10.09 г., яке тут не наводиться, показує, що більш активною є полярна система фронтів, де значення ψ досягають 20 од. Теплий ділянці арктичного фронту над західними районами України, де усюди спостерігаються грози з опадами та посилення вітру в окремих пунктах до $10-14 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (рис. 1б), відповідають додатні значення ψ до 6 од., тобто ця ділянка фронту є достатньо активною і сприятливою для утворення грозових осередків з опадами і підвищення швидкості вітру.

Через добу на хвилі холодної ділянки арктичного фронту сформувався циклон з мінімальним тиском (1000,4 гПа) поблизу Варшави (рис. 1в). Циклон у вигляді замкненого центра простежується до ізобаричної поверхні 700 гПа. Він знаходиться під дельтою динамічно значущої висотної фронтальної зони (ВФЗ), з якою в верхній і середній тропосфері пов'язані струминні течії зі швидкістю до $45 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Системи фронтів займають більш північне положення, і тому над Чорноморським басейном розташовані тепер гілки полярного фронту, а не арктичного, як в попередню добу. Найбільш активним ділянкам арктичного фронту (в центральній частині циклону) та ділянкам полярного фронту над Україною відповідає область, де фронтальний параметр ψ набуває додатних значень до 10 од. На рис. 1г видно, що ця область розташована в широтній смузі $47-55^\circ$ півн.ш. між 15 і 30° сх.д., тобто охоплює західну і центральну частини України. Але, як показує карта штормових оповіщень за 12.10.09 р., над більшою частиною України спостерігалися лише тумани та низька хмарність. Посилення вітру до $18 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ відмічалось поблизу Говерли, а до $12-13 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ - в окремих пунктах західного узбережжя Криму. Це свідчить про те, що між зонами з підвищеними значеннями ψ і небезпечним вітром зв'язку в даній ситуації немає.

Протягом доби (з 12 на 13.10.09 р.) над Балканським півостровом утворився південний циклон з тиском в центрі близько 996 гПа і об'єднався з західним циклоном над Прибалтикою. Таким чином, 13 жовтня центральні райони Європи знаходились під впливом двоцентрового циклону, з яким пов'язані системи арктичного і полярного фронтів (рис. 2а). Саме ці фронти зумовлювали погодні умови і сприяли формуванню зон небезпечного вітру в різних частинах України з 13 по 16 жовтня. Посилення вітру до $12-15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ над західними та центральними районами України і до $15-20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ над північно-західним узбережжям Чорного моря відмічалось в найбільшому числі пунктів 13.10.2014, тому для цієї дати наведені поля фронтального параметра, відносного вихору та карта штормових оповіщень (рис. 2б, в, г). Як видно із рис. 2б, область, де ψ змінюється від 5 до 20 од., розташована поблизу центра циклону і пов'язана з гілками полярного та арктичного фронтів, які тут найбільш зближені. Частина цієї області знаходиться над західними і центральними районами України, де у великій кількості пунктів спостерігався небезпечний вітер, а в деяких пунктах – грози (рис. 2г). Всі ці явища пов'язані з активною ділянкою теплового фронту, на який параметр ψ перевищував порогове значення для шквалів ($\psi = 2,5$ од.).

Раніше відмічалось, що для ідентифікації атмосферних фронтів зручніше використовувати параметр F , який описує не тільки бароклінічність, а і циклонічність баричного поля нижньої тропосфери. В якості характеристики циклонічності в даній роботі використані поля відносного вихору на ізобаричній поверхні 500 гПа, тобто урахується вплив циклонічності баричного поля в середній тропосфері на активність фронтів. На рис. 2в для прикладу представлено поле Ω_p за 13.10.09 р. Видно, що південному циклону відповідає замкнена область, де відносний вихор досягає $6\cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, тобто в п'ять разів перевищує порядок цієї величини. При цьому над Західною Україною вихор набуває значення від 3 до $6\cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, а над центральною її частиною він різко змінюється від додатних значень до від'ємних. Як показує рис. 2г, саме в цих районах України сформувалися зони небезпечного вітру. Це означає, що в формуванні

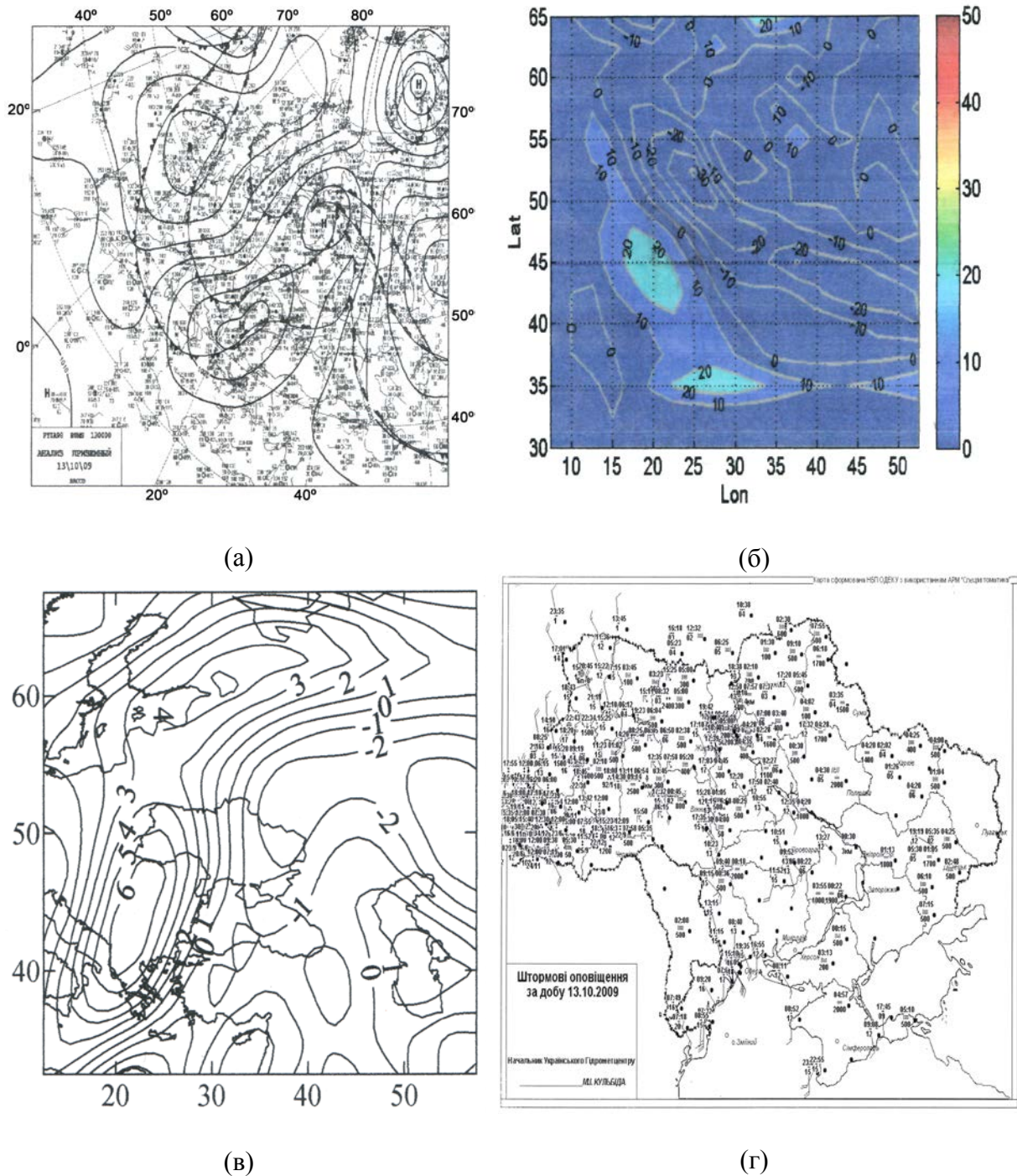


Рис. 2 - Приземний аналіз – (а), фронтальний параметр – (б); відносний вихор – (в), штормові повідомлення – (г) за 13.10.09 р.

зон небезпечного вітру в даній ситуації значну роль могла відігравати циклонічність баричного поля, яка не урахується параметром ψ .

В наступну добу (14.10.09 р.) південна частина циклону з двома меридіонально орієнтованими ділянками холодних фронтів знаходилась на території України (рис. 3а). Гілки теплих фронтів проходили північніше 50° півн. ш., тому погодні умови визначалися, в основному, впливом холодних фронтів не тільки 14 жовтня, а і 15, коли швидкості вітру від 10 до $16 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ були зафіксовані в багатьох пунктах Західної та

Центральної України і в Криму (рис. 3б). Як видно з рис. 3в, ділянкам холодних фронтів над Україною, з якими пов'язані швидкості вітру від 10 до 17 м·с⁻¹, відповідає поширена зона додатних значень ψ (до 30 од.), тобто небезпечний вітер над західними та центральними районами України і Кримом пов'язаний з інтенсивною бароклінією в нижній та середній тропосфері. Щодо впливу циклонічності, то із аналізу поля відносного вихору Ω_p випливає, що посиленню вітру на великих територіях в даному

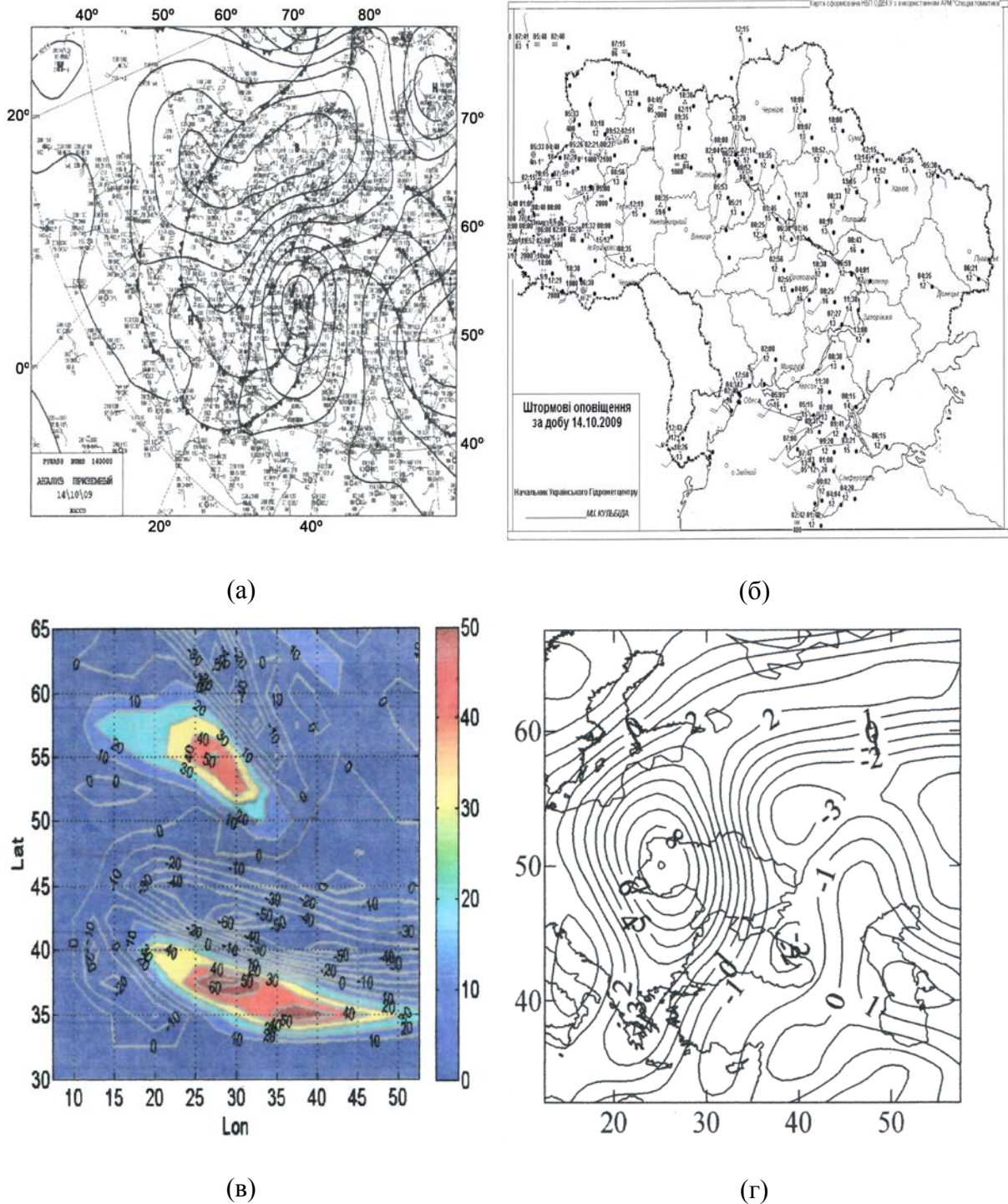


Рис. 3 - Приземний аналіз – (а), штормові повідомлення – (б); фронтальний параметр – (в), відносний вихор – (г) за 14.10.09 р.

випадку може сприяти також циклонічна кривизна поля тиску, яка характеризується великими значеннями Ω_p ($> 8 \cdot 10^{-5} \text{c}^{-1}$) та його різкими змінами (рис. 3г). Порівняння рисунків 3б і 3г показує, що областям, де швидкість вітру $\geq 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, відповідає центральна частина замкненої області з $\Omega_p = 8 \cdot 10^{-5} \text{c}^{-1}$ (Західна Україна) і смуга їх максимального згущення (центральні та південні райони України і Крим).

Аналогічна ситуація відбувалась і 15 та 16 жовтня, тобто поле вітру формується також в бароклінній зоні, інтенсивність якої більша (значення ψ досягають 45 од.), а небезпечний вітер спостерігається лише над центральною і південною частинами України і в більшості пунктів його швидкість не перевищує $12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Відзначимо, що над цими районами відбуваються різні зміни циклонічного вихору, який досягає значень $7 \cdot 10^{-5} \text{c}^{-1}$.

Оскільки всі небезпечні явища погоди активізуються при конвективній нестійкості нижньої тропосфери, зроблена також спроба хоча б приблизно оцінити роль конвекції в формуванні зон небезпечного вітру. Для оцінки впливу конвекції на локальні посилення вітру для деяких пунктів радіозондування розраховано параметр CAPE, що описує доступну потенціальну енергію конвективної нестійкості та індекс нестійкості TT [1, 5].

Конвективна діяльність та мінливість її інтенсивності на території України досить детально досліджена в роботі [1], де, зокрема, відзначається, що в теплий період (травень-вересень) найбільшу повторюваність має слабка конвекція, для якої параметр CAPE має значення в інтервалі $0-500 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Аналіз даних радіозондування для ст. Київ, Одеса, Харків, Львів за окремі строки розглянутого періоду показав, що параметр CAPE дорівнює нулю в усіх випадках. Це не суперечить результатам вказаної роботи, згідно з якою вже на початку осені (у вересні) конвекція значно ослаблюється: повторюваність слабкої конвекції ($0-500 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$) складає всього 11%, а більш інтенсивна конвекція утворюється менше ніж в одному випадків. Можна очікувати, що в жовтні конвекція може бути ще менш інтенсивною.

В роботі [1], де розглядається проблема прогнозу шквалів, для урахування впливу конвекції на посилення приземного вітру використовується індекс нестійкості TT. Нижче представлені TT для Києва за нічні та денні строки з 11 по 15.10.09.

Дата	11		12		13		14		15	
Строк	00	12	00	12	00	12	00	12	00	12
TT°,C	38	50	45	38	47	52	47	22	44	40

Як показують результати розрахунків, значення TT не набагато перевищує порогове значення, яке складає 44°C , тобто можна вважати, що внесок конвекції в формування небезпечного вітру незначний. Про це свідчать і розрахунки TT за окремі строки для Львова, Одеси та Харкова (максимальне значення не перевищує 51°C).

Висновки. Отже, в розглянутий період головну роль в формуванні зон небезпечного вітру на території України відігравали атмосферні фронти, в зоні яких параметр ψ перевищував порогове значення 2,5 од. і в окремі строки досягав 50 од. Однак кількісного зв'язку між швидкістю вітру і параметром ψ не виявлено.

Визначений зв'язок між полями відносного вихору в середній тропосфері і зонами небезпечного вітру свідчить про досить великий вплив циклонічності поля тиску на швидкість приземного вітру.

Індекс конвективної нестійкості набував, в основному, значень, менших або дещо більших за порогове значення, тому в розглянутих ситуаціях внесок енергії конвективної нестійкості в формування зон небезпечного вітру неістотний.

Список літератури

1. Балабух В.А. Межгодовая изменчивость интенсивности конвекции в Украине / Глобальные и региональные изменения климата [Шестопапов В.М., Логинов В.Ф., Осадчий В.И. и др.]. – К.: Ника-Центр, 2011 – С. 150-159.
2. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Калугина Г.Ю. Субъективный и объективный анализы атмосферних фронтов. II Об'єктивное віделение зон фронтов // Метеорологія и гідрологія. – 1998. - № 8. – С. 5-15.
3. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р. Объективный анализ атмосферних фронтов и оценка его эффективности // Метеорологія и гідрологія. – 2000. - № 7. – С. 5-16.
4. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н. Спектр повторяемости осадков на территории Европейской части бывшего СССР в зависимости от интенсивности фронтальных зон и конвективной неустойчивости сеточного масштаба // Метеорологія и гідрологія. – 2006. - № 4. – С. 5-18.
5. Юсупов Ю.И. К вопросу об оперативном прогнозе шквалов // Тр. ГМЦ РФ. – 2008. – Вып. 342. – С. 55-78.

Условия формирования зон опасного ветра на территории Украины.

Івус Г.П., Зубкович С.О., Хоменко Г.В., Ковальков І.А.

На основании совместного анализа полей фронтального параметра, относительного вихря и опасного приземного ветра ($\geq 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) определено, что между указанными полями существует качественная связь, которая позволяет рассматривать фронтальный параметр и относительный вихрь как дополнительные предикторы при прогнозе сильного ветра и шквалов.

Ключевые слова: фронтальный параметр, относительный вихрь, бароклинность, опасный ветер.

Conditions of formation of dangerous wind zones on the territory of Ukraine.

Ivus G.P., Zubkovich S.O., Khomenko G.V., Kovalkov I.A.

On the basis of a complex analysis of the frontal fields parameter, relative vorticity and a dangerous surface wind ($\geq 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) found that between these fields, there is a qualitative relationship that allows us to consider setting wheel and the relative vortex as additional predictors of the forecast strong winds and squalls .

Keywords: frontal parametr, relative vortex, baroclinity, dangerous wind.