

УДК:551.509:551.558.1

ПРО МОЖЛИВОСТІ ДІАГНОЗУ І ПРОГНОЗУ ГЛИБОКОЇ КОНВЕКЦІЇ В ОПЕРАТИВНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

О. М. Грушевський¹, Н. М. Міщенко¹,
В. Ф. Мансарлійський¹, В. М. Бурцева²

¹Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, minatami@ukr.net

²АМСЦ, Кривий Ріг, вул. Отто Брозовського, 83, Кривий Ріг, Дніпропетровська, 50086, ukdr@i.ua

На прикладі розвитку конвективного шторму в липні 2017 року у м. Кривий Ріг розглядається структура кількісних характеристик атмосфери при глибокій конвекції та пропонуються підходи до прогнозування інтенсивних конвективних явищ.

Аналіз параметрів конвекції для різних типів апроксимації підйому повітряної частинки дав змогу врахувати характеристики шару перемішування і його вплив на формування найбільш сприятливих для конвекції умов.

Залучення прогностичних даних чисельного моделювання дозволяє визначити напрямок розвитку процесу з необхідною завчасністю. За прогностичними даними профілю вітру, інтенсивності адвекції температури та питомої вологи повітря визначена тенденція змін чинників, що зумовлюють збільшення інтенсивності конвекції та її глибини.

Ключові слова: конвекція, параметри конвекції, індекси нестійкості, конвективні явища, апроксимація, підйом частинки.

ВСТУП

Прогноз конвективних явищ, які у переважній більшості є небезпечними для різних галузей економіки, у тому числі авіаційних перевезень, завжди привертая особливу увагу дослідників. Це зумовлено, насамперед, тим, що з ними пов'язані найбільші збитки, які зумовлюються погодними умовами.

Зупинимося на головних особливостях прогнозу конвективних явищ у оперативній діяльності. Загальновідомо, що вони ґрунтуються на прогнозуванні сприятливих для конвекції умов, які на цей час вивчені досить добре. Проте при прогнозуванні конвективних явищ підсіточного масштабу (шквали, мікропориви, смерчі) синоптик відчуває труднощі через те, що всі загально-вживані методики не дають відповіді де і коли саме виникне конвективне явище. Проблема вирішується за допомогою радіолокаційних спостережень, проте питання забезпеченості радіолокаторами оперативних метеопідрозділів і прийнятної для споживача завчасності попередження (для прикладу, американська метеослужба за останні 10 років досягла збільшення завчасності попередження смерчу з 6 до 15 хвилин) залишаються відкритими.

Вести мову про прямі ефективні методи прогнозування конвективних явищ підсіточного масштабу у вітчизняній оперативній практиці

поки що передчасно. Саме тому, будь-яке розширення можливостей прогнозування умов, сприятливих для розвитку глибокої конвекції, є досить затребуваним у оперативних метеопідрозділах.

Метою цього дослідження є обґрунтування методики ідентифікації та прогнозування метеорологічних умов, які «сигналізують» про високий потенціал розвитку конвективних явищ, що зумовлюють руйнівні наслідки.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

На цей час існує значна кількість методів прогнозу кожного з явищ, зумовлених конвекцією [1-5]. Суттєві успіхи у цьому напрямку досягнуто і у чисельному моделюванні конвекції та її складових, де існує різноманіття схем параметризації, що входять до атмосферних моделей (наприклад, схеми Аракави-Шуберта, Каїна-Фрітша, ансамбль Грела-Девені, ансамбль Грела 3D тощо).

Кожен з цих методів і схем, цілком природно, має свої переваги і недоліки, проте, розглядаючи ефективність їх використання у оперативній практиці головну увагу, насамперед, необхідно приділити таким факторам як доступність вихідних даних, наявність необхідного обладнання для ведення розрахунків та ефективність їх результатів у створенні кінцевого формулювання

прогнозу з необхідною для споживача завчасністю.

Протягом останнього десятиліття у оперативній практиці закордонних метеослужб і наукових установ, наприклад [4, 6], набуло поширення використання кількісних характеристик конвекції (температурно-вологісних параметрів, індексів зсуву, стандартних рівнів конвекції та розширених параметрів), які, у переважній більшості випадків, є емпіричними [2]. Їх критеріальні значення помітно варіюються у різних джерелах і спеціалізованих програмних забезпеченнях (наприклад, RAOB, SHARPr), що вносить певні непорозуміння у методику формулювання прогнозу. У вітчизняній оперативній практиці досвід застосування зазначених кількісних характеристик та нових методик досить обмежений через вкрай низькі темпи впровадження відповідного програмного забезпечення, верифікації і адаптації критеріальних значень параметрів, тому будь-який досвід у цьому напрямку для території України (особливо для прогнозування погодних явищ, які спричиняють матеріальні збитки) є актуальною задачею.

ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

В якості вихідних даних використовувалися карти приземного аналізу та баричної топографії за 00 та 12 UTC 28.07.2017 р., дані чисельного моделювання (GFS) з просторовим розділенням $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, дані радіозондування за 12 UTC 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг.

Перед розглядом причин, що зумовили виникнення низки конвективних явищ і часткові помилки в прогнозі зазначимо, що важливим моментом аналізу будуть не лише висновки з того спектру метеорологічної інформації, яка є доступною у оперативній роботі вітчизняних метеопідрозділів, а й низки параметрів конвекції при різних схемах її апроксимації, які широко застосовуються у метеослужбах країн Євросоюзу та США.

Погодні умови пункту прогнозу у другій половині дня 28.07.17 зумовлювалися впливом теплового сектору циклону з мінімальним тиском над центром України, який рухався з південного сходу на північний захід. Характерною особливістю синоптичної ситуації є наявність у теплому секторі циклону осередків злив, які синоптики традиційно (хоча і неправильно) пояснюють наявністю фронту оклюзії. В період з 12.00 до 15.20 год. за місцевим часом на ст. Кривий Ріг відзначалися гроза та злива, а у Долгинцевському районі міста градом та проходженням смерчу

на 16 вулицях було пошкоджено дахи 81 житлового будинку та 12 господарчих споруд, газопровод та лінії електропередач, повалено 35 дерев, залишилися без електропостачання 22 населених пункти районів міста [7].

Аналіз можливості розвитку конвекції та пов'язаних з нею явищ починається з оцінки синоптиком типу стратифікації атмосфери, який, як впливає з рис. 1, був нестійким. Зауважимо, що перевагою прогнозиста у цьому випадку була наявність зондування за 12 UTC, коли поточний стан атмосфери точніше відображує потенціал розвитку конвекції.

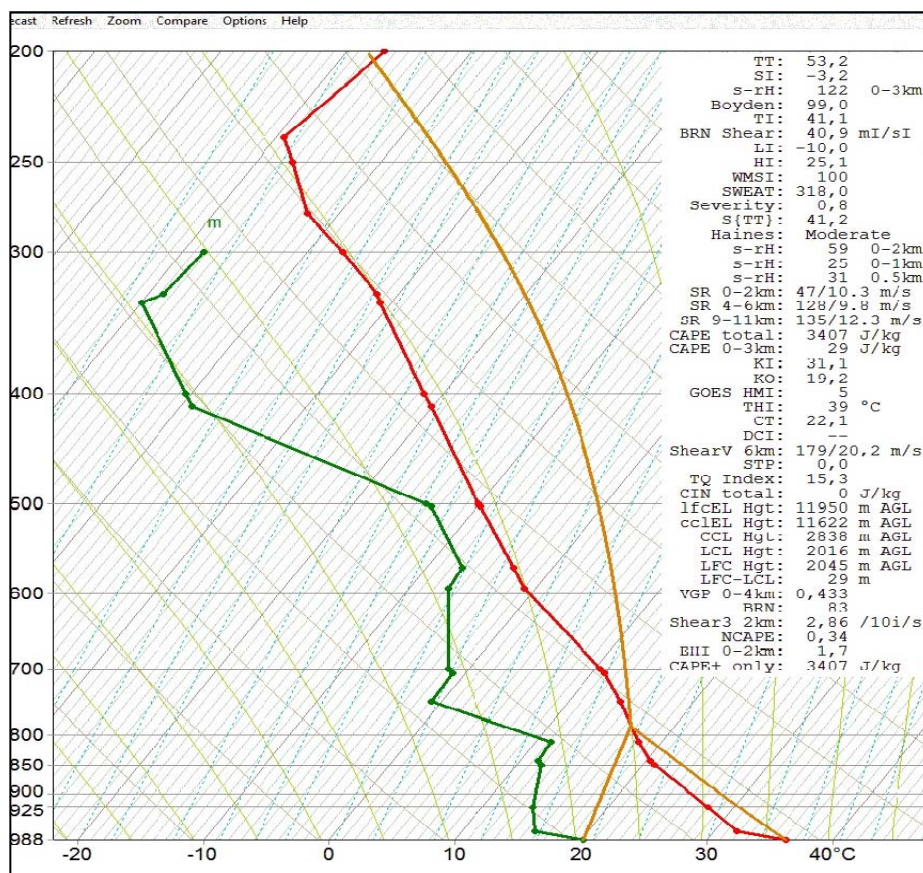
Отже, нестійка стратифікація зі значною площею енергії нестійкості при значенні $CAPE = 3407$ Дж/кг за даними АРМ синоптика та значенням $KI = 31,1$ дають підстави прогнозувати такі явища як гроза та злива, навіть незважаючи на значні дефіцити вологи у шарі конвекції (за винятком прошарку між рівнями 600 та 500 гПа).

Зазначимо, що те значення *Convective Available Potential Energy* (скорочено *CAPE*), яке надходить у АРМ синоптика, має відношення до так званого *Surface Based CAPE* (скорочено *SBCAPE*), коли вважається, що значення температури повітря і температури точки роси біля поверхні землі обираються у якості вихідних характеристик для частинки, що буде підійматися до рівня конвекції. Або, якщо вужче, *SBCAPE* – це *CAPE*, який одержується, якщо зазначена частинка саме те, що втягується у висхідний потік.

Проте з оперативної практики добре відомо, що початкові характеристики частинки (особливо у денні години) будуть реалістичнішими, коли вони осереднені у нижньому, найбільш перемішаному шарі, глибина якого коливається у часі і просторі. Таке осереднення робить нашу апроксимацію більш «фізичною», через те, що характеристики частинки будуть змінюватися разом з її проходженням через граничний шар атмосфери. Ця апроксимація підйому частинки реалізується через розрахунок *Mean-Layer CAPE (MLCAPE)* та низки інших кількісних характеристик конвекції, які від нього залежать. Зазначений підхід зумовлює зменшення *SBCAPE* та певну зміну решти характеристик (наприклад, *LCL (Lifted Condensation Level)*, *LFC (Level of Free Convection)*, *LCL-LFC*, *CIN (Convective Inhibition)*, *LI (Lifted Index)*, *TI (Thompson Index)*), але дозволяє досягнути осереднення метеовеличин по глибині граничного шару, моделюючи таким чином ефекти втягування. Отже, з урахуванням денного прогріву,

часу утворення смерчу та низки інших конвективних явищ у післяполуденні години ми у подальших викладках порівнюватимемо кількісні характеристики конвекції при двох (*SB* та *ML*)

типах підйому, зважаючи на те, що застосування наближення *MostUnstable (MU)* у цьому випадку є тотожним *SB* (табл. 1).



a)

| Level | Pres (mb) | CAPE (layer) | CAPE (total) | Meters (AGL) | Meters (MSL) |
|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 988 | 0.0 | 0 | 0 | 100 |
| 2 | 950 | 0.0 | 0 | 353 | 453 |
| 3 | 900 | 0.0 | 0 | 831 | 931 |
| 4 | 850 | 0.0 | 0 | 1333 | 1433 |
| 5 | 800 | 0.0 | 0 | 1854 | 1954 |
| 6 | 750 | 3.6 | 4 | 2404 | 2504 |
| 7 | 700 | 24.6 | 28 | 2983 | 3083 |
| 8 | 650 | 68.3 | 96 | 3588 | 3688 |
| 9 | 600 | 129.6 | 226 | 4241 | 4341 |
| 10 | 550 | 191.3 | 417 | 4931 | 5031 |
| 11 | 500 | 243.0 | 660 | 5677 | 5777 |
| 12 | 450 | 303.4 | 964 | 6474 | 6574 |
| 13 | 400 | 368.1 | 1332 | 7360 | 7460 |
| 14 | 350 | 441.6 | 1774 | 8326 | 8426 |
| 15 | 300 | 529.5 | 2303 | 9417 | 9517 |
| 16 | 250 | 681.7 | 2985 | 10616 | 10716 |
| 17 | 200 | 422.2 | 3407 | 12037 | 12137 |
| 18 | 150 | 0.0 | 3407 | 13862 | 13962 |
| 19 | 100 | 0.0 | 3407 | 16433 | 16533 |

b)

Рис. 1 – Аерологічна діаграма (a) та лістинг індексу CAPE (б) за 12 UTC 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг (33791)

Таблиця 1 – Параметри конвекції, індекси нестійкості та стандартні рівні конвекції, розраховані у апроксимаціях *SBCAPE*, *MUCAPE* та *MLCAPE* (програме забезпечення RAOB) за 12 UTC 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг (33791)

| Significant Indices & Parameter Comparisons | | | | |
|---------------------------------------------|-----------|-------------------------|------------|--------|
| ----- | | | | |
| Lift type = LFC | | Virtual correction = no | | |
| ===== | | | | |
| | SB | MU | ML | |
| | SFC-Based | Most-Unstable | Mean-Layer | |
| | 988 mb | 988 mb | 938 mb | |
| ===== | | | | |
| CAPE Plus(+) | 3407 | 3407 | 1196 | J/kg |
| CAPE 0-3km | 29 | 29 | 0 | J/kg |
| CIN Total | 0 | 0 | -142 | J/kg |
| NCAPE | 0,34* | 0,34* | 0,16* | |
| LI | -10* | -10* | -4 | |
| TI | 41,1* | 41,1* | 35,1* | |
| DCI | 0 | 0 | 0 | |
| BRN | 83 | 83 | 29 | |
| MVV | 83 | 83 | 49 | m/s |
| EHI 0-2km | 1,7 | 1,7 | 0,6 | |
| VGP 0-4km | 0,433 | 0,433 | 0,257 | |
| Craven 0-6km | - | - | 24 | |
| EL(lfc) Hgt | 11950 | 11950 | 11167 | m, AGL |
| LFC Hgt | 2045* | 2045* | 3551 | m, AGL |
| LCL Hgt | 2016 | 2016 | 2281 | m, AGL |
| LFC-LCL | 29* | 29* | 1269 | m |

* indicates that data meets 'high' threshold values, if they exist in the Severe Weather Parameter Table (F12).

Результати розрахунку параметрів (ця ж таблиця), які залежать від типу підйому, у переважній більшості сигналізують нам про небезпеку утворення конвективних явищ (особливо при *SB* підйомі). Це підтверджується розрахунком повного переліку параметрів конвекції для *SB* наближення, де 24 з 49 параметрів вказують на сильний потенціал розвитку конвекції (табл. 2а).

Урахування часу утворення смерчу та інших конвективних явищ, як зазначалося вище, спонукає нас до аналізу параметрів конвекції для *ML* типу підйому, оскільки використання розглянутої вище апроксимації є доцільним для незбуреного («мілкого») граничного шару атмосфери і збільшує імовірність помилки «хибної тривоги».

Головним нюансом коректного застосування *ML* типу апроксимації підйому частинки є визначення товщини шару перемішування ΔH_{ML} від якого суттєво залежить подальший

розрахунок низки інших характеристик.

У табл. 2б наведені дані розрахунку при $\Delta H_{ML} = 100$ гПа, які враховують середні температурно-вологісні характеристики нижнього 100 - гектопаскального шару. Їх аналіз не дає змоги остаточно прийняти рішення про розвиток максимально інтенсивного конвективного шторму, оскільки на сильний потенціал конвекції вказують лише 16 з 48 параметрів.

Звернемо увагу на інший, принциповий для розвитку глибокої конвекції момент. Значення глибини шару змішування 100 гПа відповідає значенню $CIN \approx 140$ Дж/кг, що повністю унеможливорює її розвиток. Зважаючи на те, що наше завдання є більш вузьким і детальним – визначити маркери, які б вказували нам на імовірність виникнення смерчу, факт наявності якого ми знаємо *aposteriori*, застосуємо обернений підхід.

Таблиця 2 – Параметри конвекції за даними радіозондування 28.07.2017 р. 12 UTC на ст. Кривий Ріг (33791) для *SB* (а) та *ML* (б) при $\Delta H_{ML} = 100$ мб типів підйому.

а)

б)

| Parameter | Weak | Moderate | Strong | Parameter | Weak | Moderate | Strong |
|---------------------------------------------|-------|----------|--------|---------------------------------------------|-------|----------|--------|
| 200 mb Wind Speed (kt) | | 62 | | 200 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:180 | | 62 | |
| 500 mb Wind Speed (kt) | | | 52 | 500 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:165 | | | 52 |
| 700 mb Wind Speed (kt) | | | 39 | 700 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:135 | | | 39 |
| 700 mb Dewpoint Depression (C) | | | 12,0 | 700 mb Dewpoint Depression (C) | | | 12,0 |
| 850 mb Wind Speed (kt) | 19 | | | 850 mb Wind Speed (kt) (0+360) Dir:135 | 19 | | |
| 850 mb Dewpoint (C) | | 12,0 | | 850 mb Dewpoint (C) | | 12,0 | |
| 700 - 500 mb lapse rate (C/km) | | -7,6 | | 700 - 500 mb lapse rate (C/km) | | -7,6 | |
| Boydex Index | | 97,9 | | Boydex Index | | 99,0 | |
| BRN - Bulk Richardson No. | | | 83 | BRN - Bulk Richardson No. | | | 29 |
| BRN Shear (m ² /s ²) | | | 40,9 | BRN Shear (m ² /s ²) | | | 40,9 |
| CAP Strength | | | 0,1 | CAP Strength | 3,4 | | |
| CAPE 0-3 km, AGL | 29 | | | CAPE 0-3 km, AGL | 0 | | |
| CAPE Total | | | 3407 | CAPE Total | | 1054 | |
| Craven SigSvr Parameter (mixed-layer lift) | | 24 | | Craven SigSvr Parameter (mixed-layer lift) | | 24 | |
| CT - Cross Totals | | 22,1 | | CT - Cross Totals | | 22,1 | |
| DCAPE 6,0 km, AGL | | | 1258 | DCAPE 6,0 km, AGL | | | 1258 |
| Delta Theta-e (ePT) | | | 29,4 | Delta Theta-e (ePT) | | | 29,4 |
| EHI - Energy Helicity Index | 1,7 | | | EHI - Energy Helicity Index | 0,6 | | |
| GOES HMI (Hybrid Microburst Index) | 5 | | | GOES HMI (Hybrid Microburst Index) | 5 | | |
| Hail (cm) | | | 0,64 | Hail (cm) | | | 0,64 |
| Heat Burst Index | 189 | | | Heat Burst Index | 476 | | |
| HI - Humidity Index | | | 25,1 | HI - Humidity Index | | | 25,1 |
| JI - Jefferson Index | | 30 | | JI - Jefferson Index | | 30 | |
| K Index | | 31,1 | | K Index | | 31,1 | |
| KO Index | | | -19,2 | KO Index | | | -19,2 |
| LFC-LCL height (m) | | | 29 | LFC-LCL height (m) | | | 1269 |
| LFC - Level of Free Convection (mb) | | | 782 | LFC - Level of Free Convection (mb) | | | 654 |
| LI - Lifted Index | | | -10,0 | LI - Lifted Index | | | -4,0 |
| MDPI - Microburst Day Potential Index | | 1,0 | | MDPI - Microburst Day Potential Index | | 1,0 | |
| NCAPE (Normalized CAPE) | | | 0,34 | NCAPE (Normalized CAPE) | | | 0,16 |
| S Index | | 41,2 | | S Index | | 41,2 | |
| SCP - Supercell Composite Parameter | 2,8 | | | SCP - Supercell Composite Parameter | 2,8 | | |
| Severity - Thunderstorm Severity Index | | | 0,8 | Severity - Thunderstorm Severity Index | | | 2,3 |
| SHIP - Significant Hail Parameter | | 1,4 | | SHIP - Significant Hail Parameter | | 1,4 | |
| SI - Showalter Index | | -3,2 | | SI - Showalter Index | | -3,2 | |
| srH - storm-relative Helicity (0-3 km) | 120 | | | srH - storm-relative Helicity (0-3 km) | 122 | | |
| STP - Significant Tornado Parameter | -0,1 | | | STP - Significant Tornado Parameter | -0,1 | | |
| Surface Dewpoint (C) | | | 20,2 | Surface Dewpoint (C) | | | 20,2 |
| SWEAT Index | | 318,0 | | SWEAT Index | | 318,0 | |
| T2 Gust (kt) | | | 60 | T2 Gust (kt) | | | 60 |
| TI - Thompson Index | | | 41 | TI - Thompson Index | | | 35 |
| TQ Index | | 15 | | TQ Index | | 15 | |
| TT - Total Totals | | 53,2 | | TT - Total Totals | | 53,2 | |
| VGP - Vorticity Generation Parameter | | | 0,433 | VGP - Vorticity Generation Parameter | | | 0,257 |
| VT - Vertical Totals | | | 31,1 | VT - Vertical Totals | | | 31,1 |
| Waterspout Index | 14 | | | Waterspout Index | | | |
| WBZ - WetBulb Zero Hgt (ft,AGL) * | 12117 | | | WBZ - WetBulb Zero Hgt (ft,AGL) * | 12117 | | |
| Windex (kt) | | | 69 | Windex (kt) | | | 69 |
| WMSI - Wet Microburst Severity Index | | | 100 | WMSI - Wet Microburst Severity Index | | 35 | |
| Weighted Category Totals: | 10 | 15 | 24 | Weighted Category Totals: | 10 | 22 | 16 |

Його суть полягатиме у тому, що ми задамо не рекомендовану глибину шару перемішування (50 або 100 гПа), а визначимо його значення, які зумовлюють найбільш сприятливі для розвитку глибокої конвекції значення *CIN*.

Графік такої залежності, представлений на рис. 2, вказує на те, що коридор найбільш сприятливих значень *CIN* (від 20 до 60 Дж/кг) формується при значеннях $\Delta H_{ML} = 10 \div 20$ мб. Таким чином, усвідомлюючи деяку «штучність» нашого підходу, ми реалізуємо найбільш «катастрофічний» сценарій в умовах *ML* типу підйому.

З лістингу значень параметрів конвекції для *ML* типу підйому при $\Delta H_{ML} = 20$ гПа (табл. 3) видно,

що поряд зі збільшенням кількості параметрів конвекції, що вказують на сильний потенціал розвитку конвекції (18 проти 16), значення деяких з них (*MLCAPE*, *MLCIN*, *MLLFC - LCL*, *MLLI*, *MLTI*) виходять на межу діапазонів критеріальних значень, що сигналізують про можливість утворення інтенсивної грозової діяльності.

Утворення зон інтенсивної конвекції має супроводжуватися специфічним полем вітру, вертикальні профілі якого мають формувати шари зсуву, які генерують різні типи конвекції, і визначають напрямок руху конвективного шторму.

Переміщення штормів у вітчизняній практиці традиційно прогнозується за напрямком і швид-

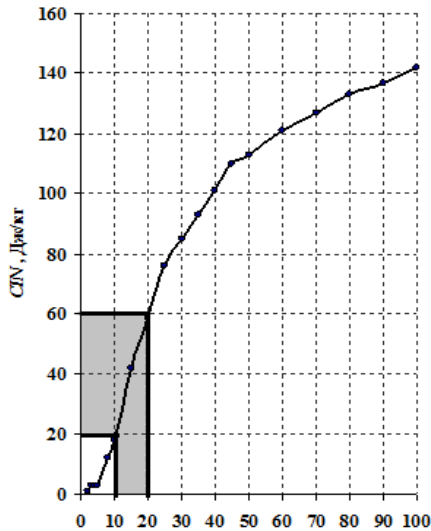


Рис. 2 – Залежність CIN від ΔH_{ML} у шарі нижче рівня вільної конвекції LFC за даними радіозондування атмосфери за 12 СГЧ 28.07.2017 р. (ст. Кривий Ріг (33791)): Область з сірою заливкою позначає інтервал значень товщини шару перемішування найбільш сприятливих значень CIN для виникнення глибокої конвекції.

кістю провідного потоку на середньому рівні тропосфери або характеристиками середнього у шарі 0-6 км вітру.

Не зупиняючись на недоліках такого підходу, застосуємо для прогнозу переміщення шторму найбільш поширений донедавна метод, відомий під аббревіатурою 30R75 [2] (оскільки швидкість середнього вітру у шарі 0-6 км перевищує 15 м/с) та метод Бункерса, алгоритм якого детально викладений в [3].

Перед цим представимо траєкторію руху смерчу в районі м. Кривий Ріг (рис. 3), з якої видно, що вектор руху смерчу був спрямований квазімеридіонально (з азимутом руху $\approx 350^\circ$).

Результати прогнозу вектору руху шторму за цими методами наведені на рис. 4, з якого видно, що напрямок руху шторму точніше прогнозується за методом Бункерса.

Незважаючи на те, що загальні результати розрахунків за різними підходами вказують на можливість утворення низки конвективних явищ, зауважимо, що підстав для прийняття синоптиком рішення про можливість утворення таких явищ як шквали і смерчі недостатньо.

Саме тому, окрім розглянутих вище розрахунків необхідно врахувати динаміку розвитку процесу, що реалізується з використанням даних чисельного моделювання, часове розділення яких (3 год.) хоча і є грубим для процесів підсїточного масштабу, проте дозволяє принаймні сформуванню наближену оцінку напрямку розвитку процесу.

Таблиця 3 – Те ж саме, що у табл. 2б, але при $\Delta H_{ML} = 20$ мб.

| Parameter | Weak | Moderate | Strong |
|--------------------------------------------|-------|----------|--------|
| 200 mb Wind Speed (kt) | | | |
| 500 mb Wind Speed (kt) | | | |
| 700 mb Wind Speed (kt) | | | |
| 700 mb Dewpoint Depression (C) | | | 12,0 |
| 850 mb Wind Speed (kt) | | | |
| 850 mb Dewpoint (C) | | 12,0 | |
| 700 - 500 mb lapse rate (C/km) | | -7,6 | |
| Boydex Index | | 99,0 | |
| BRN - Bulk Richardson No. | | | 50 |
| BRN Shear (m^2/s^2) | | | 40,9 |
| CAP Strength | 2,1 | | |
| CAPE 0-3 km, AGL | 0 | | |
| CAPE Total | | 1980 | |
| Craven SigSvr Parameter (mixed-layer lift) | | | 2037 |
| CT - Cross Totals | | 22,1 | |
| DCAPE 6,0 km, AGL | | | 1258 |
| Delta Theta-e (ePT) | | | 29,4 |
| EHI - Energy Helicity Index | | | 101,3 |
| GOES HMI (Hybrid Microburst Index) | 5 | | |
| Hail (cm) | | | 0,64 |
| Heat Burst Index | 476 | | |
| HI - Humidity Index | | | 25,1 |
| JI - Jefferson Index | | 30 | |
| K Index | | 31,1 | |
| KO Index | | | -19,2 |
| LFC-LCL height (m) | | 963 | |
| LFC - Level of Free Convection (mb) | | 692 | |
| LI - Lifted Index | | | -6,0 |
| MDPI - Microburst Day Potential Index | | 1,0 | |
| NCAPE (Normalized CAPE) | | | 0,24 |
| S Index | | 41,2 | |
| SCP - Supercell Composite Parameter | | | |
| Severity - Thunderstorm Severity Index | 51,3 | | |
| SHIP - Significant Hail Parameter | 0,1 | | |
| SI - Showalter Index | | -3,2 | |
| srH - storm-relative Helicity (0-3 km) | -5550 | | |
| STP - Significant Tornado Parameter | 0,4 | | |
| Surface Dewpoint (C) | | | 20,2 |
| SWEAT Index | 228,0 | | |
| T2 Gust (kt) | | | 60 |
| TI - Thompson Index | | | 37 |
| TQ Index | | 15 | |
| TT - Total Totals | | 53,2 | |
| VGP - Vorticity Generation Parameter | | | 0,335 |
| VT - Vertical Totals | | | 31,1 |
| Waterspout Index | | | |
| WBZ - WetBulb Zero Hgt (ft,AGL) * | 12117 | | |
| Windex (kt) | | | 69 |
| WMSI - Wet Microburst Severity Index | | 60 | |
| Weighted Category Totals: | 10 | 15 | 18 |

Якщо припустити наявність області CIN нижче рівня вільної конвекції (що було показано вище), то іншою складовою для «вибухової» конвекції є адвекція вологи у нижньому шарі атмосфери, яка є «паливом» для неї. На рис. 5 наведені прогностичні дані про інтенсивність адвекції вологи на основних ізобаричних поверхнях для вузла регулярної сітки, найближчого до ст. Кривий Ріг ($48,00^\circ$ пн. ш., $33,25^\circ$ сх. д.), з яких видно, що протягом першої половини дня у нижньому кілометровому шарі спостерігалася адвекція вологого повітря.

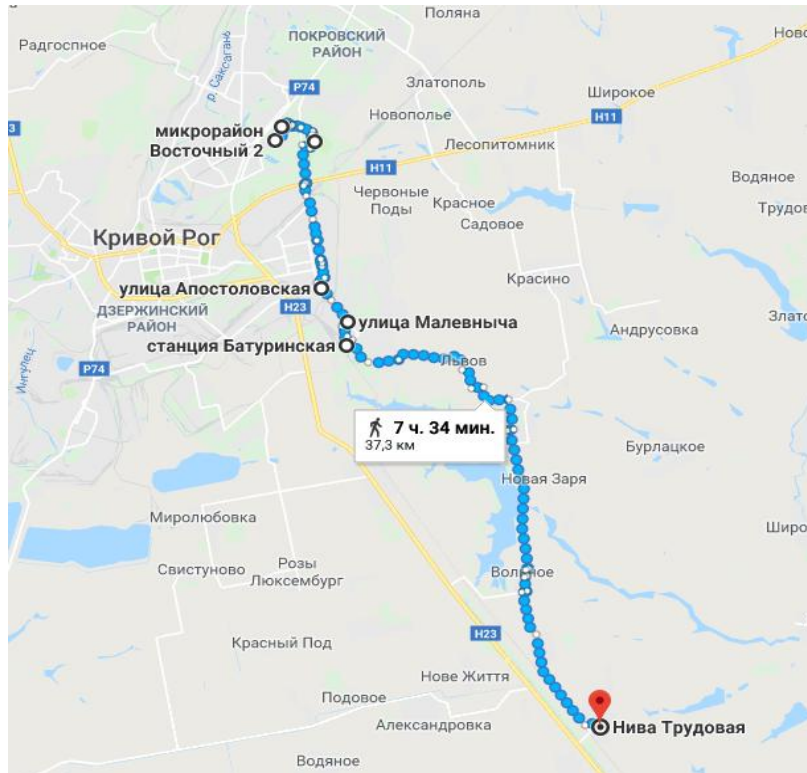


Рис. 3 – Траектория руху смерчу 28.07.2017 р. (товста лінія)

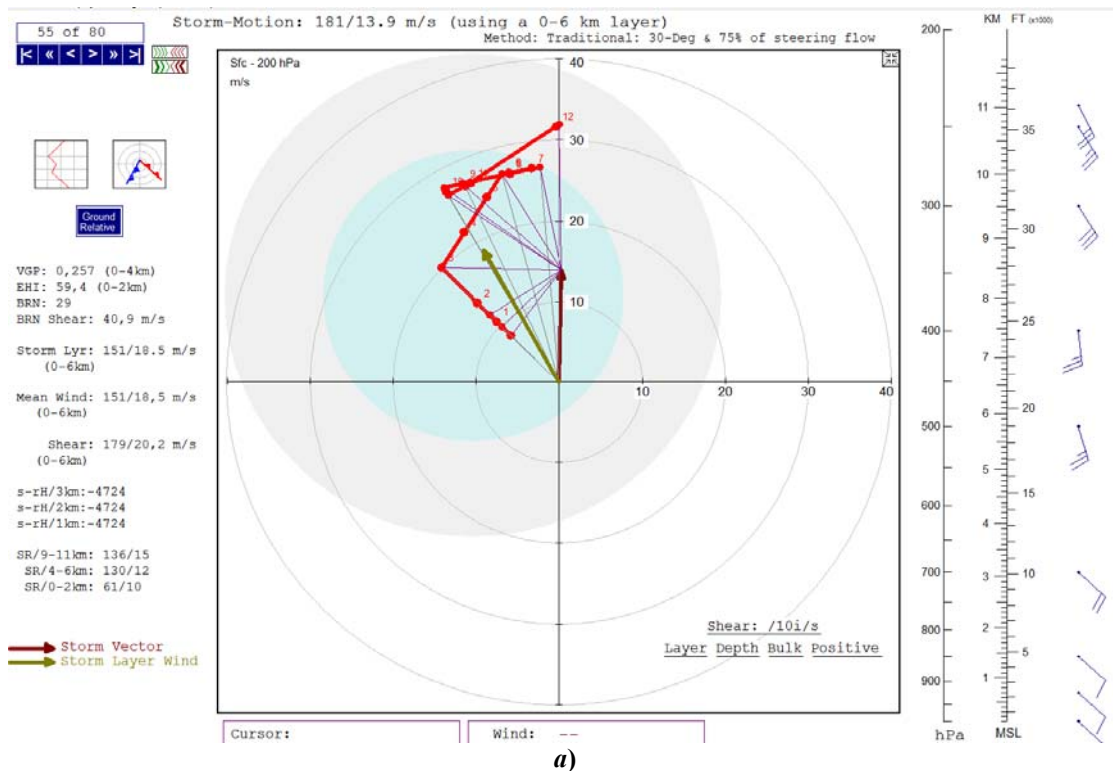


Рис. 4 – Розрахунок вектору руху конвективного шторму за методами 30R75 (а) та Бункерса (б).

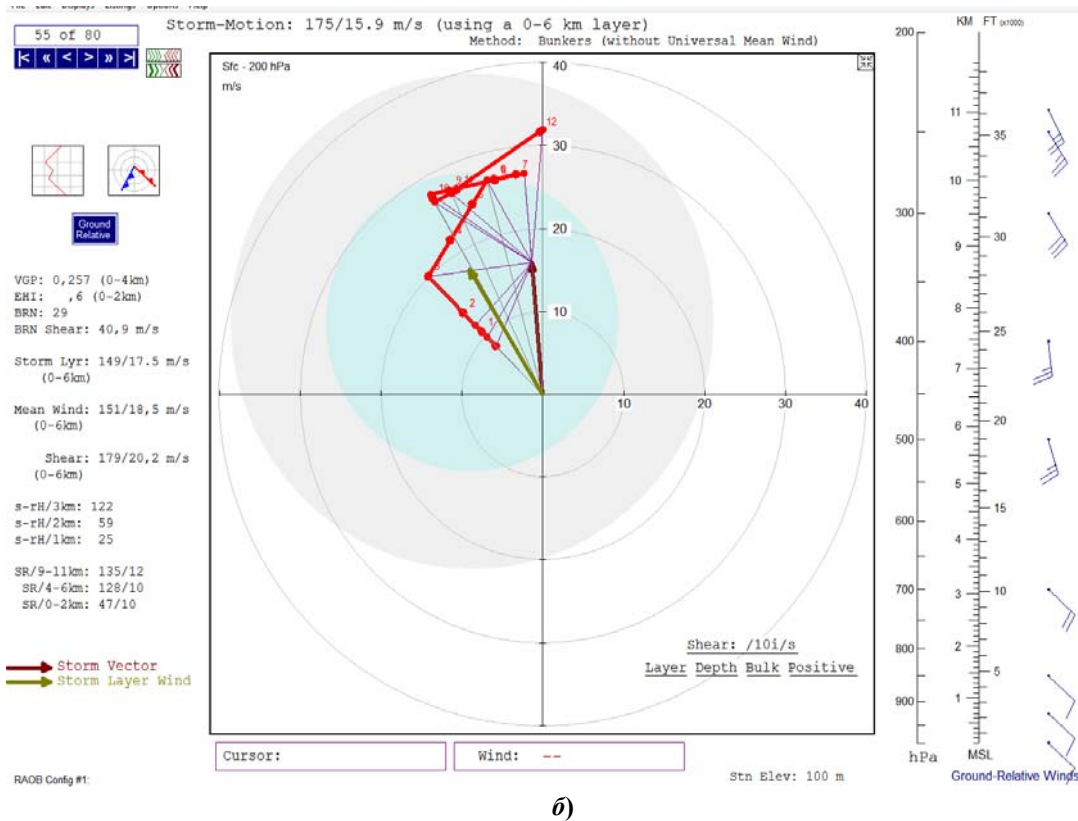


Рис. 4 – Закінчення

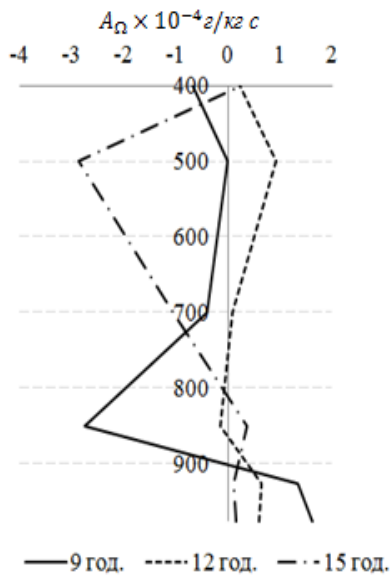


Рис. 5 – Вертикальні профілі адвекції питомої вологи ($A \times 10^{-4} \text{ г/кг} \cdot \text{с}$) за 9, 12 та 15 UTC 28.07.2017 на стандартних ізобаричних поверхнях для вузла РСТ з координатами $47,50^\circ \text{ пн. ш.}, 33,25^\circ \text{ сх. д.}$ (за даними GFS).

Разом з інтенсивним прогрівом повітря біля поверхні землі (за даними щоденника погоди з $22,4^\circ \text{ C}$ у 06 год. до $34,0^\circ \text{ C}$ у 12 год.) це створює

вало додаткові умови для розвитку глибокої конвекції.

Розглянемо динаміку зміни профілів вітру протягом першої половини дня з метою оцінки тенденції зміни параметру SRH_{0-3} (*Storm Relative Helicity*), який характеризує спіральність висхідного потоку.

У якості вихідних даних для його розрахунку використаємо прогностичні значення напрямку та швидкості вітру і перейдемо до локальної системи координат, пов'язаної з вектором руху шторму згідно методу в [1], оскільки це дозволяє нівелювати ефекти повороту вітру. Для розрахунку середнього вітру використаємо методику викладену в [8, 9]. За напрямком руху оберемо «правий» шторм, виходячи з вертикальних профілів вітру за 09, 12 та 15 год. 28.07.2017 р. (рис. 6), з яких видно, що у першій половині дня прогнозувався сприятливий для розвитку конвекції правий поворот вітру з висотою з одночасним збільшенням швидкості.

З рис. 7 видно, що площа фігури, яка ідентифікує величину параметру SRH , збільшувалася з 09 до 12 год. (а, б) місцевого часу, що вказує на формування висхідних потоків, що обертаються, а з 12 до 15 год. (в) збільшення спіральності майже не прогнозувалося. Таким чином, динамічна структура конвективних потоків вказувала

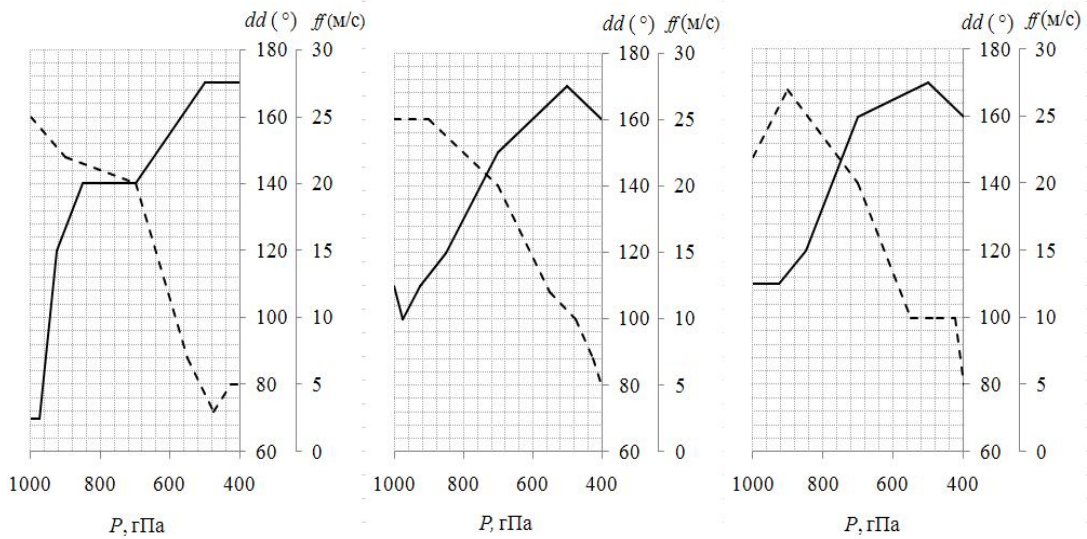


Рис. 6 – Вертикальні профілі напрямку та швидкості вітру за прогностичними даними GFS на строки 06 год., 09 год. та 12 год. UTC 28.07.2017 р. Суцільними лініями позначений напрямок вітру, пунктирними – його швидкість.

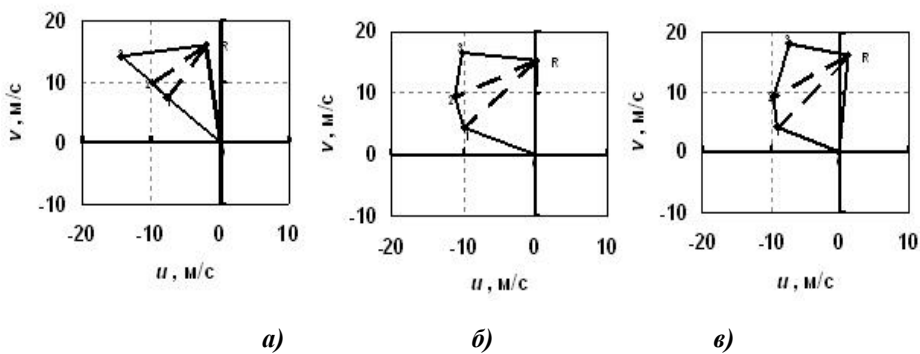


Рис. 7 – Графічна інтерпретація розрахунку параметру SRH_{0-3} за прогностичними даними GFS на строки 06, 09 та 12 год. UTC 28.07.2017 р.: Площа, окреслена годографом вітру та вектором відносного руху шторму R, показує величину відносної спіральності шторму у шарі 0-3 км.

на імовірність формування суперчарунок, приблизно 30 % яких генерують смерчі.

Динаміку зміни кута нахилу кривої стратифікації оцінимо з рис. 8, який показує, що до 13 - 14 год. на усіх ізобаричних поверхнях АТ - 975, 925, 500, 400 прогнозувалася адвекція холоду (за винятком поверхні АТ - 700 гПа і частково АТ - 850).

Таким чином, застосування даних чисельного моделювання дає змогу оцінити динаміку таких важливих для розвитку конвекції умов як зміна вертикального градієнту температури, накопичення вологи на нижніх рівнях та розвиток обертальних рухів висхідного потоку з часовим розділенням 3 години і необхідною завчасністю, що суттєво покращує позиції прогнозиста і неможливо реалізувати з використанням даних радіо-

зондування на момент максимального розвитку конвекції.

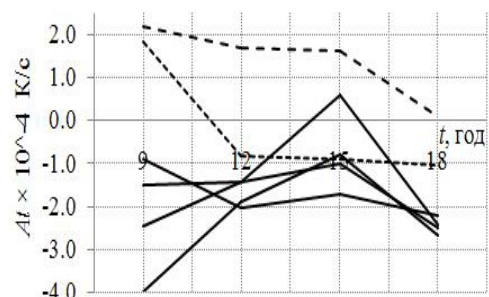


Рис. 8 – Часовий хід адвекції температури ($A_t \times 10^{-4}$ К/с) 28.07.2017 р. на ст. Кривий Ріг: Суцільними лініями позначена адвекція температури на ізобаричних поверхнях АТ-975, 925, 500, 400; пунктирними лініями – на ізобаричних поверхнях АТ-850, 700.

ВИСНОВКИ

При прогнозуванні конвективних явищ погоди доцільно враховувати кількісні характеристики конвекції, розраховані для різних типів підйому, що можна розглядати як своєрідний ансамбль станів частинки при її конвективному русі.

Врахування характеристик шару перемішування дозволяє одержати більш «фізичні» значення параметрів конвекції. Визначення товщини шару перемішування через найбільш сприятливі для глибокої конвекції значення *CIN* за умови нестійкої стратифікації атмосфери для подальших розрахунків показало наближення параметрів конвекції до значень, які більше відповідали явищам погоди, що спостерігалися.

Прогноз переміщення конвективного шторму успішно реалізується при використанні методу Бункерса, який враховує внутрішню динаміку шторму шляхом переходу до локальної системи координат, пов'язаної з самим штормом.

Використання прогностичних значень адвекції температури та вологи при складанні прогнозу надають можливість врахувати цю необхідну для розвитку «вибухової» конвекції умову. У нашому випадку це дало можливість оцінити зміну вертикального градієнту температури та оцінити можливість накопичення вологи на нижніх рівнях (за умови наявності *CIN* нижче рівня вільної конвекції).

Розрахунок прогностичних значень відносної спіральності шторму і оцінка зміни кута нахилу кривої стратифікації дозволяє оцінити тенденцію до збільшення імовірності виникнення глибокої конвекції та, відповідно, і явищ погоди, які її супроводжують.

Дані денного радіозондування формують можливість досить точного діагнозу умов, необхідних для розвитку глибокої конвекції, проте ефект їх використання зменшується через час надходження цих даних до прогнозиста. Певною мірою це нівелюється використанням даних чисельного моделювання, які розширюють можливості прогнозу конвективних явищ шляхом врахування тенденції змін характеристик, які безпосередньо впливають на формування конвективних явищ високої інтенсивності.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Bunkers, M.J. et al. (2000). Predicting supercell motion using a new hodograph technique. *Weather and Forecasting*, 15, 61-79.

2. Grieser, Jü. (2012). *Convection parameters*. URL: <http://www.juergen-grieser.de/ConvectionParameters/ConvectionParameters.pdf> (accessed 27.09.2017)
3. Maddox, R.A. (1976). An evaluation of tornado proximity wind and stability data. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 133-142.
4. *University of Wyoming. Upperair Air Data*. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (accessed 29.09.2017)
5. Vasques, T. (2017). *Instability, Skew-T & Hodograf Handbook*. USA.
6. Stull, R. (2016). *Practical meteorology : An algebra-based survey of atmospheric science*. University of British Columbia.
7. В Кривом Роге пронесся смерч. URL: <https://korrespondent.net/ukraine/3873037-v-kryvom-rohe-pronessia-smerch> (accessed 27.09.2017)
8. Yakimenko, O.A. (Ed.). (2015). *Precision aerial delivery systems : Modeling, dynamics, and control*. Arlington (VA) : American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).
9. Yakimenko, O.A., Slegers, N.J. (2011). Optimization of the ADS final turn maneuver in 2D and 3D. *21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar*, Dublin, Ireland, 23-26 May. USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), pp. 1189-1200. DOI: <https://www.doi.org/10.2514/6.2011-2604>

REFERENCES

1. Bunkers, M.J. et al. (2000). Predicting Supercell Motion Using a New Hodograph Technique. *Weather and Forecasting*, 15, 61-79.
2. Grieser, Jü. (2012). *Convection parameters*. Available at: <http://www.juergen-grieser.de/ConvectionParameters/ConvectionParameters.pdf> (accessed 27.09.2017)
3. Maddox, R.A. (1976). An evaluation of tornado proximity wind and stability data. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 133-142.
4. *University of Wyoming. Upperair air data*. Available at: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (accessed 29.09.2017)
5. Vasques, T. (2017). *Instability, Skew-T & Hodograf Handbook*. USA.
6. Stull, R. (2016). *Practical Meteorology : An algebra-based survey of atmospheric science*. University of British Columbia.
7. *V Krivom Roge pronessya smerch* [In Krivoy Rog swept a tornado]. Available at: <https://korrespondent.net/ukraine/3873037-v-kryvom-rohe-pronessia-smerch> (accessed 27.09.2017)
8. Yakimenko, O.A. (Ed.). (2015). *Precision Aerial Delivery Systems : Modeling, Dynamics, and Control*. Arlington (VA) : American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).
9. Yakimenko, O.A., Slegers, N.J. (2011). Optimization of the ADS final turn maneuver in 2D and 3D. *21st AIAA Aerodynamic Decelerator Systems Technology Conference and Seminar*, Dublin, Ireland, 23-26 May. USA: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), pp. 1189-1200. DOI: <https://www.doi.org/10.2514/6.2011-2604>

ON THE OPPORTUNITIES OF DIAGNOSIS AND FORECAST OF DEEP CONVECTION DURING OPERATIONAL ACTIVITY

O.M. Hrushevskiy¹, N.M. Mishchenko¹,
V.F. Mansarliyskiy¹, V.M. Burtseva²

¹ Odesa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine, minatami@ukr.net

² Aviation meteorological stations civil, st. Otto Brozovsky, 83, Kryviy Rih, Dnipropetrovsk, 50086, ukdr@i.ua

Introduction. The increase of cyclonic storms intensity is one of the manifestations of widespread climate change. This determines emergence of extreme weather phenomena resulting in human and economic losses. Convective phenomena causing economic damage which increased significantly in recent years present one of the causes of abnormal weather conditions.

The purpose. The purpose of this article is to substantiate and to evaluate the technique of identification and forecasting the meteorological conditions “warning” of a high convective phenomena potential that leads to destructive consequences.

RAOB software along with GFS data were used when conducting the study.

Results. The technique of forecasting the phenomena connected with deep convection within the territory of Ukraine was tested in the article. It establishes the extent to which the existing criterial values of quantitative characteristics of convection allow forecasting the occurrence of weather phenomena related to it, their evolution and movement. Given the current spatio-temporal constraints to use the data of atmospheric radio sounding, the authors apply the combination of those with GFS forecasting data. It expands opportunities for forecasting such phenomena as thunderstorms and tornadoes. In particular, the use of forecasting data of wind profile, temperature advection intensity and humidity makes it possible to determine the trend to change of factors affecting convection intensity.

Conclusion. Combining the radio sounding data with the forecasting numerical modelling data makes it possible to increase the efficiency of convective phenomena forecasts due to the opportunity of recording the dynamics of changes of stratification of atmosphere and moisture accumulation in its lower levels.

Directions for future research. Adaptation of existing criterial values of convection parameters for the territory of Ukraine and determination of their forecasting significance will play an important role in future studies. However, absence of a systemized database associated with occurrence and evolution of convective phenomena make the task more complicated. That is why creation thereof is required.

Keywords: instability, convection parameters, convection, dust devil, lability energy, convection phenomena.

ПРО ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОЗА И ПРОГНОЗА ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ В ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

О. Н. Грушевский¹, Н. М. Мищенко¹,
В. Ф. Мансарлийский¹, В. М. Бурцева²

¹ Одесский государственный экологический университет,

ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, minatami@ukr.net

² АМСЦ Кривой Рог, ул. Отто Брозовского, 83, 50086, Кривой Рог, Украина, ukdr@i.ua

На примере развития конвективного шторма в июле 2017 в г. Кривой Рог рассматривается структура количественных характеристик атмосферы при глубокой конвекции и предлагаются подходы к прогнозированию интенсивных конвективных явлений.

Анализ параметров конвекции для различных типов аппроксимации подъема воздушной частицы позволил учесть характеристики слоя перемешивания и его влияние на формирование наиболее благоприятных для конвекции условий.

Привлечение прогностических данных численного моделирования позволяет определить направление развития процесса с необходимой заблаговременностью. По прогностическим данным профиля ветра, интенсивности адвекции температуры и удельной влаги воздуха определена тенденция изменений факторов, обуславливающих увеличение интенсивности конвекции и ее глубины.

Ключевые слова: конвекция, параметры конвекции, индексы неустойчивости, конвективные явления, аппроксимация, подъем частицы.

Подання до редакції : 17. 04. 2018

Надходження остаточної версії : 21. 09. 2018

Публікація статті : 29. 11. 2018