

УДК:551.509:551.558.1

НИЖНЬОРІВНЕВА АДВЕКЦІЯ ВОЛОГИ ЯК ТРИГЕРНИЙ МЕХАНІЗМ АТМОСФЕРНОЇ КОНВЕКЦІЇ ТА ПРЕДИКТОР ЇЇ ПРОГНОЗУ

Міщенко Н. М., Панова Я. Л., Грушевський О. М.

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natalimishchenko@gmail.com

Прогноз конвективних явищ в оперативній практиці метеопідрозділів здійснюється на підставі даних радіозондування атмосфери за 00 та 12 СГЧ, які дозволяють одержати низку кількісних характеристик атмосферної конвекції. Зокрема, аналіз повторюваності різних градацій індексу CAPE (Convective Available Potential Energy) для випадків утворення грози, який найчастіше використовується для прогнозу конвективних явищ, свідчить, що найбільшу повторюваність мають градації, які не дають достатніх підстав для прогнозу наявності конвективних явищ. Цей підхід має низьку ефективність через неможливість відстеження динаміки змін структури метеоеlementів у шарі конвекції. На відміну від розподілу повторюваності градацій індексу CAPE, аналіз повторюваності індексу CIN (Convective Inhibition) у випадках утворення грози свідчить, що найбільші її значення припадають на діапазон, який характеризує сприятливі умови для утворення конвективних явищ. Таким чином, індекс CIN за даними радіозондування атмосфери у 00 СГЧ має більшу прогностичну значимість ніж індекс CAPE.

Можливість збільшення величини енергії нестійкості після 00 СГЧ при формуванні грози продемонстровано на підставі даних радіозондування атмосфери з 6-ти годинним інтервалом. Це актуалізує необхідність діагнозу та прогнозу процесів, які зумовлюють таке зростання. У статті розглянутий спосіб поєднання даних радіозондування з даними чисельного моделювання для прогнозу глибокої конвекції. Зокрема, продемонстровано, що такий тригерний механізм, як нижньорівнева адвекція вологи зумовлює реалізацію умови нелокальної нестійкості атмосфери NcI . У розглянутих випадках адвекція вологи у граничному шарі атмосфери або передують або супроводжують грозову діяльність. Інтенсивність адвекції вологи та її тривалість чинять прямий вплив на інтенсивність та тривалість гроз. Найбільш показовими рівнями нижньорівневої адвекції вологи для «запуску» гроз є рівні 975 та 925 гПа. Ініціалізація грозової діяльності через адвекцію вологи у граничному шарі атмосфери представлена на схемі, яка наочно її демонструє.

Важливо, що зазначений механізм може бути діагностований за прогностичними даними GFS і використаний для прогнозу інтенсивності та тривалості конвективних явищ.

Ключові слова: атмосферна конвекція, індекси нестійкості, нелокальна нестійкість, адвекція вологи, дані чисельного моделювання, грозова діяльність, тригерні механізми, тривалість гроз.

1. ВСТУП

Атмосферна конвекція є явищем погоди, якому завжди буде приділятися особлива увага дослідників. Причини цього неважко зрозуміти ознайомившись зі спектром потенційних наслідків, які зумовлюють конвективні явища. Надзвичайно широке коло споживачів, зацікавлених у завчасному надходженні інформації про такі явища як гроза, град, шквал, раптові підтоплення, торнадо, тощо, спонукає дослідників до пошуку нових, якомога ефективніших методів їх прогнозування.

Метою дослідження є ідентифікація окремих

тригерних механізмів конвекції і оцінка можливості їх використання в якості предикторів інтенсивної конвективної діяльності.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Варто зауважити, що цифри, що характеризують збитки від атмосферної конвекції, дійсно вражають. Наприклад, у 2017 році, збитки лише від граду на території США становили близько 1 мільярда доларів [1]. За даними NOAA, у 2011 році, який став рекордним за наслідками конвективної діяльності, загинуло більше 550 людей, а загальні збитки склали 28 міль-

ярдів доларів [2].

Територія України не є виключенням і також зазнає відчутних збитків внаслідок конвективної діяльності, проте систематизовані дані про них відсутні. Як правило, у повідомленнях в ЗМІ обмежуються констатацією наслідків негоди, зрідка наводиться приблизний обсяг збитків. У кості найбільш яскравих прикладів можна навести грозу 28.07.2016 року на Закарпатті, коли було пошкоджено майже 8 тисяч будинків, 14 закладів охорони здоров'я та 35 закладів освіти у 76 населених пунктах, постраждали 1200 гектарів сільськогосподарських угідь, зруйновані дороги місцевого значення. Загальна сума збитків становила близько 88 мільйонів гривень [3]. Заслужують на увагу наслідки потужного конвективного шторму 29.06.2018 р. на Дніпропетровщині, коли внаслідок грози були відімкнені від електропостачання 212 населених пунктів (з них частково 69), знеструмлені 1433 трансформаторних підстанцій, які обслуговували 66 тисяч абонентів. У цей же день на Волині зруйновано понад півсотні приватних будинків та 36 об'єктів інфраструктури. У Чернівецькій області вітер зніс дахи із двох десятків приватних будинків та 13 інфраструктурних об'єктів [4].

Наразі методика прогнозування конвективних явищ в Україні базується на використанні комплексного підходу, який полягає у прогнозі синоптичного положення, яке сприяє (або не сприяє) розвитку конвекції, використанні даних чисельного моделювання кількості конвективної хмарності та опадів і розрахунку обмеженої кількості параметрів конвекції. Головне джерело даних для понадкороткострокового прогнозу конвективних явищ – дані температурно-вітрового зондування – має відповідати просторово-часовому інтервалу конвекції, проте наявна мережа аерологічних станцій на території України та періодичність зондування не задовольняють цим вимогам. Дворазове (00 та 12 СГЧ) радіозондування атмосфери проводиться лише на ст. Київ (33345), а денне (на момент максимального розвитку конвекції), крім неї, ст. Кривий Ріг (33791) та Шепетівка (33317). Крім того, що це суттєво знижує точність прогнозування і унеможливорює обґрунтовану деталізацію прогнозу (зокрема, що стосується часу виникнення, інтенсивності та тривалості шторму), це, на додачу, породжує дефіцит даних, збір, аналіз та систематизація яких у оперативних метеопідрозділах мають проводитися постійно з метою адаптації наявних критеріальних значень кількісних показників атмосферної конвекції до конкретного

пункту. Застосування методів наукастингу, які, насамперед, базуються на даних радарних спостережень і супутникового моніторингу, має один суттєвий недолік – вони не забезпечують бажаної завчасності для споживача, що суттєво нівелює ефективність їх використання (наприклад, у комунальній сфері). Певні сподівання на Заході зараз покладаються на розвиток поляриметричних методів спостережень, які, як планується до кінця 20-х років цього століття, дозволять розширити спектр вирішуваних завдань (наприклад, розділяти області штормів за типами частинок) [5,6].

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Окреслене коло проблем актуалізує необхідність підвищення ефективності прогнозів конвективної діяльності над територією України навіть з урахуванням наявної інформації. У цьому сенсі ідентифікація прогностичних ознак, які «сигналізують» про можливість виникнення глибокої конвекції, є актуальним завданням.

Стосовно прогнозу конвекції важко виділити пріоритетні ознаки через досить широке коло процесів, які впливають на її розвиток і, найголовніше, на інтенсивність та тривалість. Завдання ускладнюється й тим, що зазначені процеси діють на різних часових інтервалах і просторових масштабах і можуть «просіюватися» стандартними методами спостережень. Саме тому, задача прогнозування конвективних явищ (особливо в умовах дефіциту даних) полягає у максимально точному врахуванні і параметризації тих процесів, які впливають на їх розвиток, а проведення аналізу цих процесів є можливим і ефективним.

Характеристика вихідних даних і «стартові умови». Для проведення дослідження залучались дані радіозондування атмосфери у пункті Київ (33345) за строки 00 та 12 СГЧ, Одеса (33837), Львів (33393), Кривий Ріг (33791) за строки 00 ГЧ за теплі періоди (з квітня по вересень включно) 2016-2018 рр. Крім них залучалися дані чисельного моделювання GFS для вузла RST з координатами 50,5° пн.ш., 30,5° сх.д.

Протягом вказаного періоду було відібрано 62 випадки утворення гроз над вказаним пунктом. Для кожного з них у дні з наявністю грози з використанням програмного забезпечення RAOB (The universal RAwinsonde-OBServation program. Універсальна програма спостереження за радіозондом) розраховувалися значення індексів CAPE і CIN для різних типів адіабатичного підйому частинки (*Surface Based CAPE*

(*SBCAPE*), *Mean - Layer CAPE (MLCAPE)* та *MostUnstable CAPE (MUCAPE)*).

При визначенні величин *CAPE* та *CIN* для *SB* типу підйому вплив інверсій не враховувався, оскільки у переважній більшості випадків радіаційні інверсії не чинять впливу на розвиток конвекції, внаслідок їх швидкої руйнації після сходу Сонця.

Для *ML* типу підйому кількісне значення товщини шару перемішування задавалося апріорі $ДН_{ML} = 30$ гПа, і для випадків зондування як за 00 СГЧ, так і 12 СГЧ не змінювалося. Це певним чином порушує «фізичність» процесу для радіозондування за 12 СГЧ, проте видається найоптимальнішим підходом з урахуванням факту утворення більшості випадків грози до зазначеного терміну.

Для реалізації *MU* типу підйому розглядався 300-мілібаровий шар від ізобари приземного тиску до рівня, на якому тиск зменшується на вказану величину. Підйом частинки і розрахунок значень *CAPE* і *CIN* здійснювався автоматично через кожні 10 мб.

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Згідно з загальноприйнятою технікою прогнозування конвективних явищ, після встановлення факту сприятливості синоптичної ситуації для розвитку конвекції, оцінюється тип стратифікації атмосфери, кількісним виразом якого є індекс *CAPE*. Враховуючи, що з семи наявних аерологічних станцій в Україні дворазове зонду-

вання атмосфери, як зазначалося вище, забезпечує лише ст. Київ, висновок про можливість ініціалізації конвекції у переважній більшості пунктів прогнозу формулюється на підставі даних зондування за 00 СГЧ.

На рис. 1 представлені діаграми залежності між індексами *CAPE* та *CIN* для трьох типів підйому частинки – *SB*, *ML* та *MU* для випадків утворення грози.

З них видно, що значення *CAPE* переважно знаходяться у межах діапазонів від 0 до 1500 Дж/кг для *SB* та *MU* типів підйому, від -100 до 1000 Дж/кг – для *ML* типу підйому. При цьому *CAPE* зі значеннями понад 2000 Дж/кг спостерігається лише у 6 % випадків.

Детальніший аналіз діапазону розсіювання *CAPE* (рис. 2) свідчить, що сумарна повторюваність градацій 0 - 1000 та 1000 - 2000 Дж/кг становить 92,9 % від загальної кількості випадків утворення гроз. На значення *CAPE* > 2000 Дж/кг припадає лише 7,0 % випадків (по 4,2 % та 2,8 % на градації 2000 - 3000 та 3000 - 4000 Дж/кг відповідно).

Аналогічний до *SB* типу підйому розподіл повторюваності (рис. 2) спостерігається і для *MU* типу підйому – майже 90,3 % випадків припадає на перші дві градації, що зумовлює певне збільшення повторюваності (до 6,9 %) градації 2000-3000 Дж/кг, що є цілком закономірним з огляду на алгоритм розрахунку *CAPE* для цього типу підйому частинки.

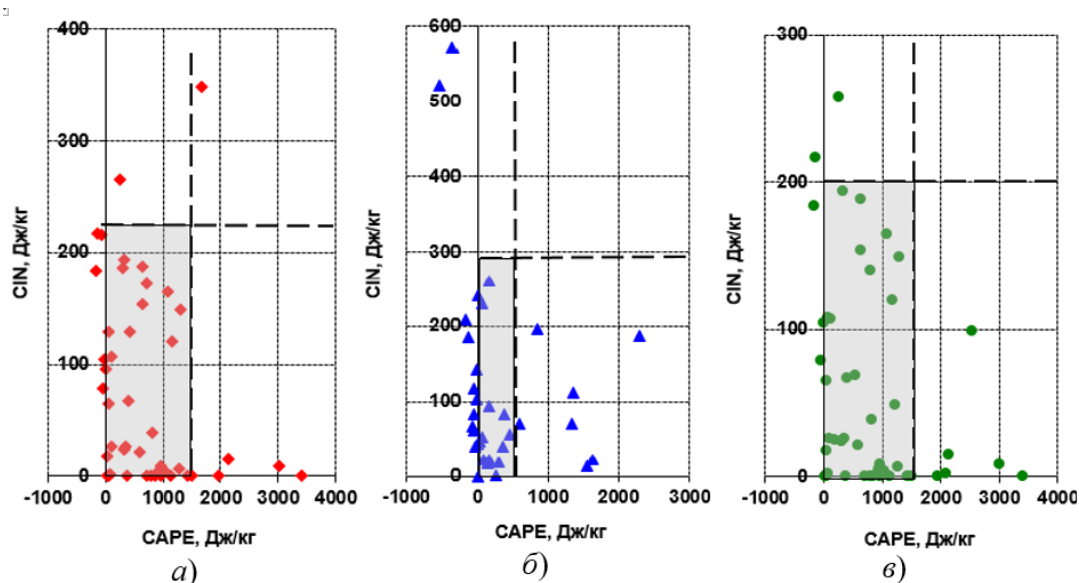


Рис. 1 – Діаграми залежності між індексами *CAPE* та *CIN* для *SB* (а), *ML* (б) та *MU* (в) типів підйому

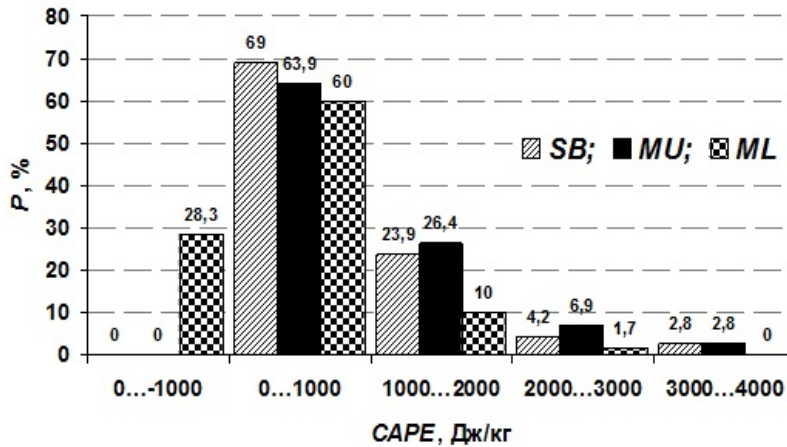


Рис. 2 – Повторюваність градацій *CAPE* для *SB*, *MU* та *ML* типів адиабатичного підйому частинки у випадках формування грози на ст. Київ, Одеса, Львів, Кривий Ріг за теплі періоди 2016 - 18 рр.

ML тип підйому (рис. 2 б) зумовлює виникнення діапазону *CAPE* з від’ємними значеннями, повторюваність якого становить 28,3 %. Формування цього діапазону значень відбувається за рахунок зникнення повторюваності діапазону 3000-4000 Дж/кг та суттєвого зменшення повторюваності двох інших діапазонів. Таким чином, врахування осереднених характеристик нижнього шару атмосфери, що збільшує, як зазначалося вище, «фізичність» процесу (особливо з урахуванням строків одержання даних), нашою висновком, що в період проведення зондування у переважній більшості випадків (88,3 % випадків) атмосфера не характеризується достатніми запасами енергії нестійкості для реалізації глибокої конвекції.

Для перших двох типів підйому повторюваність значень індексу *CAPE* < 1000 Дж/кг, які не свідчать про імовірність виникнення конвекції (або свідчать про можливість слабкої конвекції), коливається у межах 60-70 %.

Наведені цифри красномовно вказують на те, що прогноз інтенсивної конвективної діяльності на підставі кількісної оцінки енергії нестійкості за даними радіозондування мережі аерологічних станцій України у переважній більшості випадків забезпечить «помилку пропуску».

Таким чином, у прогнозі конвективних явищ мають враховуватися інші чинники, які збільшують запаси енергії нестійкості атмосфери на часовому проміжку від 6 до 12 годин і здатні «запустити» конвекцію.

У [6], застосовуючи поняття нелокальної умовної нестійкості (*NcI*), наголошується на необхідності врахування процесу, коли тепле вологе атмосферне повітря граничного шару обмежується шаром інверсії або стійко страти-

фікованого повітря, вище якого знаходиться відносно холодне, нестійке повітря.

Зазначений шар затримує тепле вологе повітря поблизу землі, що дозволяє накопичувати приховану теплову енергію, коли сонце нагріває підстильну поверхню та зумовлює випаровування. Без цієї «кришки» конвекція виводитиме тепле вологе повітря з граничного шару, без можливості накопичення достатньої енергії для виникнення грози.

«Нелокальність» полягає у тому, що повітря, розташоване нижче затримуючого шару, стає нестійким вище нього, а «умовність» – у можливості реалізації запасів *CAPE* шляхом руйнації затримуючого шару повітрям, яке піднімається, внаслідок певних процесів.

Найпоширенішою параметризацією зазначеної вище «кришки» є індекс *CIN*, градації якого ми визначимо наступним чином – 1-50; 50-100; 100-150; 150-200; 200-300; 300-400 та 400-600 Дж/кг. Крім цього, ми відокремимо випадки зі значенням *CIN* = 0, оскільки це унеможливило реалізацію процесу нелокальної умовної нестійкості.

З рис. 3 видно, що найбільшу повторюваність має діапазон значень від 1 до 50 гПа, що узгоджується з результатами, одержаними у роботах [7, 8]. Характерно, що на діапазони значень від 5 до 200 Дж/кг припадає 64,5 %, 69,7 та 78,3 % випадків для *SB*, *MU* та *ML* типів підйому відповідно. Це також узгоджується з даними, наведеними у роботі [7] і створює передумови для реалізації умовної нелокальної нестійкості. Зокрема, випадки зі значеннями *CIN* = 0 мають повторюваність по 26 % для *SB* та *ML* типів підйому, проте для *MU* типу його повторюваність складає лише близько 3 %.

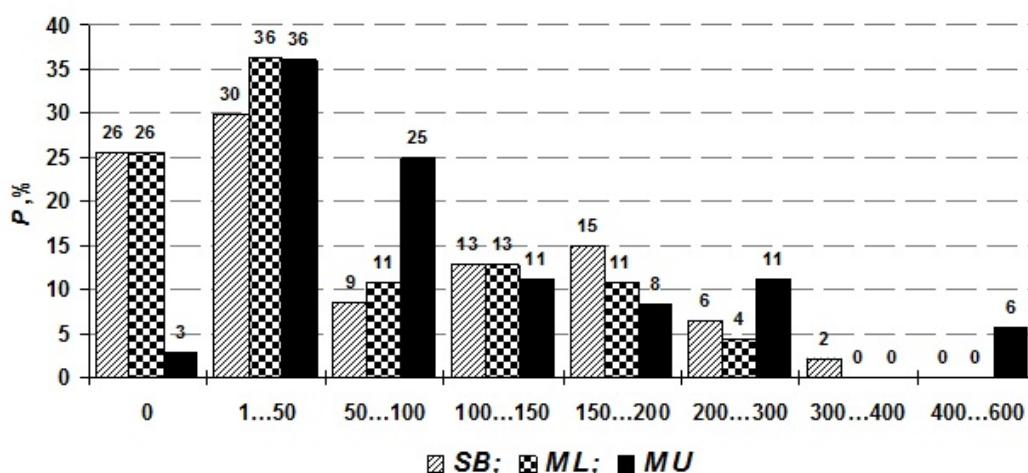


Рис. 3 – Повторюваність градацій CIN у випадках формування грози на ст. Київ

Це свідчить, що за результатами радіозондування значення індексу CIN, на відміну від значень CAPE, у більшості випадків дають уявлення про наявність потенціалу розвитку конвекції у дні з грозою.

Розглянемо механізм і часовий масштаб реалізації нелокальної умовної нестійкості для чого залучимо дані 4-разового протягом доби радіозондування атмосфери на ст. Штутгарт (10739) у день, коли спостерігалася злива з грозою. Для одержання кількісних значень індексів CAPE та CIN ML-тип підйому (DNML = 100 мб) застосовувався для строків 00 та 06 СГЧ, для двох наступних строків – 12 та 18 СГЧ – з метою врахування денного турбулентного перемішування в ГША застосовувався SB-тип підйому. Аналіз часової еволюції зазначених індексів (рис. 4) свідчить, що стійка стратифікація атмосфери з 00 до 06 СГЧ змінює знак, а протягом наступних 6 годин генерується «вибухова» конвекція з паралельною руйнацією затримуючого шару.

З аналізу цього процесу на аерологічній діаграмі (рис. 5) видно, що зменшення площі індексу CIN за 06 СГЧ (рис. 5 б) відбувається на фоні зменшення дефіцитів точки роси у ГША. Таким чином, можна припустити, що це, певною мірою, впливає на збільшення енергії нестійкості та руйнацію затримуючого шару оскільки температура та вологість повітря є визначальними складовими у формуванні конвективних явищ. Але їх «моментальна» оцінка за даними радіозондування у більшості випадків не буде показовою, оскільки не характеризуватиме тенденцію змін метеовеличин, що впливають на еволюцію конвекції.

Тому для коректнішої оцінки залучимо величину адвекції питомої вологи повітря, яку за

прогностичними даними GFS визначимо за формулою

$$A_f = - \left(u \frac{\delta q}{\delta x} + v \frac{\delta q}{\delta y} \right),$$

де u, v – складові швидкості вітру;

$\delta x, \delta y$ – крок РСТ по широті та довготі, $\delta x = 2,7 \cdot 10^{-4}$ м, $\delta y = 2,7 \cdot 10^{-4}$ м; q – питома вологість повітря, г/кг.

Зауважимо, що інтенсивне надходження вологи на нижніх рівнях є одним з тригерних механізмів конвекції, який дозволяє подолати теплоту і вологому повітрю шари з від'ємними значеннями енергії плавучості. Тому прогноз вертикальної структури і часового ходу адвекції вологи має виступати інформативним предиктором розвитку конвекції (особливо в період інтенсивного денного прогріву підстильної поверхні).

Для наочності залучимо дані трьох днів з грозою на ст. Київ 27. 07. 17 р., 28. 06. 16 р. та 30. 05. 17 р. Два перші випадки (рис. 6 а, б) характеризуються слабкою адвекцією вологи, третій – інтенсивним надходженням вологи до граничного шару атмосфери (рис. 6 в).

Для першого випадку за прогностичними даними GFS (рис. 6 а) представлений часовий хід адвекції питомої вологості повітря у граничному шарі атмосфери, коли за строки 14, 17 та 20 СГЧ відзначалася гроза. Їй передувала слабка адвекція вологи на рівнях 975 та 925 гПа ($\approx 0,05$ г/кг·с), яка в період грози спостерігалася на рівнях 1000 гПа ($\approx 0,3$ г/кг·с) та 925 гПа ($\approx 0,05$ г/кг·с). Вертикальні профілі адвекції вологи (рис. 6а) показують її додатні значення у шарі 990 - 925 гПа о 06 год. та о 18 год. на фіксованих рівнях – 1000 та 925 гПа.

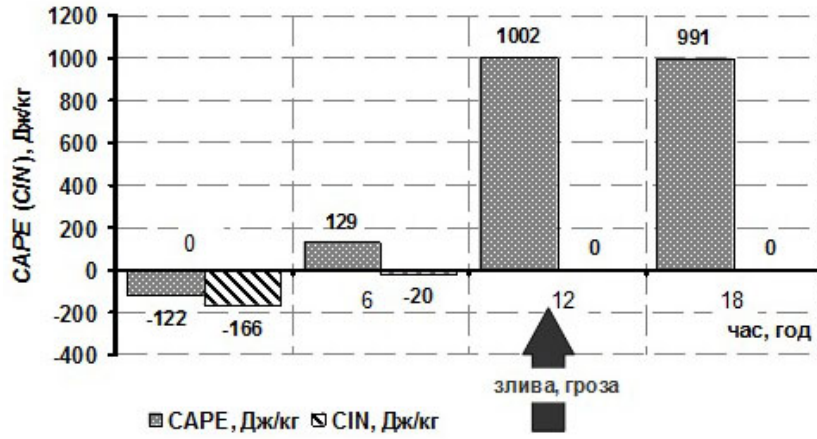


Рис. 4 – Часова еволюція індексів $CAPE$ та CIN за даними радіозондування атмосфери на ст. Штутгарт (10739) 12. 06. 2018 р. Стрілкою позначений час, коли спостерігалися зазначені на рисунку явища погоди.

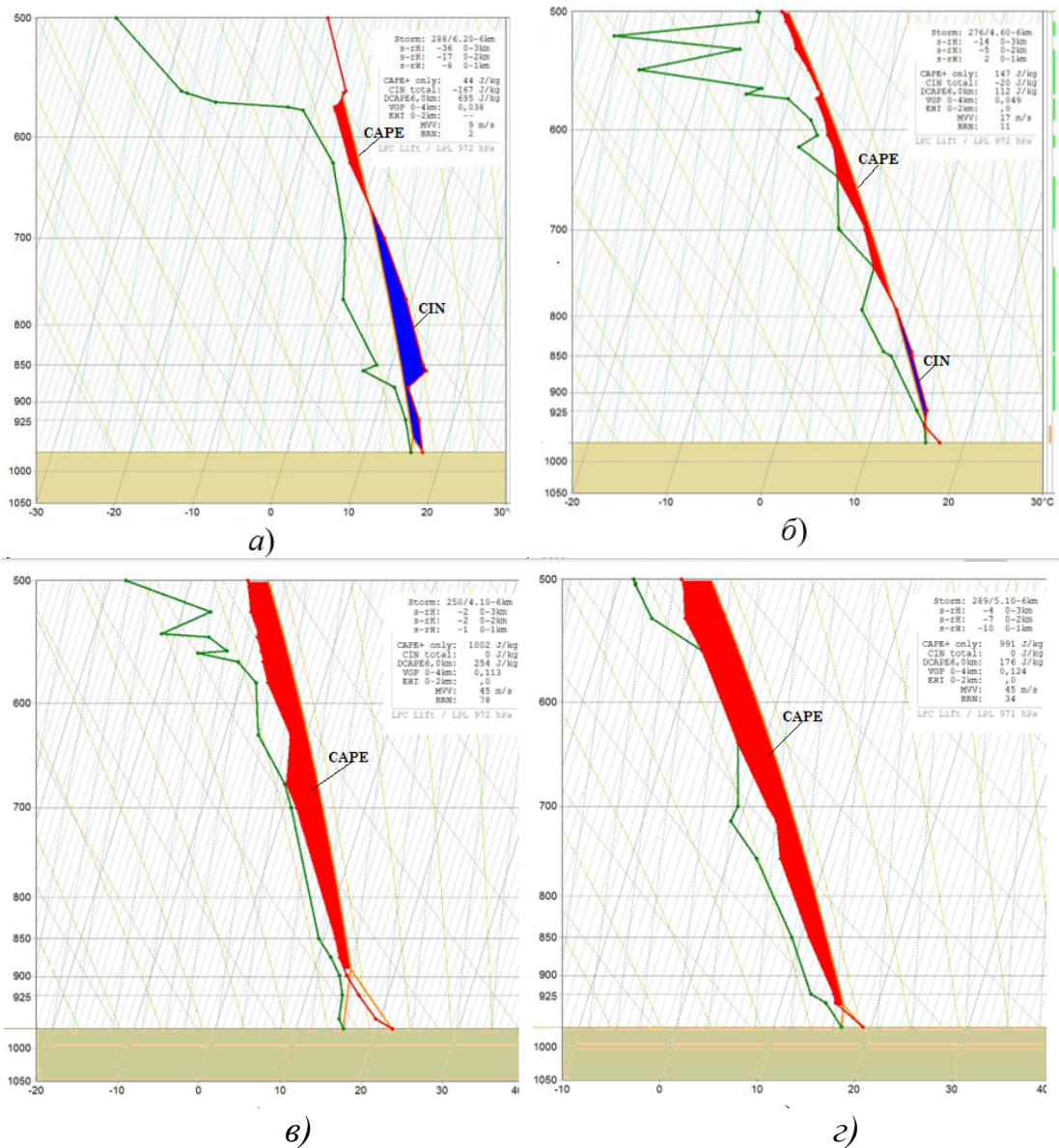
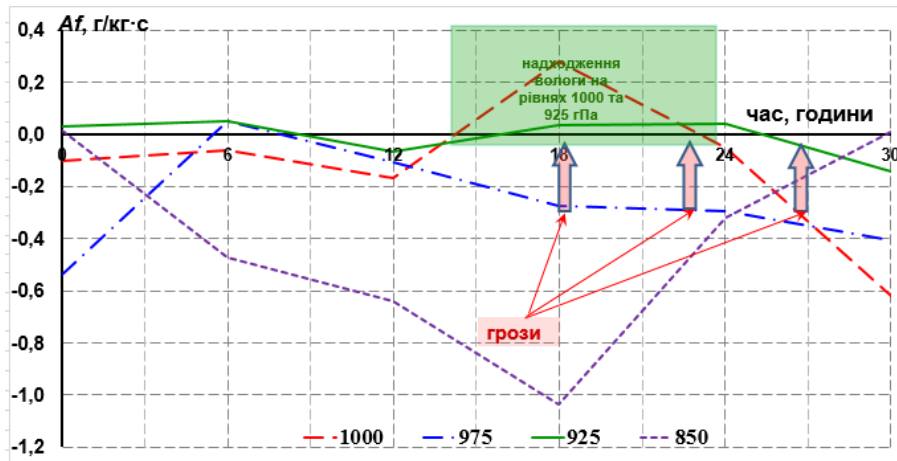
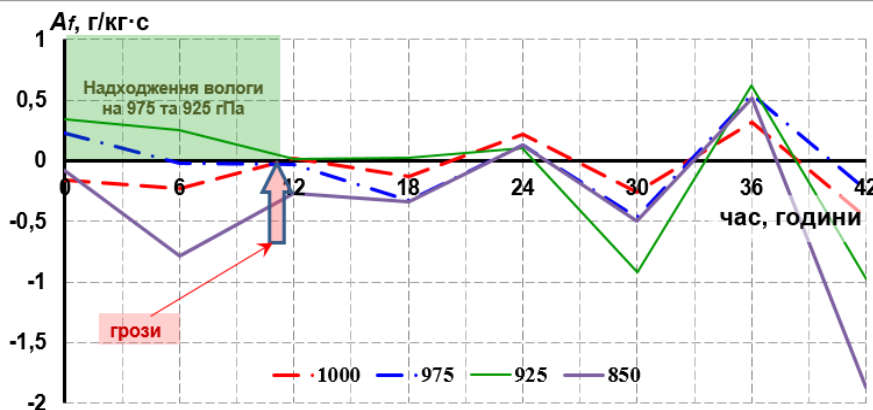


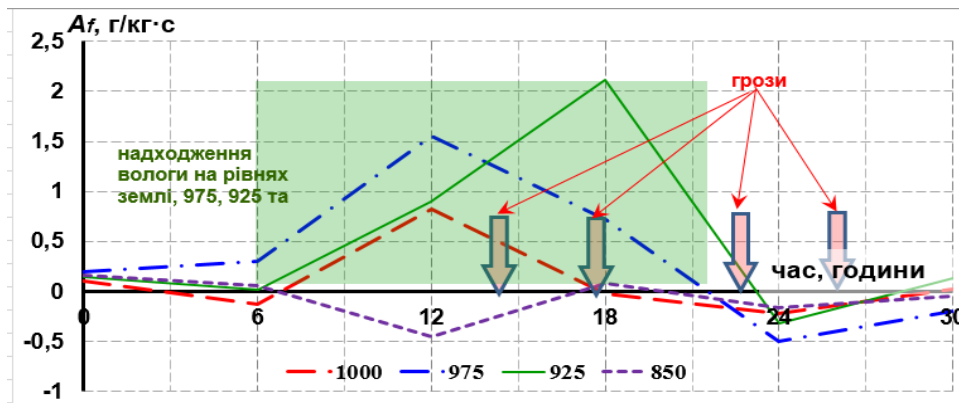
Рис. 5 – Графічне відображення індексів $CAPE$ та CIN у нижній половині тропосфери за даними радіозондування атмосфери на ст. Штутгарт (10739) 12. 06. 2018 р. за 00 (а), 06 (б), 12 (в) та 18 СГЧ (г).



а)



б)



в)

Рис. 6 – Часовий хід адвекції питомої вологи ($A \times 10^{-4}$ г/кг·с) за 27. 07. 2017 р. (а), 30. 05. 17 р. (б) та 28. 06. 16 р. (в) на станції Київ (за даними вузла РСТ з координатами 50,5° пн. ш 30,5° сх. д.)

Відмінною особливістю випадку є зміна знаку адвекції протягом 5 годин (з 09 по 14 год.) перед грозою, коли у всій товщі ГША спостерігалася від’ємні значення адвекції вологи.

Утворення грози 30. 05. 17 р. (рис.6 б) відбувалося в умовах ідентичних першому випадку – до початку грози спостерігалася слабка адвекція вологи на рівнях 975 та 925 гПа (від 0,1 до

0,34 г/кг·с), яка сприяла утворенню грози. На вертикальних профілях (рис. 6б) спостерігається адвекція вологи у шарі 990 - 860 гПа (за 00 СГЧ) та у шарі 975 - 910 гПа (за 06 СГЧ). При цьому зміна знаку адвекції зумовила короткочасність грози – грозові розряди мали разовий характер і у подальшому не повторювалися.

У третьому випадку (рис. 6 в) часовому ходу

адвекції вологості притаманні ті ж особливості, що й у попередніх випадках – слабка адвекція вологи у шарі 975-925 гПа перед утворенням грози та її посилення безпосередньо в час, коли вона спостерігалася. Відмінною рисою випадку є інтенсивність цієї адвекції (до 1,5-2,2 г/кг·с) у ГША та товщина шару охоплення (від землі до 925 гПа). Це зумовило збільшення тривалості періоду існування грозової діяльності і посилення її інтенсивності.

Таким чином, для розглянутих випадків спільним фактором утворення грози є наявність адвекції вологи у ГША. Схематично цей процес можна відобразити так, як це зроблено на рис. 7. Тобто, реалізація «умовної нелокальної нестійкості» відбувається на фоні адвекції вологи у ГША (поблизу рівня 925 гПа), яка спрацьовує як тригерний механізм утворення грози.

5. ВИСНОВКИ

При реалізації тригерного механізму грози через нижньорівневу адвекцію вологи її надходження до ГША може спостерігатися як до початку грози (протягом періоду від 6 до 12 годин), так і в період грозової діяльності, що впливає на її тривалість. При цьому часовий масштаб руйнації затримуючого шару (CIN) становить близько 6 годин, тобто є процесом одного часового масштабу.

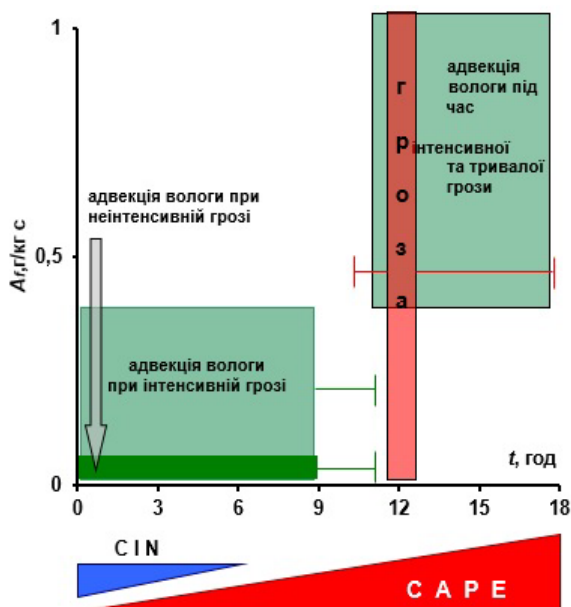


Рис. 7 – Схема утворення грози при адвекції вологи нижніх рівнів.

На осі ординат позначений час від проведення радіозондування атмосфери у 00 СГЧ. «Вуса» позначають діапазон змін тривалості адвекції вологи та грози.

Необхідною умовою утворення грози в усіх розглянутих випадках є надходження вологи приблизно на висоті рівня конденсації (*LCL*), що підтверджується її часовими змінами на рівні 925 гПа.

Інтенсивність адвекції вологи є визначальним чинником інтенсивності грози. Тривалі і інтенсивні грози відбуваються на фоні нижньорівневої адвекції вологи, інтенсивність якої у 2 - 2,5 рази перевершує аналогічний показник при слабких грозах. В розглянутих випадках припинення адвекції вологи зумовлює закінчення грозової діяльності.

При прогнозі можливості утворення грози доцільно враховувати інтенсивність та тривалість адвекції вологи у ГША – її наявність протягом 6 - 12 годин перед прогріванням підстильної поверхні є ознакою збільшення імовірності грозової діяльності, а продовження після 12 СГЧ – ознакою збільшення тривалості грози. Використання її прогностичних даних у ГША дозволить істотно підвищити точність і обґрунтованість прогнозу конвективних явищ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. What Kind of Damage Do Thunderstorms Cause? Sciencing. URL: <https://sciencing.com/kind-damage-do-thunderstorms-cause-7462714.html>. (Accessed: 09.05.2019)
2. Severe Thunderstorms and Tornadoes in the United States. December 2, 2008. May 22, 2013. R40097. URL: <https://www.everycrsreport.com/reports/R40097.html> (Accessed: 12. 10. 2019 p.).
3. Наслідки страшної грози на Закарпатті: Майже 8 тисяч пошкоджених будинків та 88 мільйонів збитків. URL: <http://uzhgorod.net.ua/news/97640>. (дата звернення: 24. 12. 2019 p.).
4. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2018 році. URL: <https://www.dsns.gov.ua/files/2019/1/18/321/%D0%9F%D1%83%D0%B1%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202018%20%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf>. (дата звернення: 08. 07. 2019 p.).
5. Enrique V. Mattos, Luiz. T. Machado, Earle R. Williams, Rachel I. Albrecht. Polarimetric radar characteristics of storms with and without lightning activity. *Advancing Earth and space science publications. JGR Atmospheres*. Online ISSN: 2169 - 8996. 2016. Vol. 125. Pp. 201 - 220. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025142>.
6. Vera Meyer. Thunderstorm Tracking and Monitoring on the Basis of Three-Dimensional Lightning Data and Conventional and Polarimetric Radar Data. 2010. p. 30-37. URL: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/12102/1/Meyer_Vera.pdf. (Accessed: 29. 01. 2020)
7. Stull R. Practical Meteorology : An algebra-based survey of atmospheric science. University of British Columbia, 2016.
8. Про можливості діагнозу і прогнозу глибокої конвекції у оперативній діяльності / Грушевський О. М., Міцен-

ко Н. М., Мансарлійський В. Ф. та ін. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2018. № 22. С. 5 - 15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.01>

REFERENCES

1. *What Kind of Damage Do Thunderstorms Cause? Sciencing*. Available at: <https://sciencing.com/kind-damage-do-thunderstorms-cause-7462714.html>. (Accessed: 09.05.2019)
2. *Severe Thunderstorms and Tornadoes in the United States. December 2, 2008. May 22, 2013. R40097*. Available at: <https://www.everycrsreport.com/reports/R40097.html> (Accessed: 12. 10. 2019 p.).
3. *Naslidky strashnoi hrozy na Zakarpatti: Maizhe 8 tysiach poskodzhenykh budynkiv ta 88 milioniv zbytkiv [Consequences of a terrible thunderstorm in Transcarpathia: Nearly 8,000 damaged homes and 88 million damage]*. Available at: <http://uzhgorod.net.ua/news/97640>. (Accessed: 24. 12. 2019). (in Ukr.)
4. *Zvit pro osnovni rezultaty diialnosti Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii u 2018 rotsi [Report on the Main Results of the State Emergency Service of Ukraine in 2018]*. Available at: <https://www.dsns.gov.ua/files/2019/1/18/321/%D0%9F%D1%83%D0%B1%D0%BB%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202018%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf>. (Accessed: 08. 07. 2019). (in Ukr.)
5. Enrique V., Mattos, Luiz A.T., Machado, Earle R., Williams, Rachel I., Albrecht. (2016). Polarimetric radar characteristics of storms with and without lightning activity. *Advancing Earth and space science publications. JGR Atmospheres*. Online ISSN: 2169 – 8996, 125, pp. 201 - 220. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JD025142>.
6. Vera, Meyer. (2010). *Thunderstorm Tracking and Monitoring on the Basis of Three-Dimensional Lightning Data and Conventional and Polarimetric Radar Data*, pp. 30-37. Available at: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/12102/1/Meyer_Vera.pdf. (Accessed: 29. 01. 2020).
7. Stull, R. (2016). *Practical Meteorology: An algebra-based survey of atmospheric science*. University of British Columbia.
8. Hrushevskiy, O.M. et al. (2018). On the structure of the dynamic features of the lower layer of the atmosphere in the presence of low cloudiness. *Український гідрометеорологічний журнал [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 22, pp. 5-15. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.01> (in Ukr.)

LOW-LEVEL MOISTURE ADVECTION AS A TRIGGER MECHANISM FOR ATMOSPHERIC CONVECTION AND A PREDICTOR OF ITS FORECAST

N.M. Mishchenko, Y.L. Panova., O.M. Hrushevskiy

Odessa State Environmental University, 15,
Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, natalimishchenko@gmail.com

The convective phenomena forecast in the operational practice of meteorological units is made on the basis of radiosonde data for 00 and 12 GMT allowing to obtain a number of quantitative characteristics of atmospheric convection. Particularly, the frequency analysis of different gradations of CAPE (Convective Available Potential Energy) index for the cases of thunderstorms, the one that is most commonly used for the forecast of convective phenomena, shows that the highest frequencies are associated with the gradations that do not provide sufficient grounds for the forecast of convective phenomena availability. This approach is of low efficiency due to the inability of tracking the dynamics of changes in the meteorological values' structure across the convection layer. In contrast to the distribution of CAPE index gradation frequencies, the frequency analysis of CIN (Convective Inhibition) index for the cases of thunderstorms shows that its largest values fall within the range characterizing the favourable conditions for convective phenomena. Thus, according to the radiosonde data in 00 GMT, CIN index has a greater predictive significance than CAPE index.

The possibility of increasing the lability energy magnitude after 00 GMT during thunderstorms formation was demonstrated on the basis of radiosonde data with 6-hour interval. This actualizes the need for diagnosis and forecast of the processes contributing to such growth. The article describes the way in which radiosonde data may be combined with the numerical simulation data in order to forecast deep convection. In particular, it shows that such trigger mechanism, a low-level moisture advection, contributes to realization of nonlocal conditional instability of atmosphere Ncl.

In the reviewed cases, the moisture advection in the atmospheric boundary layer either precedes or accompanies the thunderstorm activity. The intensity of moisture advection and its duration have a direct impact on the intensity and duration of thunderstorms. The most prominent levels of low-level moisture advection to “start” the thunderstorm are 975 and 925 hPa levels. The initialization of thunderstorm activity through moisture advection in the atmospheric boundary layer is shown on the diagram clearly demonstrating it.

It is important that this mechanism can be diagnosed based on GFS predicted data and used to

forecast the intensity and duration of convective phenomena.

Key words: atmospheric convection, instability indexes, nonlocal instability, moisture advection, numerical simulation data, thunderstorm activity, trigger mechanisms, duration of thunderstorms.

НИЖНЕУРОВЕННАЯ АДВЕКЦИЯ ВЛАГИ КАК ТРИГГЕРНЫЙ МЕХАНИЗМ АТМОСФЕРНОЙ КОНВЕКЦИИ И ПРЕДИКТОР ЕЕ ПРОГНОЗА

Мищенко Н. М., Панова Я. Л., Грушевский О. Н.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natalimishchenko@gmail.com*

Прогноз конвективных явлений в оперативной практике метеоподразделений осуществляется на основе данных радиозондирования атмосферы за 00 и 12 СГВ, которые позволяют получить ряд количественных характеристик атмосферной конвекции. При этом, как показано, такой подход имеет низкую эффективность из-за невозможности отслеживания динамики изменений структуры метеовеличин в слое конвекции. Это обусловлено, в первую очередь, временной дискретностью исходных данных. Величина индекса CAPE, являющегося основополагающим при прогнозировании конвективных явлений в оперативных метеоподразделениях, может претерпевать существенные изменения в период между сроками зондирования атмосферы. Такие изменения могут быть диагностированы или спрогнозированы либо за счет проведения учащенных радиозондирований атмосферы, либо с использованием прогностических данных.

В представленной статье рассмотрен способ объединения данных радиозондирования с данными численного моделирования для прогноза глубокой конвекции. На основании данных учащенного зондирования атмосферы в дни с грозовой деятельностью показано, что временной масштаб реализации условной нелокальной неустойчивости составляет несколько часов. Одним из механизмов «запуска» конвекции является адвекция влаги в пограничном слое атмосферы. В частности, в рамках предложенного подхода продемонстрировано, что этот тригерный механизм может быть диагностирован и использован для прогноза интенсивности и продолжительности конвективных явлений. В рассмотренных случаях продолжительность гроз была напрямую связана с продолжительностью грозовой деятельности. Структура прогностических данных, использовавшихся в исследовании, позволяет с приемлемой заблаговременностью спрогнозировать возможность реализации такого триггерного механизма глубокой конвекции, что существенно повышает эффективность прогноза конвективных явлений в оперативной деятельности.

Ключевые слова: атмосферная конвекция, индексы неустойчивости, нелокальная неустойчивость, адвекция влаги, данные численного моделирования, грозовая активность, тригерные механизмы, продолжительность гроз.

Подання до редакції : 02. 03. 2020

Надходження остаточної версії : 18. 05. 2020

Публікація статті : 03. 07. 2020