

ISSN 0868-6939

ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ ТА ГЕОМОРФОЛОГІЯ

3 (91)
2018



Термічна та динамічна структура атмосферних фронтів

Наталя М. Міщенко, Дар'я С. Криворучко, Катерина А. Куляс

Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна

Thermic and dynamic structure of atmospheric fronts

N. M. Mishchenko, D. S. Kryvoruchko, K. A. Kuliash

Odesa State Environmental University, Odesa, Ukraine

Abstract. Frontal analysis is the most important stage in the processing of meteorological information by a synoptic, which relies heavily on their experience and understanding of the situation and the nature of the atmospheric fronts, and thus makes a certain impression of subjectivism. As is known, the fronts are carried out on the basis of their definition as zones of separation of various air masses, taking into account the structure of baric and thermal fields, the nature of advection of temperature, precipitation, etc., but there is still no single quantitative method of analysis of all factors. In turn, the study of atmospheric fronts, clouds and precipitation followed by them, as well as their parametrization, are extremely important both for aviation and for the economy of Ukraine. Objective analysis of atmospheric fronts in the present study is carried out on the basis of quantitative analysis of the peculiarities of the fields of meteorological values in the region of the front. The widespread use of objective analysis data makes it possible to make a forecast with a sufficiently large amount of time. As the quantitative characteristics in the practice of world meteorological centers, frontal parameters are used which, in the first turn, include a horizontal temperature gradient, taking into account the structure of the fields of geopotential, humidity, precipitation, the type of synoptic situation, and others (Shakina, 2000). In the presented paper, the spatial-temporal analysis of the frontal parameter Ψ in the southern and northwestern cyclones was conducted with the aim of identifying the relationship between its critical values Ψ and the possibility of precipitation generation, and use this parameter as ancillary information when conducting atmospheric fronts by a weather forecaster. During the course of research, some patterns in precipitation distribution were found at various values of the frontal parameter. There are also cases where the frontal parameter is not consistent with the rain fields, which indicates the need to use a combination of several types of parameters for more accurate prediction.

Key words: atmospheric fronts, frontal analysis, frontal parameter, precipitation forecast.

1. Вступ

Як відомо, фронтологічний аналіз є важливим етапом роботи синоптика через те, що з атмосферними фронтами досить часто пов'язані небезпечні явища погоди.

При проведенні атмосферних фронтів на картах погоди, синоптик спирається на визначення фронту як межі розділу повітряних мас з різними властивостями, обов'язково враховуючи історію процесу. Але при цьому один і той же фронт, проведений різними синоптиками розрізнятиметься. Тому на сьогоднішній день все ще проводяться роботи по автоматизації процесу проведення фронтів на картах погоди, яка базується на виділенні одного або декількох об'єктивних кількісних параметрів, за допомогою яких можна було б провести лінію фронту.

Досить цікавими, на наш погляд, є роботи (Shakina et al., 2000, 2001) присвячені розробці та детальній перевірці і аналізу фронтальних параметрів P , F та ψ :

- фронтальний параметр ψ в більшій мірі є характеристикою барокліності в шарі 850–500 гПа,

- параметр P враховує барокліність та циклонічність в нижній половині тропосфери,

- параметр F , що є по суті “комбінованим”,

тобто представляє собою складання двох попередніх параметрів.

Автори відмічають, що наведеними параметрами можна не тільки спрогнозувати зону атмосферного фронту (найбільш загострену ділянку), а також виявити області, де утворення опадів є найбільш вірогідними. Також в роботах авторів наведені критеріальні значення параметрів, при яких найбільш імовірні опади. При цьому велику увагу приділяють саме можливим причинам їх утворення.

В ранніх роботах (Shakina et al., 2000, 2001), дослідження параметрів проводився на даних за холодний період, тобто, коли вплив конвекції є мінімальним. В роботі Шакіної (Shakina et al., 2006) вже враховується динамічне вимушення висхідних рухів: фронтальний параметр F та рівень конвекції. В останніх роботах за даною тематикою (Shakina et al., 2006; Ivanova et al., 2008; Komashko et al., 2015) введено поняття векторного фронтогенезу та його складових (скалярного та обертального фронтогенезу) та проведена оцінка їхнього зв'язку з основними градаціями опадів.

2. Матеріали та методи

За основу, в наведеній роботі прийнято один із фронтальних параметрів (ψ) (Shakina et al., 2000), який вважається авторами лінійно пов'язаним

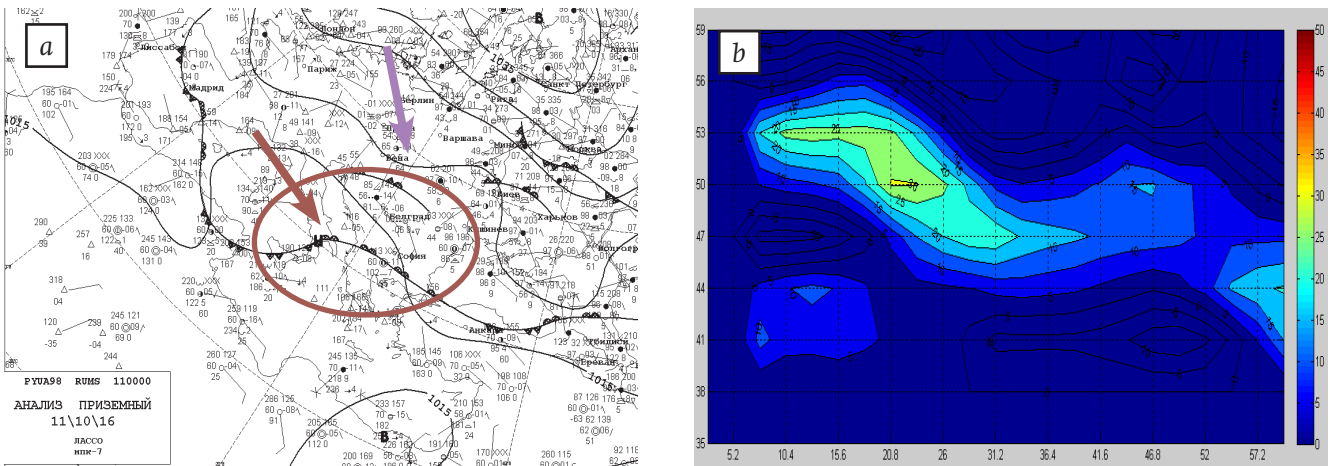


Рис. 1. а – карта приземного аналізу; б – поле фронтального параметру ψ за 11.10.2016 р. Червоним овалом – зона з опадами.

із вірогідністю проведення синоптиком лінії атмосферного фронту через заданий квадрат сітки.

Слід зазначити, що наведений метод дозволяє виділяти саме найбільш інтенсивні ділянки атмосферних фронтів (ті, що синоптик називає “загостреними”), тобто це області, де вірогідність утворення опадів найбільша (Shakina et al., 2000). Також авторами відзначається, що зв’язок сильних та дуже сильних опадів з параметром ψ значно кращий, ніж зі слабкими. Тобто, параметр ψ показує, що сильні опади в більшій мірі, ніж слабкі, відповідають зонам інтенсивної барокліності (Shakina et al., 2000).

Розглянемо, як цей метод спрацює для південних та північно-західних циклонів і чи є доцільним його використання для уточнення фронтальних розділів і прогнозу опадів.

Метою завданням дослідження є ідентифікація фронтальних розділів в полях фронтального параметра та зіставлення їх з полями опадів (використовуючи данні об’єктивного аналізу) з метою виявлення якісного і, по можливості, кількісного зв’язку між ними.

Для розрахунків і аналізу використовувався аеросиноптичний матеріал АРМСин (версія V 7.07 від 05.08.2013 р.), дані об’єктивного аналізу середньодобової кількості опадів, температури та вологості на ізобаричних поверхнях 850–500 гПа.

3. Результати дослідження

Відомо, що атмосферні фронти проявляються в полях хмарності, опадів, вітру, баричних тенденцій та ін. Отже, атмосферні фронти, що виділяються різними методами на картах погоди, повинні узгоджуватися з ознаками реальних фронтів, і, зокрема, бути зонами переважного випадання опадів.

В представленій роботі наявність фронтів будемо визначати за допомогою параметру ψ який, згідно Шакіної Н.П. (Shakina et al., 2000), розраховується за наступною формулою:

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

$$ZTE = - \sum_{850}^{500} \frac{R}{g} T_e \cdot \ln \left(\frac{p_{500}}{p_{850}} \right) \quad (2)$$

де за роботою Шакіної Н.П. (Shakina et al., 2000): R – питома газова стала, g – прискорення сили тяжіння, T_e – середня еквівалентна температура, ∇ – оператор градієнту, $nZTE$ – одиничний вектор, спрямований у бік зменшення ZTE , ZTE – еквівалентна товщина шару від 850 до 500 гПа. З формули видно, що являється характеристикою барокліності в шарі 850–500 гПа тому розрахунки велися саме в цьому шарі.

Значення тим більше, чим більша барокліність в шарі 850–500 гПа і по суті цей фронтальний параметр містить інформацію не лише про положення, але й про інтенсивність фронту.

Для аналізу відібрані випадки південного (11–14.10.2016 р.) та північно-західного (14–18.01.2018 р.) циклонів та пов’язаним з ними атмосферних фронтів.

Розрахунки виконано за допомогою програми MATLAB R2007b та спеціального скрипту до неї – FrontPSI.

Випадок з південним циклоном відібрали такий, що добре простежується по всім відомим стадіям його розвитку. Таким чином,

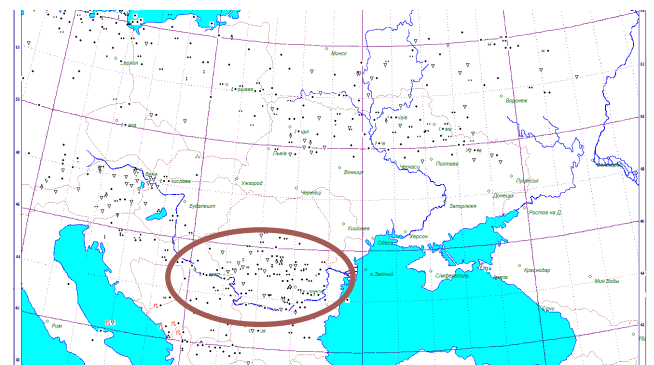


Рис. 2. Карта опадів за 11.10.2016 р. по території України.

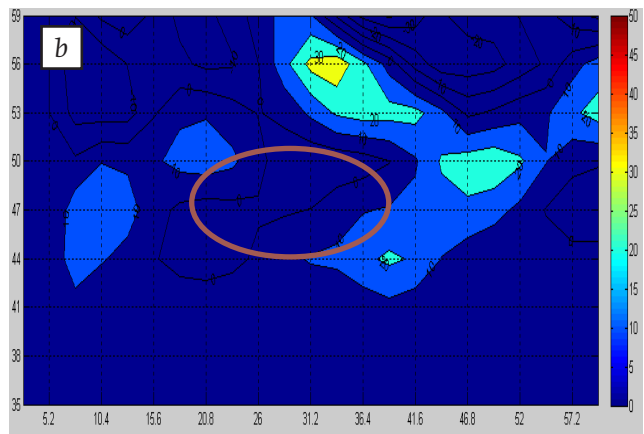
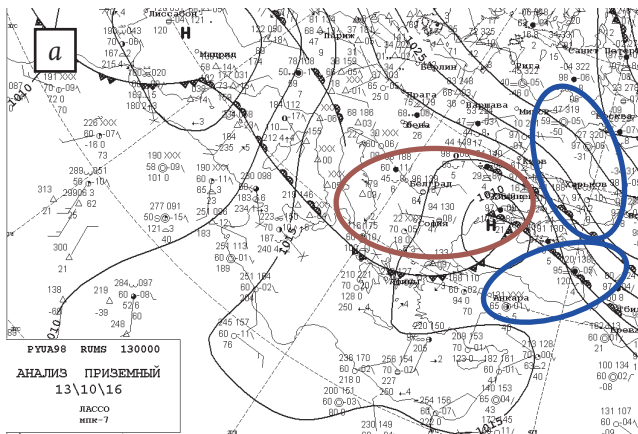


Рис. 3. а – карта приземного аналізу; б – поле фронтального параметру Ψ за 13.10.2016 р. Синіми овами на приземній карті позначено області, де фронтальний параметр має максимальні значення. Червоним овалом – зона з опадами.

ми сподівалися детально проаналізувати термодинамічну структуру атмосферних фронтів на фоні кожної стадії розвитку циклону, в межах якого він виник.

На Рис. 1а ми можемо побачити, хвилю на фронті, на якій в подальшому виник циклон. В полі фронтального параметру (Рис. 1б) хвиля визначається як незначні сплески значень параметру Ψ в заданій області ($\Psi \approx 12$). Таким чином, відмічається деяке збурення атмосфери в полях вологості та температури повітря на рівнях 850–500 гПа, що і спонукало виникненню хвилі.

Не дивлячись на те, що збурення досить незначне, на одній станції в цьому регіон відмічається гроза (перед холодним фронтом).

На Рис. 2 представлено карту фактичних опадів 11.10.2016 р., з якої видно, що вздовж приземної лінії теплового фронту відмічаються опади на багатьох станціях. Таким чином, при незначних збуреннях фронтального параметру ($\Psi \approx 10 \dots 12$) все ж таки можливе утворення опадів навіть зливого характеру.

Подальше формування циклону, його поступове поглиблення та досягнення стадії оклюдування (Рис. 3а) в полі фронтального параметру зовсім не проявилось (Рис. 3б).

Викликають до себе увагу в полях фронтального параметру області з достатньо великими значеннями фронтального параметру не пов'язані з даним циклоном (Рис. 3б).

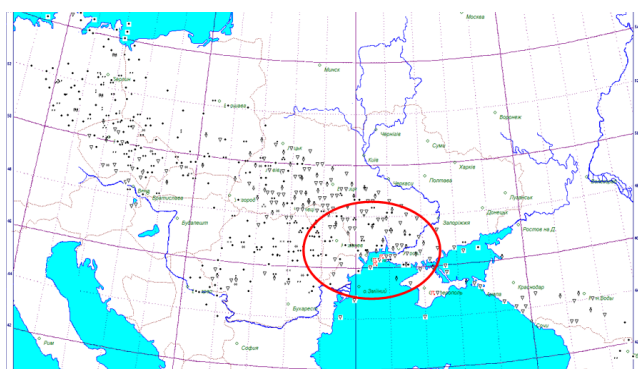


Рис. 4. Карта опадів за 13.10.2016 р. по території України.

Цим областям відповідає південна частина антициклону, вздовж якої спостерігається гілка полярного фронту з хвилями та північно–східна частина циклону.

На Рис. 4 можна побачити, що на південно–західній території України, в цей день, відмічаються опади різної інтенсивності. Таким чином, наявність великих значень параметру Ψ , в даному випадку, не узгоджується з фактичними опадами, які відмічалися на західній та північно–західній частині циклону.

Розглянемо наступний випадок вже з північно–західним (14–18.01.2018 р.) циклоном. Із Рис. 5а бачимо, що наведений північно–західний циклон регенерував і є достатньо глибоким (мінімальний тиск в центрі складає 997 гПа). Побудова поля фронтального параметру (Рис. 5б) показала, що його критичні значення пов'язані з центральною частиною баричного утворення та частково охоплюють передню та тилову периферію циклону. Таким чином, в результаті регенерації між передньою та тиловою частинами виникли значні контрасти в полі температури та вологості.

На Рис. 6б можна побачити, що в зоні, де відмічаються екстремальні значення параметру Ψ спостерігаються опади. Тобто, в даному випадку, фронтальний параметр добре узгоджується з фактичними опадами.

В наступні строки, зона з максимальними значеннями параметру зміщується від центральної частини циклону в його тил та на передні його периферії та відмічаються у вигляді окремих осередків.

В останній день існування даного циклону (Рис. 7а) бачимо фронтальну систему в південній та передній частинах даного циклону.

Із поля фронтального параметру можна зазначити, що критичним значенням Ψ відповідають деякі ділянки атмосферного фронту. Можна припустити, що ці ділянки є найбільш загострені. Цікавим є той факт, що вже в центрі циклону фронтальний параметр має мінімальні значення і, як бачимо із Рис. 8, в даній області не

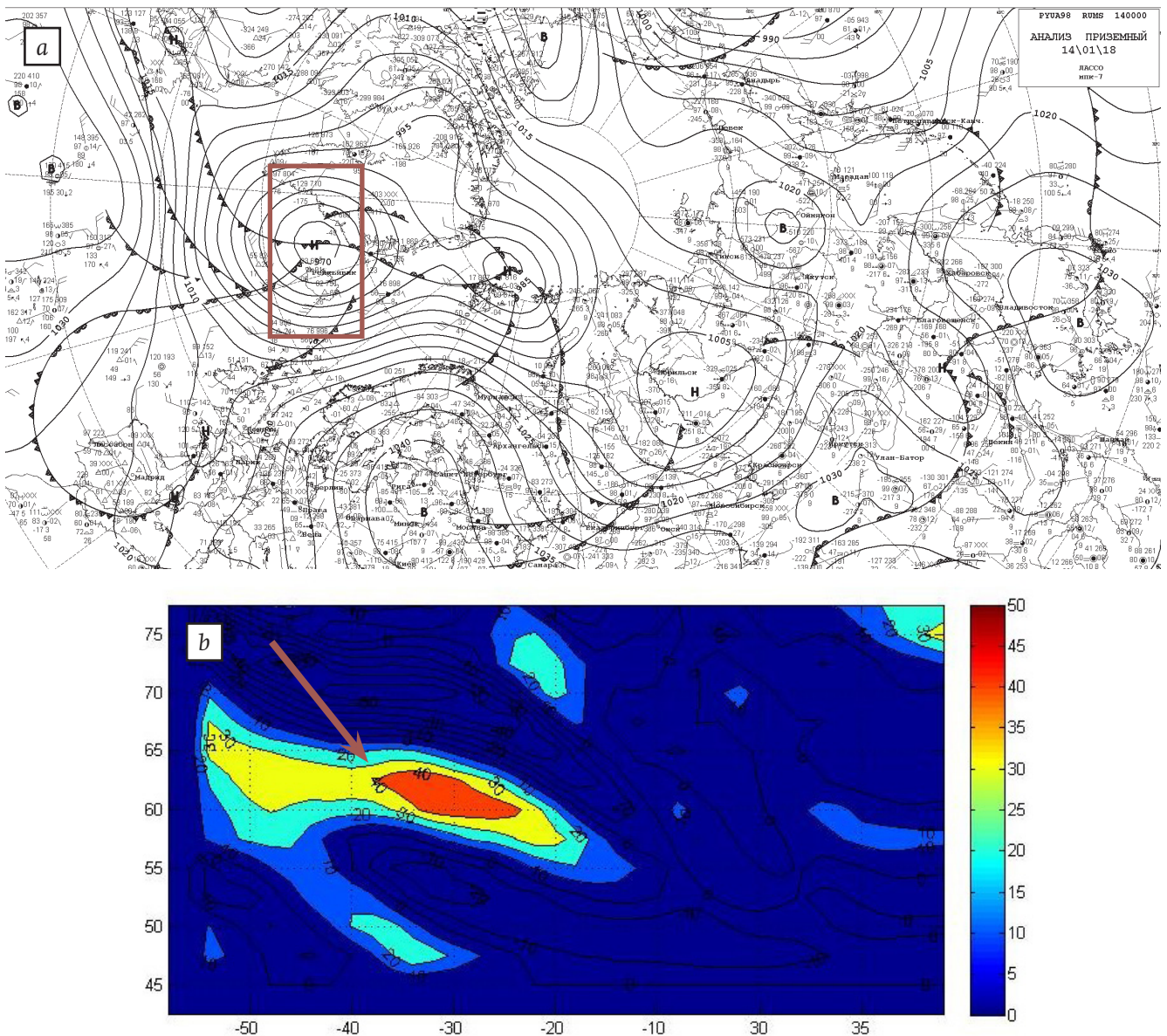


Рис. 5. а – карта приземного аналізу; б – поле фронтального параметру Ψ за 14.01.2018 р.

відмічаються опади.

Також, звертає на себе увагу той факт, що самі критичні значення фронтального параметру не співпадають з лініям атмосферних фронтів на приземній карті. Частіше всього вони

розташовуються за ним.

Співпадіння з лінією фронту відмічалось лише на перших стадіях розвитку циклону (в даній роботі це зафіксовано у випадку південного циклону).

4. Висновки.

Фронтальний параметр Ψ показав неоднозначні результати у випадку південного циклону. Виявили, що при достатньо малих його значеннях, опади все ж відмічались. Пояснити це можна тим, що розглядався випадок в холодний період (жовтень), коли конвекція вже слабка, а контрасти температур не достатньо високі.

Критичні значення фронтального параметру не завжди співпадають з лініям атмосферних фронтів на приземній карті. Частіше всього вони розташовуються за ним. Співпадіння простежувалося лише на початкових стадіях розвитку південного циклону.

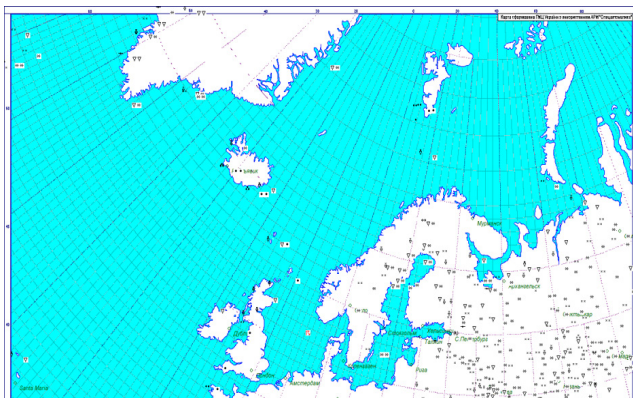


Рис. 6. Карта опадів за 14.01.2018 р.

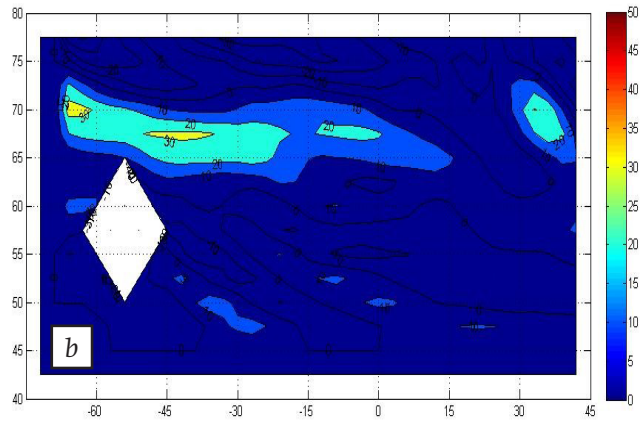
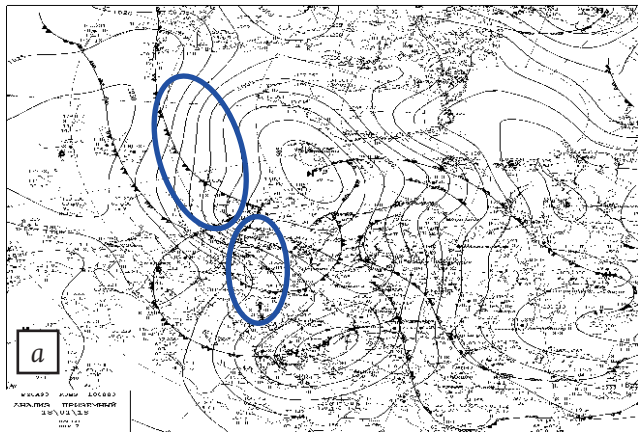


Рис. 7. а – карта приземного аналізу; б – поле фронтального параметру Ψ за 18.01.2018 р. Синіми овалами відмічено області з максимальними значеннями параметру Ψ .

Фронтальний параметр дозволяє виділяти невеликі, але найбільш інтенсивні фронтальні зони, в яких частота випадків випадання опадів висока. Так, відмітили, що при $\Psi > 10$ відмічається утворення опадів.

Використання фронтального параметру в синоптичній практиці, як допоміжного засобу при складанні прогнозів опадів поблизу фронтальної системи є доцільним, до того ж із проведеної роботи можна побачити, що він достатньо добре узгоджується з фактичними даними про опади.

Проведене дослідження підтвердило той факт, що об'єктивний аналіз атмосферних фронтів не повинен зводитися до комп'ютерного відтворення дій і логіки синоптика при їх проведенні, а скоріш дозволяє кількісно враховувати великий обсяг даних різного роду і отримати з доступною дискретністю значення фронтального параметра не тільки для виявлення наявності або відсутності фронту, а й для визначення ширини його зони, інтенсивності та просторової неоднорідності.

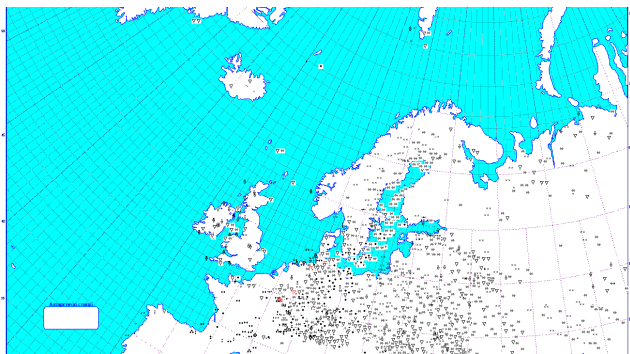


Рис. 8. Карта опадів за 17.01.2018 р.

Міщенко Н. М., Криворучко Д. С., Куляс У. А. Термічна та динамічна структура атмосферних фронтів. *Фізична географія та геоморфологія*, 2018, 91 (3), 44–49.

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса, Україна

Фронтологічний аналіз є найважливішим етапом обробки метеорологічної інформації синоптиком, який значною мірою спирається на свій досвід і уявлення про становище та характер атмосферних фронтів, що вносить певний відбиток суб'єктивізму. Як відомо, фронти проводять на основі їх визначення як зон розділу різних повітряних

Список посилань

- Shakina, N. P., Skriptunova, E. N., Ivanova, A. R. (2000). Obektivnyi analiz atmosferykh frontov i otsenka ego effektivnosti [Objective Analysis of Atmospheric Fronts and Estimation of Its Efficiency]. *Meteorologiya i Gidrologiya*, 7, 5–16.
- Shakina, N. P., Skriptunova, E. N., Ivanova, A. R. (2001). Raschet dinamicheskikh faktorov generatsii osadkov po dannym obektivnogo analiza [Computation of Dynamic Factors of Precipitation Generation from Objective Analysis Data]. *Meteorologiya i Gidrologiya*, 5, 22–34.
- Shakina, N. P., Skriptunova E. N. (2006). Spektry povtoryaemosti osadkov na territorii evropeyskoy chasti byvshego SSSR v zavisimosti ot intensivnosti frontalnykh zon i konvektivnoy neustoychivosti setochnogo masshtaba [Frequency Spectra of Precipitation in the Former European USSR Depending on the Intensity of Frontal Zones and Subgrid-Scale Convective Instability]. *Meteorologiya i Gidrologiya*, 4, 5–18.
- Shakina, N. P., Skriptunova, E. N., Ivanova, A. R. (2008). Prognosticheskaya znachimost dinamicheskikh faktorov generatsii osadkov [Significance of Dynamic Factors of Precipitation Generation for Forecasting]. *Meteorologiya i Gidrologiya*, 5, 31–44.
- Komas'ko, N. I., Shakina, N. P., Skriptunova, E.N., Ivanova, A.R. (2015). Vektornyi frontogenez kak faktor generatsii osadkov [Vector Frontogenesis as a Factor of Precipitation Generation]. *Meteorologiya i Gidrologiya*, 9, 5–19.

мас, з урахуванням структури баричного і термічного полів, характеру адвекції температури, опадів і т.і., але єдиних кількісних методів аналізу всіх факторів досі не існує. В свою чергу, дослідження атмосферних фронтів, хмарності та опадів, що йдуть за ними, а також їх параметризація є надзвичайно важливими як для авіації, так і для господарства України.

Об'єктивний аналіз атмосферних фронтів в представленій роботі здійснюється на базі кількісного аналізу особливостей полів метеорологічних величин в області фронту. Широке використання даних об'єктивного аналізу при цьому дозволяє скласти прогноз з достатньо великою завчасністю. В якості кількісних характеристик у практиці світових метеорологічних центрів використовують фронтальні параметри, які, в першу чергу, включають в себе горизонтальний градієнт температури, враховують структуру полів геопотенціалу, вологості, опадів, тип синоптичної ситуації та ін. (Shakina, 2000).

У представленій роботі проводиться просторово-часовий аналіз фронтального параметру Ψ в південних та північно-західних циклонах з ціллю виявлення взаємозв'язку його критичних значень з можливістю генерації опадів та використовувати даний параметр як допоміжну інформацію при проведенні атмосферних фронтів синоптиком-прогнозістом. В ході роботи виявлені деякі закономірності в розподілі опадів при різних значеннях фронтального параметру. Також представлені випадки, коли фронтальний параметр не узгоджується з полями опадів, що показує необхідність використовувати комбінацію декількох видів параметрів для більш точного їх прогнозу.

Ключові слова: атмосферні фронти, фронтологічний аналіз, фронтальний параметр, фронтологічний аналіз, прогноз опадів.