

## **РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СИНОПТИЧНОГО АНАЛІЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ СИНОПТИКА (ВЕРСІЯ 7.07)**

*Розглядаються нові прийоми синоптичного аналізу при складанні спеціалізованих прогнозів погоди. Зокрема, пропонується підхід до використання прогностичних даних найбільш поширених чисельних моделей та їх поєднання з розрахунковими методами прогнозу погоди в оперативній діяльності авіаційного метеопідрозділу.*

**Ключові слова:** *автоматизоване робоче місце синоптика, синоптичний аналіз, прогностичні дані, атмосферні моделі.*

**Вступ.** Підвищення ефективності роботи чергового метеоролога передбачає низку певних заходів з мінімізації людського фактора в ланцюзі «спостереження – обробка та аналіз – прогнозування – передача – доведення до споживача фактичної та прогностичної метеорологічної інформації». Нормативно-правове обґрунтування вказаних заходів забезпечується насамперед положеннями закону України від 12.10.2010 р. № 2519-17, в яких серед пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2020 року зазначені інформаційні та комунікаційні технології [5]. Наказом Держгідромету від 28.10.2010 р. № 60 «Про затвердження Вимог до підготовки авіаційного метеорологічного персоналу» визначені основні принципи освіти, підготовки і кваліфікації авіаційного метеорологічного персоналу в Україні. Згідно з цим документом технічні напрямки діяльності, пов'язані з інструментальними спостереженнями й вимірюваннями, а також обробкою, аналізом і передачею даних, дедалі більше автоматизуються.

З урахуванням сучасних вимог до компетенцій метеоролога, який обслуговує польоти авіації, використання спеціалізованого програмного забезпечення вже не може обмежуватися виключно завантаженням, відображенням та попередньою обробкою фактичної метеорологічної інформації. Науково-технічні документи та публікації [9, 11] свідчать про стрімке зростання обсягів доступних прогностичних даних від атмосферних (чисельних) моделей, що визначає нові завдання і окреслює нові можливості для чергового метеоролога та водночас спонукає до подальшого вдосконалення алгоритмів опрацювання прогностичних даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використання прогностичних даних чисельних моделей під час складання авіаційних прогнозів погоди в кожному прогностичному підрозділі має певні особливості, що залежить багато в чому від індивідуальних уподобань авіаційного метеорологічного персоналу. В той же час, існують певні вимоги щодо використання стандартів, правил, способів та технологій в галузі метеорологічного обслуговування цивільної авіації. Згідно з наказом [4] рекомендації Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) є однією зі складових методичного керівництва. Рекомендації ВМО (керівні матеріали) з використання прогностичних даних чисельних моделей для потреб авіаційної метеорології були опубліковані в 1999 р. у вигляді другого видання технічної записки ВМО № 195 [9], що в перекладі на українську мову має назву «Методи інтерпретування вихідної продукції чисельного прогнозування погоди для авіаційної метеорології». Цей документ містить як теоретичні відомості про чисельні моделі, так і практичні поради щодо використання всього спектра прогностичної продукції чисельного моделювання під час складання авіаційних прогнозів погоди.

Не менш важливими, ніж методичні аспекти використання прогностичних даних, є питання, що стосуються технологічних аспектів опрацювання цих даних. Основними механізмами для здійснення операцій з прогностичними даними вважаються Інтернет-технології та спеціалізоване програмне забезпечення метеорологічного призначення. Останній з цих механізмів потребує більш детального висвітлення, оскільки є невід'ємною складовою технічних засобів професійного метеоролога.

Прикладом успішної розробки програмного забезпечення для метеоролога можна вважати Digital Atmosphere [7], що використовується у ВПС та ВМС США, а також в багатьох цивільних організаціях США та Європи. Це програмне забезпечення заслуговує окремої згадки, оскільки Digital Atmosphere є результатом багаторічної роботи (з 1992 р. по цей час) американського військового метеоролога та дослідника Тіма Вакеса, який виконав всю необхідну роботу самостійно (на відміну від багатьох інших відомих програмних продуктів, які розроблені колективами інженерів-програмістів).

В Україні плідну роботу в цьому напрямку веде В.В. Михайловський, який впровадив у сучасну оперативну практику видатну розробку – автоматизоване робоче місце (АРМ) синоптика [1], яке на сьогоднішній день використовується в Українському та регіональних гідрометеорологічних центрах, в аеродромних метеорологічних органах та на геофізичних станціях.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** В оперативній діяльності чергового метеоролога широко використовуються розрахункові методи прогнозу небезпечних явищ погоди. Бурхливий розвиток мезомасштабних прогностичних моделей, радіолокаційних спостережень (наприклад, спостережувальна платформа NEXRAD у США) помітно зменшив роль розрахункових методів у оперативній діяльності, але вони до останнього часу залишаються невід'ємною частиною оперативної практики. Наприклад, у США авторські методики Міллера з прогнозування шквалів середини минулого століття [10] дотепер не втратили актуальності і наведені в чинній настанові [8] для військових метеорологів цієї країни, виданій (оновленій) у 2012 р. Прикладами для нашої країни можуть бути способи прогнозу радіаційних (адвективних) туманів Зверева (Петренко) та конвективних явищ Лебедевої, Вайтинга, Фауста, Седлецького тощо. Таким чином, навіть у передових країнах, де інформаційні технології стрімко розвиваються, розрахункові методи користуються довірою і залишаються дієвим інструментом в руках прогнозиста. Протягом останніх 20 років в метеорологічних службах низки країн розроблялися відповідні програмні засоби для впровадження ефективних технологій прогнозування погоди (наприклад, геоінформаційна система «Метео» в Росії [6]), а перевірені часом розрахункові методи закладалися в ці програмні комплекси як окремі структурні елементи. Яскравим прикладом вирішення задачі з автоматизації розрахункових методів прогнозів є інформаційна система «МетеоЕксперт» [2], що набула поширення в країнах СНД.

Поєднання розрахункових методів прогнозу небезпечних явищ погоди з використанням достовірних прогностичних даних дозволяє суттєво поліпшити якість прогнозів погоди по аеродромах та по районах польотів. Проте за умов наявності прогностичних даних від декількох джерел постає питання про критерії вибору даних. Слід зазначити, що формат прогностичних даних відіграє важливу роль, бо це визначає, як відбуватиметься опрацювання даних. На сучасному етапі триває трансформація взаємодії великих прогностичних центрів та оперативних метеопідрозділів: як наслідок, метеоролог буде отримувати все менше «готових» прогностичних карт, натомість надходитиме «напівфабрикат» (прогностичні дані), а потрібні карти він створюватиме вже на власний розсуд за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Таким «напівфабрикатом» часто являються прогностичні дані GRIB [3], що містять в собі поля метеовеличин, значення яких наводяться у вузлах просторової сітки для різних моментів часу.

**Метою** даного дослідження є висвітлення нових підходів до техніки синоптичного аналізу, застосування яких стало можливим завдяки використанню вихідних та прогностичних полів різних метеовеличин у АРМ синоптика.

**Основний матеріал і методи дослідження.** Як спеціалізоване програмне забезпечення для опрацювання прогностичних даних в оперативній практиці в Україні широко використовується АРМ синоптика [1]. Сучасна конфігурація АРМ синоптика (версія 7.07) налаштована на роботу з прогностичними даними GRIB від глобальних моделей UM (Unified Model), NAVGEM (Navy Global Environmental Model) та GFS (Global Forecast System). Перша з них розробляє прогноз на 144 години (6 діб). Горизонтальна роздільність моделі становить 17 км, вертикальна – 70 рівнів (верхня межа дорівнює приблизно 80 км). Друга – розробляє прогноз на 180 годин; горизонтальна роздільність моделі становить 37 км, вертикальна – 50 рівнів. Що стосується моделі GFS, то завчасність її прогнозу є порівняно великою – 384 години. Горизонтальна роздільність GFS характеризується двома величинами – 27 км (на період прогнозування від 0 до 192 годин) та 35 км (на період прогнозування від 192 до 384 годин); кількість вертикальних рівнів – 64.

В АРМ синоптика прогностичні дані від моделей UM, NAVGEM та GFS позначені як «Прогнози по GRIB Брекнелл (1,25°)», «Прогнози по GRIB-1 NOAA (1,0°)» та «Прогнози по GRIB-2 NOAA (1,0°)» відповідно. Приклад нанесених на карту даних GRIB наведено на рис. 1.

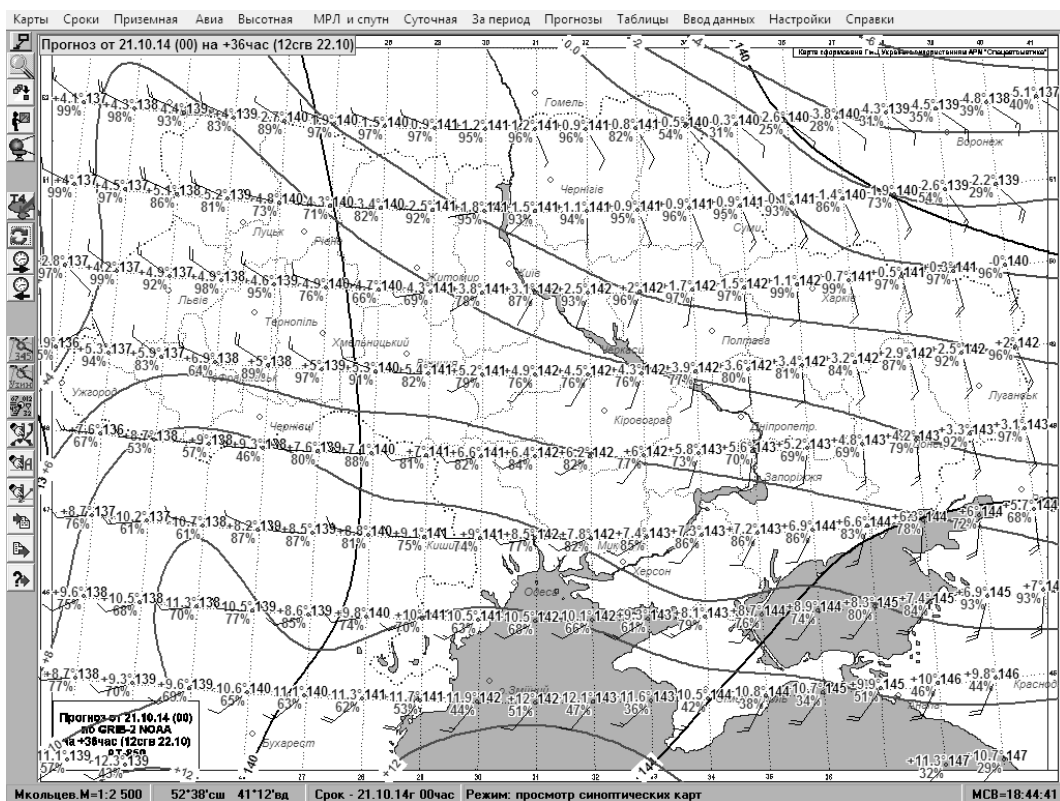


Рис. 1 – Приклад побудови прогностичної термобаричної карти на ізобаричній поверхні АТ-850 на 36 годин з використанням даних від глобальної моделі GFS.

Використання прогностичних карт баричної топографії є невід’ємною складовою процесу підготовки авіаційного прогнозу. На класичних факсимільних картах відображається лише сімейство ізогіпс, що значно обмежує їх прогностичну значимість. Використання прогностичних даних у вузлах регулярної сітки точок дозволяє, по-перше, суттєво збільшити часову роздільність прогностичних карт баричної топографії (наприклад, використання прогностичних даних GFS дозволяє одержувати карти з 3-годинним інтервалом) і, по-друге, спільна побудова прогностичних ізогіпс та ізотерм на одному бланку карти дає можливість одержання прогностичних термобаричних карт (рис. 1), які дозволяють визначати інтенсивність адвекції, що є вкрай необхідним при оцінці еволюції синоптичних об’єктів та прогнозі низки метеорологічних величин.

Важливо, що 3-годинна дискретність прогностичних полів геопотенціалу, температури та вологості дозволяє «не просіяти» ті адвективні зміни температури та вологості, які використовуються як предиктори в розрахункових методах прогнозу нижньої межі хмарності та видимості із завчасністю до 9 годин. Отримання таких оцінок за допомогою традиційного підходу супроводжується побудовою зворотних траєкторій, недоліками чого є не досить висока якість результатів та порівняно великі витрати часу на обчислення. Наявність прогностичних даних з великою часовою дискретністю в поєднанні з можливістю швидкої візуалізації спрощує задачу.

Зокрема, при складанні авіаційного прогнозу погоди по аеродрому доцільно здійснити збір та систематизацію метеорологічної інформації для основних ізобаричних поверхонь (925, 850, 700, 500 гПа) на прогностичні строки, наприклад 6, 12, 18, 24, 36, 48 годин, починаючи від 00 UTC поточної доби. Оскільки прогностичні дані GRIB стосуються вузлів регулярної сітки, необхідно виконувати інтерполяцію значень метеовеличин з найближчих вузлів до пункту прогнозу, використовуючи самі значення та побудовані ізолінії. Для систематизації отриманих прогностичних значень метеовеличин можна рекомендувати табл. 1. Опрацьовуються наступні метеовеличини:  $T$  – температура,  $f$  – відносна вологість,  $H$  – геопотенціальна висота,  $D$  – дефіцит точки роси,  $T_d$  – температура точки роси,  $(\Delta T)_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} - T_{00}$  – прогностична зміна температури,  $(\Delta T_d)_{\text{пр}} = (T_d)_{\text{пр}} - (T_d)_{00}$  – прогностична зміна температури точки роси (індекс «00» мають значення за строк 00 UTC, індекс «пр» відноситься до значень за будь-який інший строк). Значення  $T_d$  можна визначити за допомогою психрометричних таблиць (за значеннями  $T$  і  $f$ ).

Таблиця 1 – Прогностичні значення метеовеличин

Метеовеличина	Прогностичні значення метеовеличин для визначених строків (в годинах UTC)						
	00	06	12	18	24	36	48
Ізобарична поверхня 925 гПа							
$T, ^\circ\text{C}$							
$f, \%$							
$H, \text{дам}$							
$T_d, ^\circ\text{C}$							
$D = T - T_d, ^\circ\text{C}$							
$(\Delta T)_{\text{пр}} = T_{\text{пр}} - T_{00}, ^\circ\text{C}$							
$(\Delta T_d)_{\text{пр}} = (T_d)_{\text{пр}} - (T_d)_{00}, ^\circ\text{C}$							

За зразком табл. 1 заповнюються бланкові форми для основних ізобаричних поверхонь: 925, 850, 700, 500 гПа. За отриманими даними формулюється детальний висновок про характер очікуваних часових змін метеовеличин над визначеним аеродромом протягом найближчих 2 діб.

Надходження модельних прогностичних даних до АРМ синоптика також суттєво розширює можливості діагнозу та прогнозу вертикальної стійкості атмосфери шляхом побудови і аналізу «прогностичних» аерологічних діаграм (АД). Зокрема, використання даних моделі NAVGEM в поєднанні з прогностичними приземними даними регіональної моделі Українського гідрометцентру (УкрГМЦ) надає змогу вирішення цієї задачі у пунктах, де не проводяться аерологічні спостереження. Для побудови прогностичної АД за певний прогностичний строк, необхідно спочатку вивести за цей строк на карту прогностичні приземні дані регіональної моделі УкрГМЦ, вибрати аеродром, вивести «падаюче» меню (рис. 2), де потрібно викликати команду «Вивести аеродіаграму».

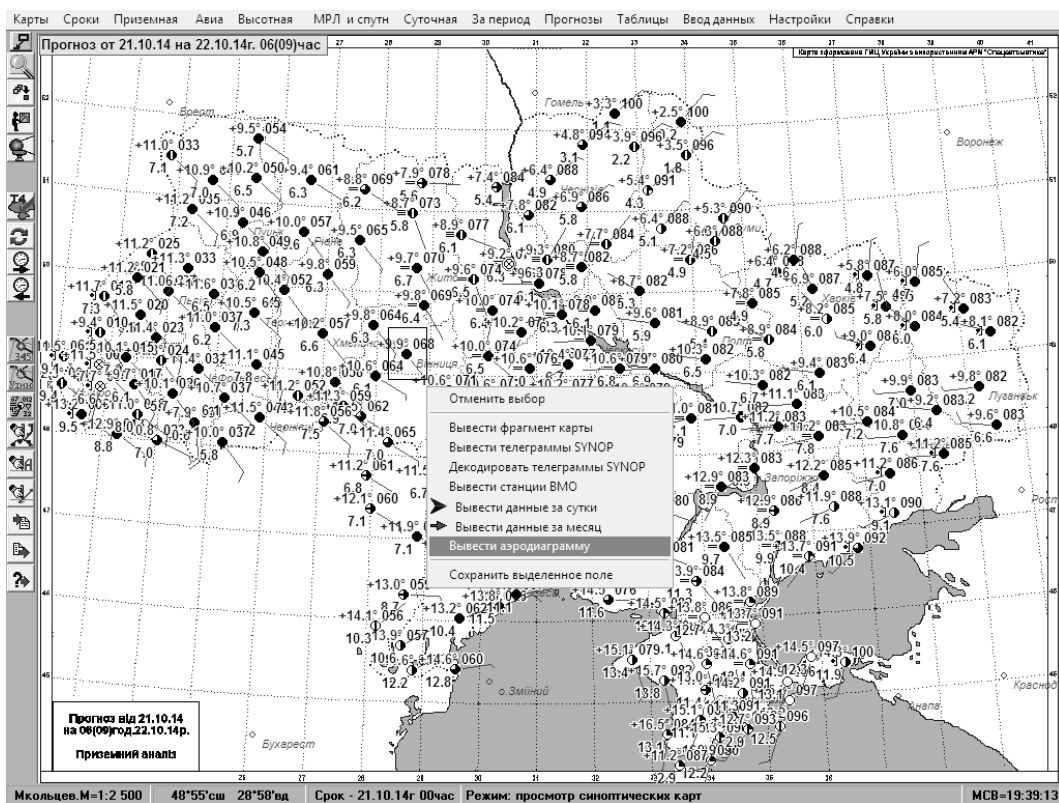


Рис. 2 – Карта з прогностичними приземними даними регіональної моделі УкрГМЦ і «падаюче» меню АРМ, що з'являється після натискання лівої клавіші мишки.

В результаті на екран буде виведено прогностичну АД для потрібного аеродрому, яка буде побудована за прогностичними даними температури та точки роси на стандартних ізобаричних поверхнях (рис. 3). Її обробка здійснюється за типовим порядком. Застосування такого прийому виключає необхідність трудомісткої побудови прогностичних кривих стратифікації та точки роси вручну і більш точно враховує усі чинники, які впливають на їх профілі.

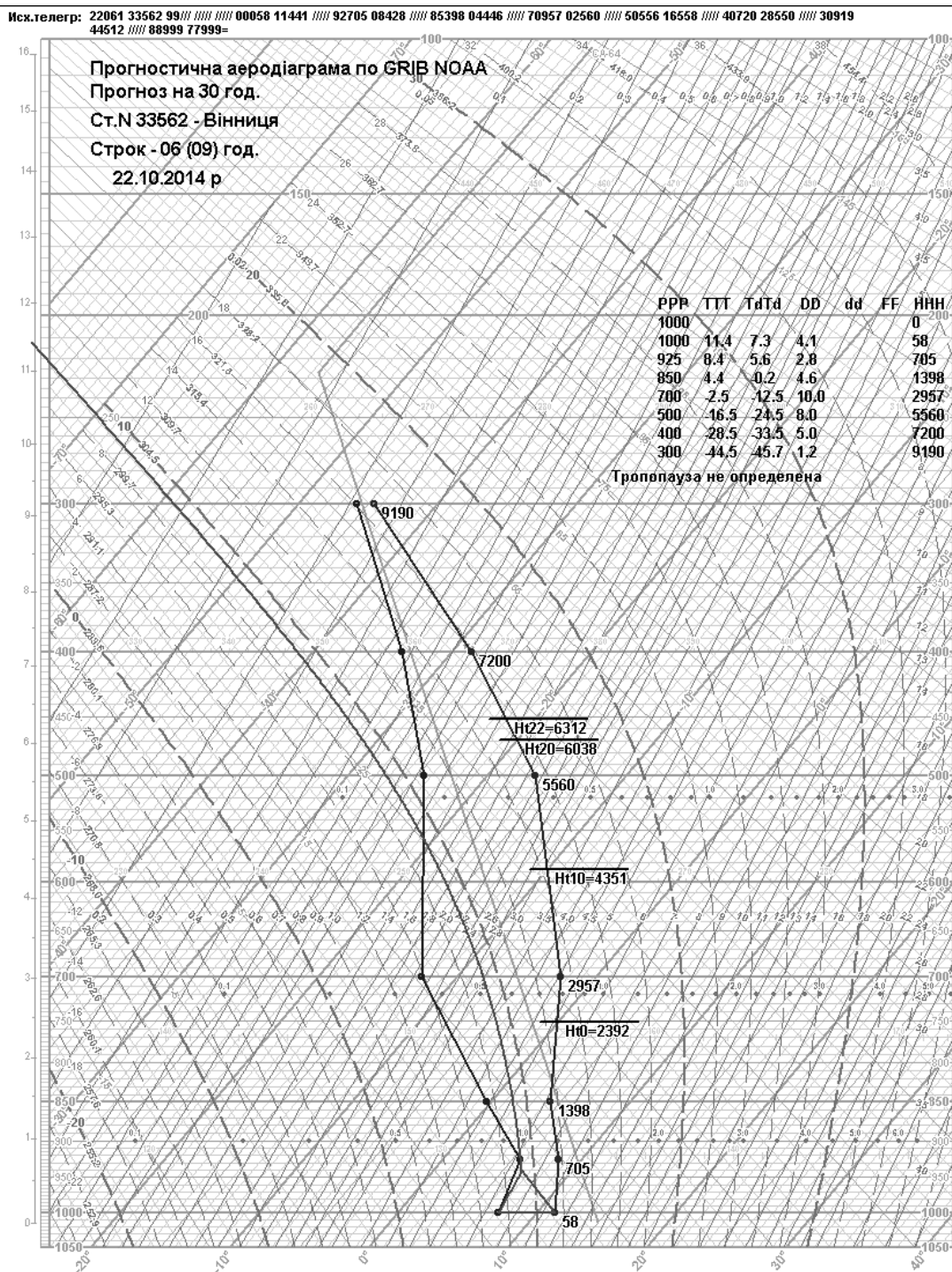


Рис. 3 – Прогностична АД на 30 годин для аеродрому Вінниця (з побудованою кривою стратифікації, деграмою та кривою стану).

Надходження прогностичних полів температури та вологості на стандартних ізобаричних поверхнях до АРМ синоптика уможливує їх використання для одержання прогностичних полів інших розрахункових величин. Таким прикладом можуть бути карти конвективної діяльності (поля індексу Вайтінга), які широко застосовуються у оперативній діяльності метеопідрозділів і складаються за даними фактичного радіозондування (за строки 00 або 12 UTC), що помітно зменшує їх прогностичну значимість.

Застосування модельних прогностичних даних для цієї мети (рис. 4) суттєво розширює можливості прогнозіста. По-перше, він має змогу побудови карт конвективної діяльності з 3-годинною дискретністю, по-друге, зменшується розрахунковий час і, по-третє, істотно збільшується деталізація прогностичного поля індексу Вайтинга завдяки використанню даних з просторовою роздільністю  $1^\circ \times 1^\circ$ , що дозволяє виявляти дрібні осередки конвекції. Очевидно, що при застосуванні даних радіозондування проведення ізоліній на зазначених картах зумовлює досить грубу інтерполяцію, наслідком якої є просіювання через наявну мережу аерологічних станцій дрібних осередків конвекції.

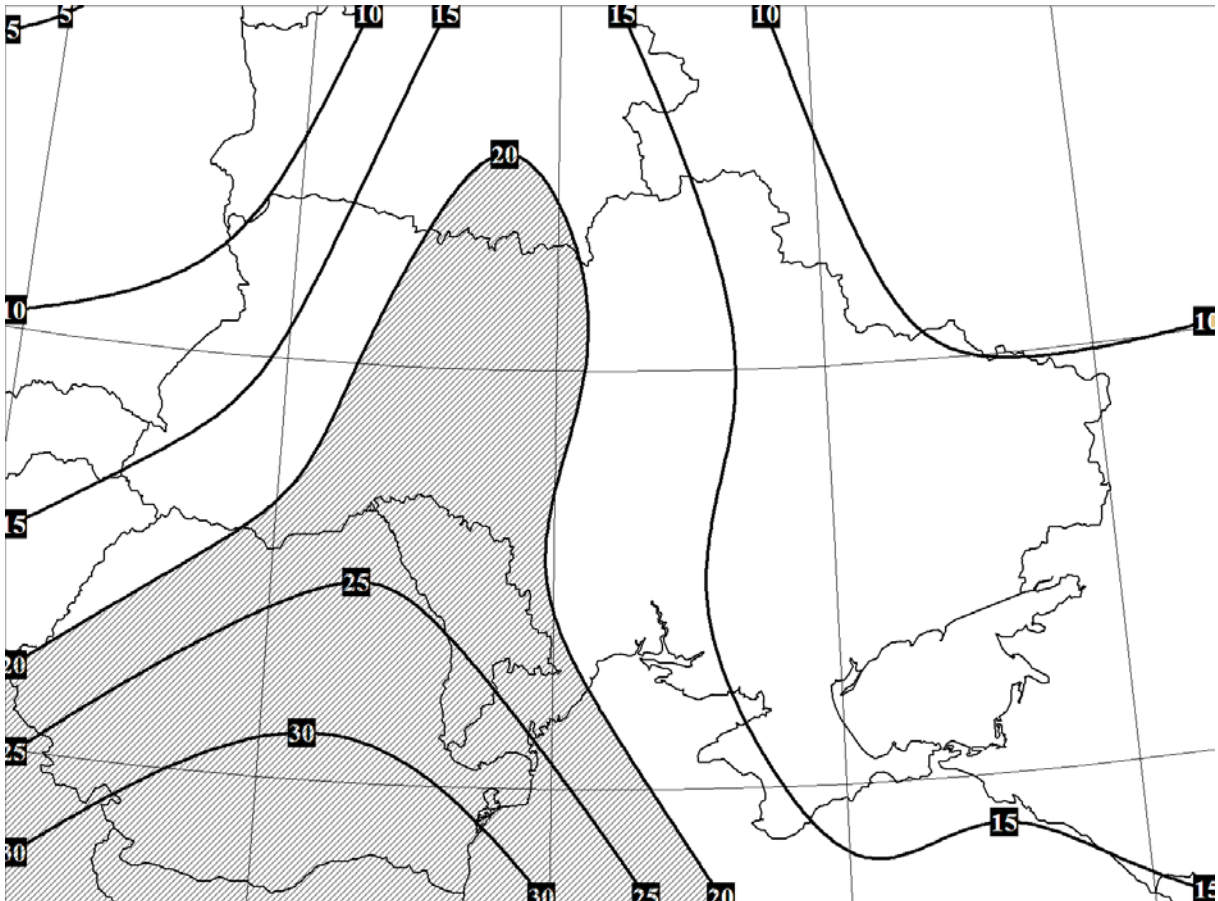


Рис. 4 – Приклад побудови прогностичної карти конвективної діяльності з використанням даних глобальної моделі NAVGEM за прогностичний строк 12 UTC 22 вересня 2014 р.

Прогнозування верхньої межі хмарності викликає певні труднощі навіть у досвідченого метеоролога. Ефективним засобом вирішення цієї задачі може бути використання оцифрованих інфрачервоних супутникових знімків хмарності в поєднанні з прогностичними даними. Наприклад, в АРМ синоптика можуть застосовуватися інфрачервоні знімки METEOSAT-8.

Алгоритм визначення верхньої межі хмарності складається з двох етапів. На першому етапі використовується знімок хмарності, на якому кольором нанесена температура на верхній межі хмар. За допомогою цього зображення визначається величина температури в потрібному пункті або діапазон змін температури над певним районом.

На другому етапі потрібно встановити, як змінюється температура з висотою, тобто отримати вертикальний профіль температури. Використання фактичних даних, наприклад даних радіозондування, дозволяє знайти точку перетину ізотерми (для отриманого значення температури на верхній межі хмарності) з кривою стратифікації. Висота цієї точки є шуканою верхньою межею хмарності. Коли немає фактичних даних, то в нагоді можуть стати саме прогностичні аерологічні діаграми, які необхідно будувати для потрібного району та для того ж строку (або найближчого), за який аналізується супутниковий знімок.

На підставі проведеної роботи можна зробити наступні **висновки**:

1. Застосування модельних даних від прогностичних центрів ЄС та США, що надходять до АРМ синоптика, з одного боку, істотно розширює можливості і точність прогнозування метеорологічних величин та явищ у оперативній практиці, з іншого – потребує нових підходів у техніці синоптичного аналізу для їх використання.

2. Подальше збільшення питомої ваги використання модельних прогностичних даних у складанні спеціалізованих прогнозів погоди висуває нові вимоги до інформування персоналу метеорологічних підрозділів про характер систематичних помилок різних атмосферних моделей в залежності від початкових умов, процедур параметризації, регіону, поточної синоптичної ситуації тощо.

3. Застосування розрахункових методів прогнозу метеорологічних величин та явищ погоди у оперативній діяльності метеопідрозділу наразі тісно пов'язується з використанням як прогностичних полів метеовеличин, так і їх прогностичних значень у фіксованих вузлах сітки, що дозволяє суттєво скоротити витрати часу на прогноз, одержати нові прогностичні продукти та підвищити точність прогнозування в цілому.

## Список літератури

1. *Автоматизированная система обработки* оперативной гидрометеорологической информации (ГИС ГИДРОМЕТ). АРМ синоптика. Инструкция по эксплуатации / Под ред. В.В. Михайловского. – К.: ГНПП «Спецавтоматика», 1999. – 25 с.

2. *Базлова Т.А., Коба И.А., Солонин А.С.* Автоматизированная информационная система прогнозирования МетеоЭксперт // Метеоспектр. – 2008. – № 2. – С. 43–48.

3. *Наставление по кодам.* Международные коды. Том I.2 (Дополнение II к Техническому регламенту ВМО). Часть В – Двоичные коды. Часть С – Общие элементы двоичных и буквенно-цифровых кодов / Всемирная Метеорологическая Организация. – Издание 2011 г. Обновлено в 2013 г. – Женева: ВМО, 2014. – [916] с. – (ВМО – № 306). – ISBN 978-92-63-40306-3.

4. *Порядок методичного керівництва* метеорологічним обслуговуванням цивільної авіації / Український гідрометеорологічний центр, Державне підприємство «Український авіаметеорологічний центр». – Затверджено наказом Українського гідрометеорологічного центру, Державного підприємства «Український авіаметеорологічний центр» від 11 квітня 2012 р. № 56/26. – К.: Український гідрометеорологічний центр [та ін.], 2012. – 5 с.

5. *Про пріоритетні напрями* розвитку науки і техніки [Електронний ресурс]. – Електрон. дан. – К.: Верховна Рада України. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2623-14>, вільний. Назва з екрану.



6. Шмелькин Ю.Л., Юсупов Ю.И. Новые возможности ГИС Метео // Русский инженер. – 2012. – № 1 (32). – С. 32–34.

7. *Digital Atmosphere. Meteorological Analysis Software. User Manual / Weather Graphics Technologies.* – Edition 001. May 27, 2007. – Texas, Garland: Weather Graphics Technologies, 2007. – 165 p.: ill., charts, maps.

8. *Meteorological Techniques: Technical Note / primary authors: Mr. Mark R. Mireles, Capt Kirth L. Pederson, MSgt Charles H. Elford; primary reviewers: MSgt Gary D. Mercer; publishing and technical editors (AFCCC/DOPA): Major Joe King, Mr. Gene Newman, TSgt Gina Vorce; original AFWA/TN-98/002 authors: Capt Maria L. Reymann, Capt Joseph F. Piasecki, MSgt Fizal Hosein, MSgt Salinda A. Larabee, TSgt Gregg T. Williams, TSgt Mike McAleenan, Mr. Michael A. Jimenez, Ms. Deborah F. Chapdelaine.* – USA: Air Force Weather Agency (AFWA), Offutt AFB NE. – 13 Feb 2012. – 249 p. – AFWA/TN-98/002 Revised. – Approved for public release; distribution is unlimited.

9. *Methods of Interpreting Numerical Weather Prediction Output for Aeronautical Meteorology: Technical Note No. 195 / developed by the CAeM Working Group on Advanced Techniques Applied to Aeronautical Meteorology.* – Second Edition. – Geneva: Secretariat of the World Meteorological Organization, 1999. – 123 p.: ill., charts, maps. – (WMO–No. 770). – ISBN 92-63-12770-2.

10. *Miller R.C. Notes On Analysis and Severe-Storm Forecasting Procedures of the Air Force Global Weather Central: Air Weather Service Technical Report 200 (Rev).* – USA: Air Weather Service (MAC), United States Air Force. – May 1972. – 106 p. – Approved for public release; distribution unlimited.

11. *SADIS User Guide / prepared by the ICAO Satellite Distribution System Operations Group (SADISOPSG).* – 5<sup>th</sup> ed. – June 2012 [Amendment No. 2 endorsed by SADISOPSG/19]. – Montreal: International Civil Aviation Organization, 2014. – 103 p.: ill., charts, maps.

**Enhancement of possibilities for synoptic analysis by using the Ukrainian forecaster workstation (version 7.07). Yeshanu O., Mischenko N., Hrushevsky O.**

*In this paper new synoptic analysis techniques in the production of specialized weather forecasts are considered. In particular, an approach towards using prognostic data from the most common numerical models combined with computational weather forecasting techniques is suggested for operational activities of a meteorological office serving aviation.*

**Keywords:** *forecaster workstation, synoptic analysis, prognostic data, atmospheric models.*

**Расширение возможностей синоптического анализа при использовании автоматизированного рабочего места синоптика (версия 7.07). Ешану А.Е., Мищенко Н.М., Грушевский О.Н.**

*Рассматриваются новые приемы синоптического анализа при составлении специализированных прогнозов погоды. В частности, предлагается подход к использованию прогностических данных наиболее распространенных численных моделей совместно с расчетными методами прогноза погоды в оперативной деятельности авиационного метеоподразделения.*

**Ключевые слова:** *автоматизированное рабочее место синоптика, синоптический анализ, прогностические данные, атмосферные модели.*