

УДК 551.589.1

Щеглов О.А.

Український гідрометеорологічний інститут, м. Київ

ЗИМОВІ СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ АНОМАЛЬНО-ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Ключові слова: *синоптичні процеси, екстремальні температури, аномально-високі температури, Україна.*

Вступ. Відомо, що у багатьох регіонах Європи зміни клімату сильно проявляються у кожному сезоні [5, 9]. Із цим пов'язують і зміну великомасштабної циркуляції атмосфери, що характеризується збільшенням частоти несприятливих погодних явищ [1, 14]. Вивчення та моніторинг синоптичних процесів, які призводять до аномальних температур повітря та інших екстремальних явищ становить важливий практичний інтерес і знаходить своє відображення у великій кількості робіт [8, 11, 14, 15]. В Українському гідрометеорологічному інституті під керівництвом В.Ф. Мартазінової також виконувалися подібні роботи [4, 6]. Для цього використовувалася класифікація полів тиску за методом еталонів синоптичних процесів [13]. Для подібних задач також можна залучати загальновідомі класифікації макропроцесів [2, 3].

Постановка завдання. Об'єктом дослідження є випадки аномально-високої температури повітря на території України та синоптичні процеси, що призводять до таких ситуацій взимку за даними вибірки 30 років (1987-2017 рр.). **Мета статті** – визначити типові зимові синоптичні процеси, що призводять до аномально-високої температури повітря на значній частині території України.

В роботі використовувалися дані реаналізу NCEP/NCAR Reanalysis 1 по приземній температурі, приземному тиску і геопотенціалу АТ-500 гПа у вузлах регулярної сітки [10]. Часовий інтервал вибірки – грудень-лютий 1987-2017 рр. Крок регулярної сітки бази даних по температурі повітря становить 1,875 градусів по довготі і широті. Така роздільна здатність є достатньою для визначення відмінностей просторового розподілу температури повітря при різних синоптичних ситуаціях. Також використано дані та картографічний матеріал відділу кліматичних досліджень та довгострокового прогнозу погоди УкрГМІ по просторовому розподілу приземного атмосферного тиску та геопотенціалу АТ-500 гПа в Атлантико-Європейському секторі. Для визначення аномально-високої температури повітря (далі – АВТ) було використано значення 95-го перцентиля фактичного розподілу температури у кожній точці регулярної сітки на території Атлантико-Європейського сектора. Однак, варто зазначити, що для визначення екстремальних температур в окремих роботах використовувався поріг 90-го перцентиля розподілу температури [7].

Із метою виділення великомасштабних і фільтрації дрібномасштабних процесів було введено критерій для визначення того, що потрібно вважати значною за площею (в масштабах обраного регіону) аномалією температури. Так, покриття додатними екстремальними аномаліями температури площі, наприклад, понад 50% території України, визначається великомасштабною атмосферною циркуляцією. Така територія приблизно зіставна із розмірами теплих секторів циклонів. Тому у

вибірку увійшли саме такі випадки (усього 110 випадків за 30 років). Для типізації синоптичних процесів було використано критерії аналогічності [13], що обчислювалися стосовно набору полів приземного тиску та геопотенціалу АТ-500 за 5-денні періоди (починаючи з двох днів до і до двох днів після появи значної за площею аномалії температури повітря). Серед критеріїв аналогічності перевагу було надано евклідовій метриці або RMSE (root-mean-square error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}}, \quad (1)$$

де x, y – значення тиску або геопотенціалу в i -тій точці регулярної сітки відповідних полів, що порівнюються, n – кількість вузлів сітки в секторі; а також критерію подібності за знаком аномалій:

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}, \quad (2)$$

де n_+ – кількість співпадаючих знаків аномалії температури у вузлах регулярної сітки, n_- – кількість не співпадаючих знаків аномалії температури у вузлах регулярної сітки полів приземного тиску або геопотенціалу, що порівнюються між собою.

Високі значення середніх п'ятиденних критеріїв аналогічності (вище 0,5 для ρ та менше 2,5 гПа для RMSE, розрахованого для приземного тиску) дозволяють групувати окремі дати. Остаточне рішення щодо віднесення процесів до певного типу приймалося після аналізу синоптичних карт. Основний принцип групування процесів – схожість положень та траєкторій баричних утворень. Повторюваність типів процесів визначалася як відношення кількості днів із АВТ при окремому типі процесів до загальної кількості днів із АВТ на території України (110 випадків).

Виклад основного матеріалу. На рис. 1а зображено просторовий розподіл значень 95-го перцентилу розподілу денної приземної температури повітря за грудень-лютий 1987-2017 рр. у помірних широтах у Східній Європі. Просторовий розподіл характеризується високими значеннями у південних районах з температурою вище 6-8 °С та поступовим зниженням на північний схід, де відмічаються температури ближче до 0°С. На території України значення температури по 95-му перцентилю складає близько 2 °С на північному сході і близько 3-4 °С на решті території. Рис. 1б відображає просторовий розподіл верхньої межі АВТ, що відповідає абсолютному максимуму температури повітря в кожній точці регулярної сітки (за вибіркою 1987-2017 рр.).

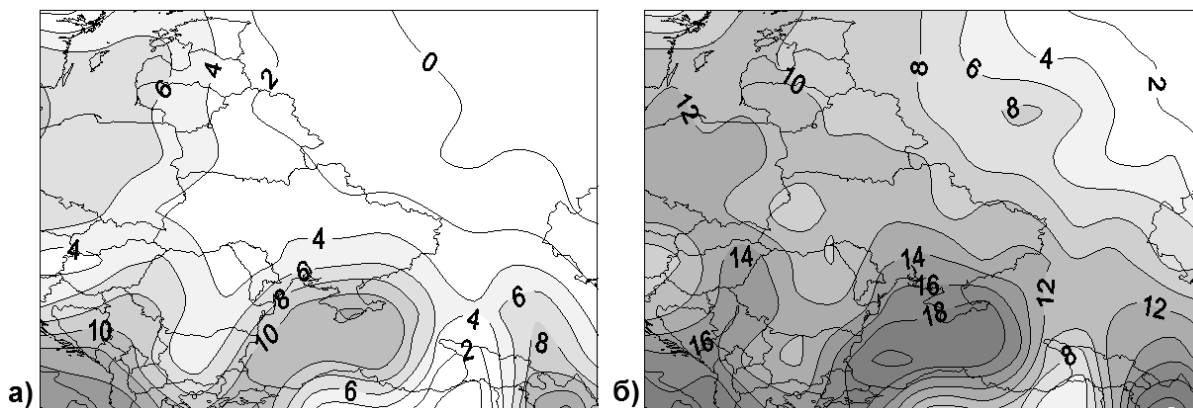


Рис. 1. а) просторовий розподіл значень 95-го перцентилу приземної температури повітря, б) абсолютного максимуму температури повітря (грудень-лютий 1987-2017 рр.)

Просторовий розподіл значень абсолютного максимума подібний по конфігурації до попереднього поля, але при цьому значення вищі: в південних районах – до 20 °С, на північному сході сектора – 2-6 °С. Порівнюючи рис.1а з рис.1б, можна відмітити, що найбільшим діапазон АВТ є над Чорним морем і Півднем України. Аномально-високі температури вище 95-го перцентиля проявлялися із різною частотою протягом періоду 1987-2017 рр. Порівняльний аналіз зміни частоти високих температур у зимовий сезон дозволив виявити їх збільшення у другій половині періоду (а саме – в 2003-2017 рр.) відносно першої половини (1987-2002 рр.) над південною частиною України. Незначне підвищення було виявлено над західними регіонами країни. На рис.2 зображено відношення повторюваності АВТ для зазначених періодів. Зміна повторюваності прояву високих температур в центральних і східних районах України незначна. Збільшення частоти випадків аномально-високих температур в останні роки над територією Чорного моря і південними регіонами України вимагають подальшого дослідження.

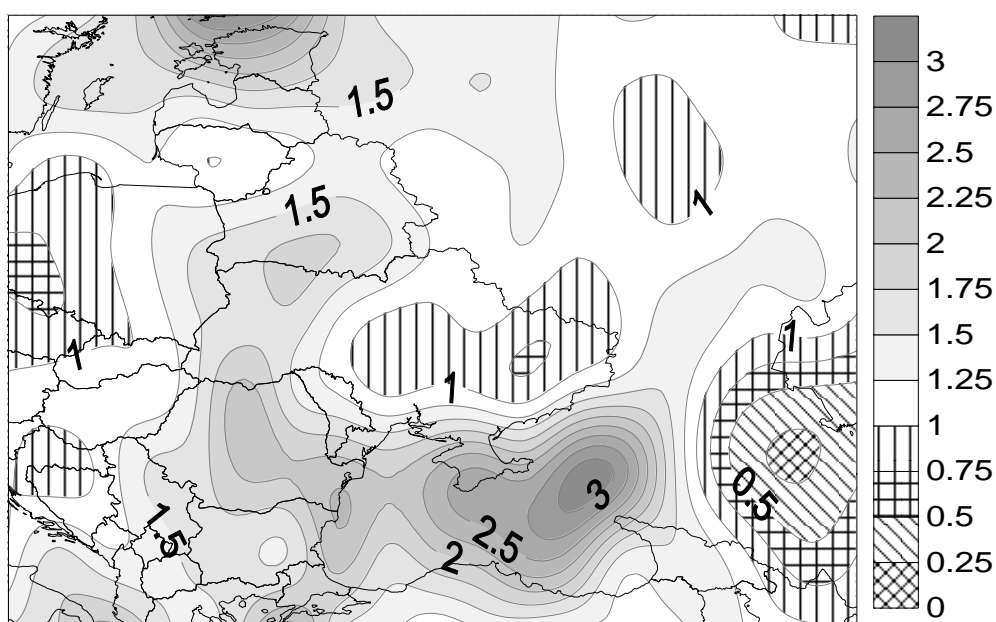


Рис. 2. Відношення повторюваності АВТ в період 2003-2017 рр. щодо періоду 1987-2002 рр.

Основні синоптичні процеси, що призводять до АВТ в Україні у зимовий період. Типізація полів тиску приведенного до рівня моря та даних геопотенціалу АТ-500 з випадками АВТ повітря в Україні, була отримана за допомогою критеріїв аналогічності, що описані вище. Всі процеси з високими зимовими температурами мають різний характер. Так, зональний характер потоків повітря в нижньому шарі створює біля поверхні землі над територією України тривалі високі зимові температури. Меридіональні процеси в тропосфері проявляються у нестабільності температурного режиму біля поверхні землі і призводять до різких перепадів температури повітря. Швидке зміщення меридіональних процесів призводить до зміни температури від екстремально-низьких значень за рахунок повітряних мас, які надходять з півночі по східній периферії висотного гребня або до екстремально-високих, які надходять із південним повітряним потоком по західній периферії висотного гребня. Зупинимося на основних синоптичних процесах, що призводять до АВТ в Україні в зимовий період.

I тип. Формування стійкого високого температурного фону над Європою і територією України створюється за допомогою розширеної області високого тиску субтропічного походження, яка створює яскраво виражений зональний процес як біля поверхні землі, так і на середньому рівні тропосфери (Рис.3б,в). Температурний режим при такій синоптичній ситуації може зберігатися протягом двох і більше тижнів. За винятком гірських масивів, температурний фон на решті території в центральній і східній частині Європи варіює слабо (Рис.3а). В останні десятиліття цей синоптичний процес має найбільшу повторюваність (47% випадків з АВТ), і тому більшість зимових місяців характеризуються тривалими періодами зі стійким температурним режимом.

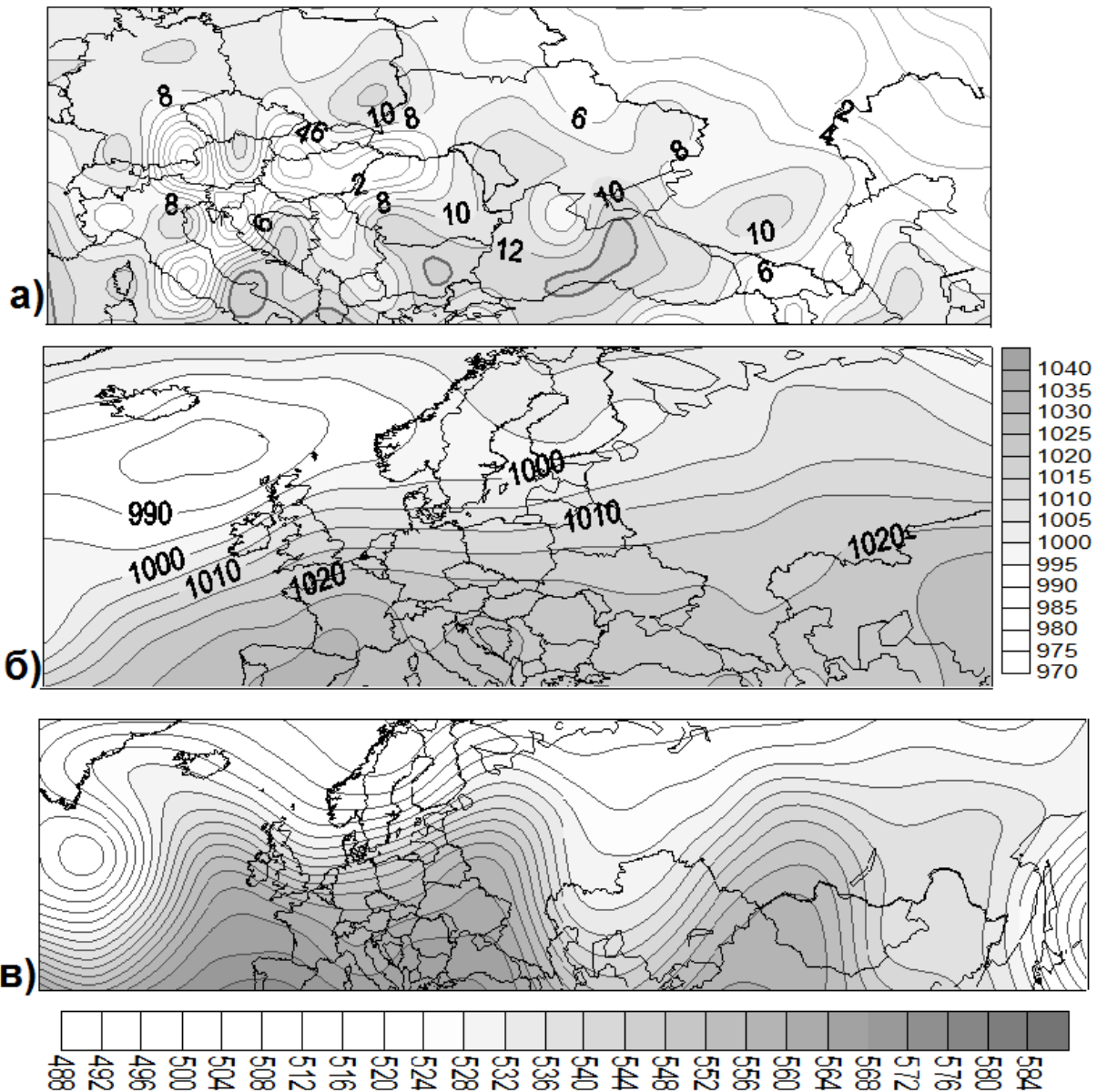


Рис. 3. Приклад процесу I типу: а) просторовий розподіл приземної температури повітря, °С, б) приземного тиску приведеного до рівня моря, гПа, в) геопотенціалу АТ-500, дам

Тип II. Формування високих зимових денних температур взимку (Рис.4а). над територією Центральної і Східної Європи, в тому числі над територією України в діапазоні вище нуля і до 10-16 °С відбувається за рахунок виходу субтропічного

максимуму високого тиску (Рис.4б). На середньому рівні тропосфери цей максимум підтримується висотним гребенем меридіонального характеру (Рис.4в). Як було зазначено вище, різко меридіональні атмосферні процеси є нестійкими і тривалість теплового процесу в даному випадку над територією України може зберігатися протягом 5-6 днів. Після цього високий температурний фон може різко змінюватися від'ємними температурами. Повторюваність процесів із АВТ другого типу складала приблизно 22%.

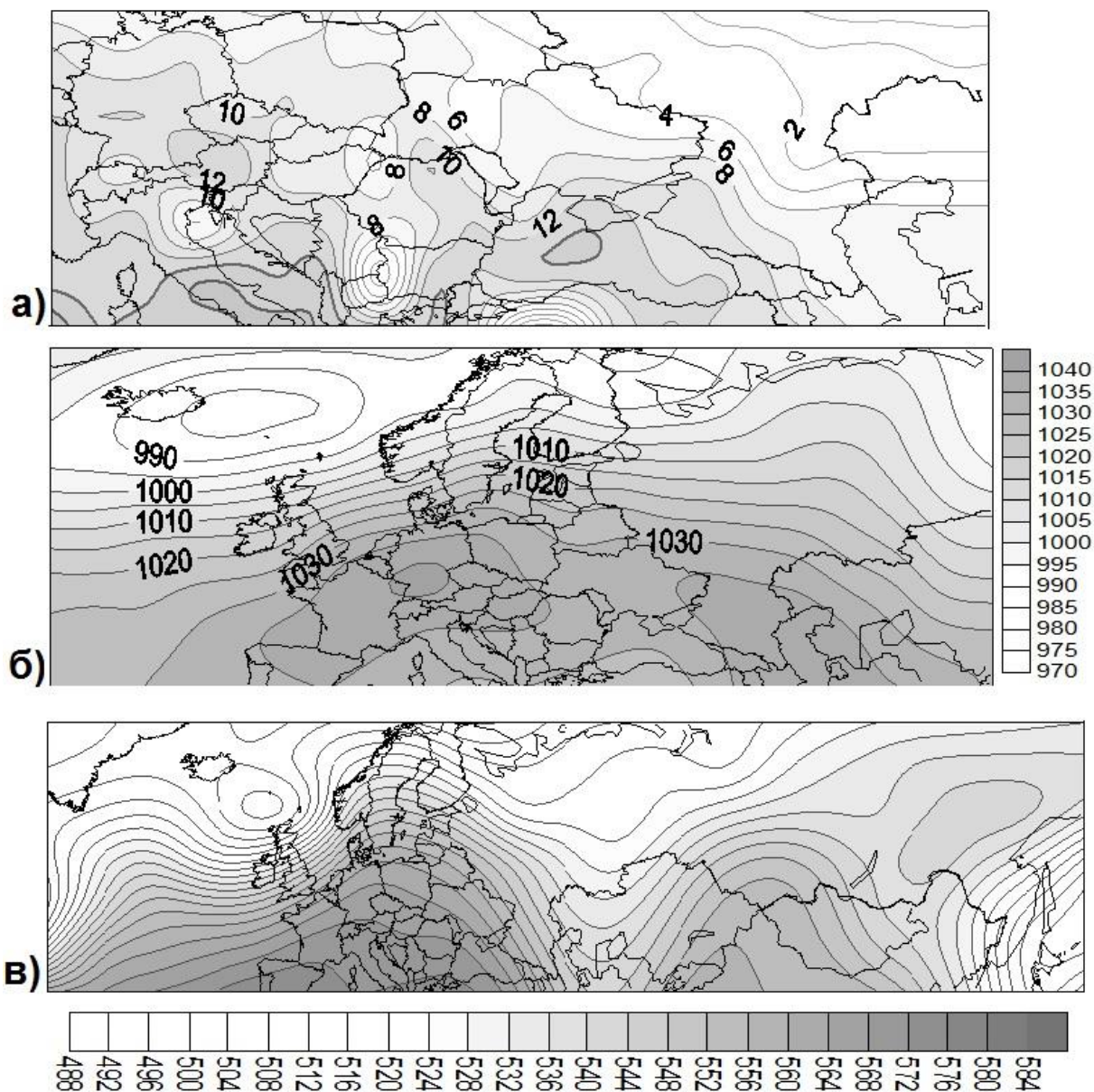


Рис. 4. Приклад процесу II типу: а) просторовий розподіл приземної температури повітря, °С, б) приземного тиску приведенного до рівня моря, гПа, в) геопотенціалу АТ-500, дам

III тип. Третій тип процесів, які також формують високий температурний режим над значною частиною України, характеризується меншою повторюваністю – 11%. На рис.5а показано, що при таких процесах в південних районах обраної території температура може підвищуватися до 14-16 °С. Такий процес пов'язаний із виходом південних циклонів, які проходять через територію України і тим самим створюють підвищений температурний фон (Рис.5б). На середньому рівні тропосфери

приземному полю тиску відповідає меридіональний процес з висотним циклонічним утворенням над всією Європою, який створює умови для зміщення південного циклону біля земної поверхні південними потоками на межі висотного гребеня та висотної улоговини (Рис.5в).

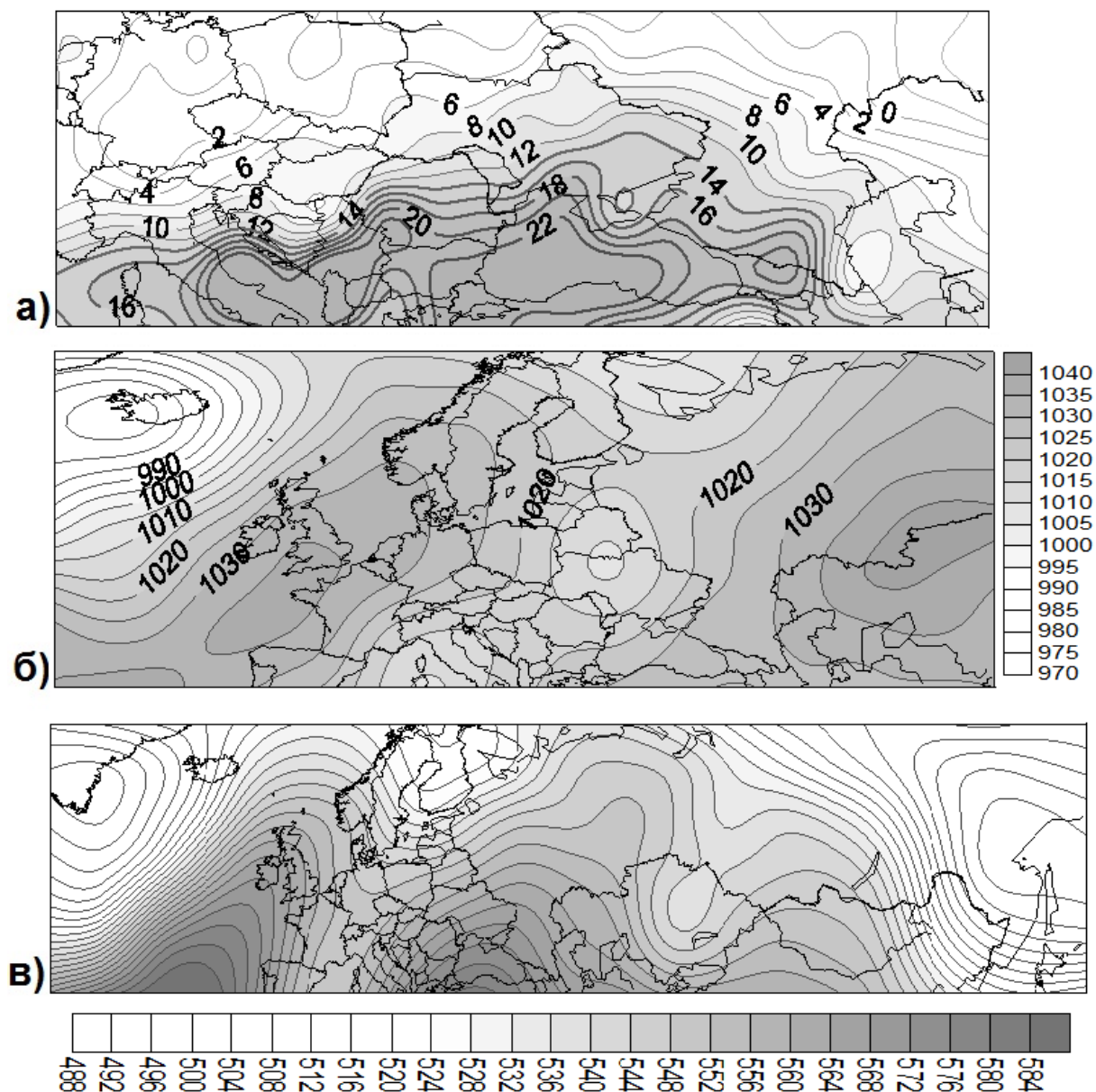


Рис. 5. Приклад процесу III типу: а) просторовий розподіл приземної температури повітря, °С, б) тиску приведенного до рівня моря, гПа, в) геопотенціалу АТ-500, дам

В цілому потрібно зазначити, що всі три типи процесів зумовлюють підвищення температури повітря на території України вище 0 °С, а в окремих випадках (ближче до весни або осені) – до 10-16 °С, що перевищує граничне значення 95-перцентилля для більшої частини України. Найбільшою є частота першого типу процесу. Третій тип процесів є екстремальним не тільки в контексті створення умов для прояву АВТ над Україною, але може призводити до сильних і навіть екстремальних опадів у вигляді дощу або мокрого снігу. Решта 20 % синоптичних процесів із АВТ в Україні характеризуються різними положеннями циклонів або системи циклонів над центральною, західною або південною частинами Європи, тому їх не було об'єднано в окремий тип.

Висновки. Таким чином, частота аномально-високих температур в останні десятиліття збільшилася над південною частиною України, відмічено незначне підвищення частоти випадків АВТ над західними регіонами країни. Формування високого температурного фону над територією України створюють три основні типи синоптичних ситуацій, які мають різну ймовірність та тривалість прояву. Найбільш стійким і найбільш ймовірним є перший тип синоптичних ситуацій, який характеризується зональністю атмосферних рухів. Еволюція поля тиску першого типу синоптичної ситуації приводить до появи третього типу, який відзначається виходом південного циклону. Другий тип синоптичних процесів має меншу ймовірність по відношенню до першого типу. Тривалість другого типу значно поступається тривалості першого типу синоптичних процесів, що визначається різко-меридіональним характером атмосферних рухів у тропосфері.

Список літератури

1. Боков В. Н., Воробьев В. Н. Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата. Ученые Записки. 2010. №13. С. 83-88. 2. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 488 с. 3. Дзердзеевский Б.Л., Монин А.С. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы и индекс циркуляции. Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1954. № 6. С. 562-574. 4. Звіт про НДР №1/12 «Фізико-статистичний аналіз та прогноз зміни сучасного клімату регіонів України для підтримання сталого розвитку економіки України», УкрГМІ, 2014. № держреєстрації 0112U004651. 5. Мартазинова В. Ф., Иванова Е. К., Щеглов А. А. Тенденция современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счет атмосферных процессов в летний сезон. Наук. Пр. УкрГМІ, 2016. Вип. 268. С. 15-24. 6. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К. Использование синоптической информации методов плавающего и традиционного аналогов в представлении текущих синоптических процессов. Наук. Пр. УкрНДГМІ, 2008. вип.257. С. 5-15. 7. Cohen J., James A., Screen J.A., Furtado J.C., Barlow M., Whittleston D., Coumou D., Francis J., Dethloff K., Entekhabi D., Overland J., Jones J. Recent Arctic amplification and extreme midlatitude weather. Nature Geoscience. 2014. N.7. P. 627-637. 8. Domonkos P., Kysely, Piotrowicz K., Petrovic P., Iikso T. Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. Int. J. Climatol, 2003. 23. 9871010. 9. G. J. van Oldenborgh et al. Western Europe is warming much faster than expected. Clim Past. 2009. 5. 1-12. 10. Kalnay, E. et al.: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. 77. 437471. 11. Loikith P.C., Broccoli A.J. Characteristics of Observed Atmospheric Circulation Patterns Associated with Temperature Extremes over North America. J. Climate. 2012. 25. 72667281. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00709.1>. 12. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Long term analysis of heatwaves in Ukraine. International Journal of Climatology. 2013. DOI : 10.1002/jo., P.3792. 13. Martazinova V. The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs. J. Environ. Sci. Eng., 2005. 7. P. 61-65. 14. Pfahl S. Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2014. 14. 1461-1475. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1461-2014>. 15. Tomczyk A.M., Bednorz E. Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. International Journal of Climatology, 2016. Vol. 36(2). P. 770782.

References

1. Bokov V. N., Vorob'ev V. N. Izmenchivost' atmosfornoj cirkuljacii i izmenenie klimata. Uchenye Zapiski. 2010. №13. S. 83-88. 2. Girs A.A. Makrocirkuljacionnyj metod dolgosrochnyh meteorologicheskikh prognozov. L.: Gidrometeoizdat, 1974. 488 s. 3. Dzerdzeevskij B.L. Monin A.S. Tipovye shemy obshhej cirkuljacii atmosfery i indeks cirkuljacii. Izv. AN SSSR. Ser. geofiz. 1954. № 6. S. 562-574. 4. Zvit pro NDR №1/12 «Fizyko-statystychnyyanaliz ta prohnoz zminy suchasnoho klimatu rehioniv Ukrayiny dlya pidtrymannya staloho rozvytku ekonomiky Ukrayiny», UkrHMI, 2014. № derzhreyestratsiyi 0112U004651. 5. Martazinova V.F., Ivanova E.K., Shheglov A.A. Tendencija sovremennogo temperaturno-vlazhnostnogo rezhima Ukrainy k anomal'nosti za

schet atmosferynyh processov v letnij sezon . Nauk. Pr. UkrGMI. 2016. Vip. 268. S. 15-24. **6.** *Martazinova V.F., Ivanova E.K.* Ispol'zovanie sinopticheskoy informacii metodov plavajushhego i tradicionnogo analogov v predstavlenii tekushhijh sinopticheskijh processov. Nauk. Pr. UkrNDGMI vip.257 2008. S. 5-15. **7.** *Cohen J., James A., Screen J.A., Furtado J.C., Barlow M., Whittleston D., Coumou D., Francis J., Dethloff K., Entekhabi D., Overland J., Jones J.* Recent Arctic amplification and extreme midlatitude weather . Nature Geoscience. 2014. N.7. P. 627-637. **8.** *Domonkos P., Kysely, Piotrowicz K., Petrovic P., Iikso T.* Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. Int. J. Climatol. 2003. 23. 9871010. **9.** *G. J. van Oldenborgh et al.* Western Europe is warming much faster than expected. Clim Past. 2009. 5. 1-12. **10.** *Kalnay, E. et al.:* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. 77. 437471. **11.** *Loikith P.C., Broccoli A.J.* Characteristics of Observed Atmospheric Circulation Patterns Associated with Temperature Extremes over North America. J. Climate. 2012. 25. 72667281. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00709.1>. **12.** *Shevchenko O. , Lee H., Snizhko S., Mayer H.* Long term analysis of heatwaves in Ukraine. International Journal of Climatology. 2013. DOI : 10.1002/joc.,P.3792. **13.** *Martazinova V.* The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs. J. Environ. Sci. Eng., 2005. 7. P. 61-65. **14.** *Pfahl S.* Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2014. 14. 1461-1475. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1461-2014>. **15.** *Tomczyk A.M., Bednorz E.* Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. International Journal of Climatology, 2016. Vol. 36(2). 770782.

Зимові синоптичні процеси при аномально-високих температурах повітря в Україні
Щеглов О.А.

Досліджено випадки з аномально-високою температурою повітря вище 95-го перцентилія фактичного розподілу у кожній точці регулярної сітки над Україною та суміжними регіонами. Виявлено збільшення частоти випадків з аномально-високою температурою повітря в останні роки відносно кінця 20 століття над південною та західною частинами України. Наводиться опис типових процесів, що призводять до аномально-високої температури повітря за останні 30 років (1987-2017 рр.) в Україні. Виділено три основні типи синоптичних процесів, що призводять до аномально-високої температури повітря. Один з виділених типів характеризується зональністю і два – меридіональністю повітряних потоків у тропосфері.

Ключові слова: синоптичні процеси, екстремальні температури, аномально-високі температури, Україна.

Зимние синоптические процессы при аномально-низких температурах воздуха в Украине
Щеглов А.А.

Исследованы случаи с аномально-высокой температурой воздуха выше 95-го перцентилія фактического распределения в каждой точке регулярной сетки над Украиной и смежными регионами. Вывявлено увеличение частоты случаев с аномально-высокой температурой воздуха относительно конца 20 века над южной и западной частями Украины. Приводится описание типовых процессов, приводящих к случаям с аномально-высокой температурой воздуха за период 1987-2017 гг. в Украине. Выделены три основных типа синоптических процессов, приводящих к аномально-высокой температуре воздуха. Один из выделенных типов характеризуется зональностью и два – меридиональностью воздушных потоков в тропосфере.

Ключевые слова: синоптические процессы, экстремальные температуры, аномально-высокие температуры, Украина.

Winter synoptic processes with extreme high air temperatures in Ukraine
Shcheghlov O.A.

The cases with an extreme high air temperature above 95th percentile of distribution at each point of the regular grid over Ukraine and neighboring regions are investigated. An increase in the frequency of cases with extreme high air temperatures in the last years relative to the end of the 20th century over the southern and western parts of Ukraine was revealed. A description is given for the typical processes that lead to extreme high air temperatures over the past 30 years (1987-2017) in Ukraine. There are three main types of synoptic processes that lead to extreme high air temperatures. One of the distinguished types is characterized by zonal and two – by meridional air flows in the troposphere. All three types of processes cause an increase in the air temperature in the territory of Ukraine to 0 °C and higher, sometimes to 10-

ISSN:2306-5680 **Hidrolohiiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2018. № 3 (50)**

16°C, which exceeds the value of 95-percentile air temperatures for most of Ukraine. The highest frequency is for the first type of processes. The third type of processes is extreme not only in the context of creating extreme temperature events over Ukraine, but it can lead to extreme precipitation of both liquid and solid forms. The first group of processes is characterized by the expanded area of subtropical high pressure, which creates a pronounced zonal process at both surface and middle level of the troposphere. The temperature regime during such synoptic situation can be high within two or more weeks. The formation of high winter temperatures in winter by processes of the second type for the territory of Central and Eastern Europe, including the territory of Ukraine in the range above zero and up to 10-12 °C, occurs due to the expanded subtropical high pressure. The third type of process involves the northward movement of cyclones that pass through the territory of Ukraine and thereby transfer warm air masses in the warm sector.

Keywords: synoptic processes, extreme temperatures, temperature anomaly, Ukraine.

Надійшла до редколегії 14.09.2018

УДК 551.501.8+551.576

Шпиг В.М., Заблоцька Т.М., Гуда К.В.

Український гідрометеорологічний інститут
ДСНС України та НАН України, м. Київ

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФРОНТАЛЬНИХ ХМАРНИХ СИСТЕМ: СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ

Ключові слова: фронтальні хмарні системи, мікрофізичні характеристики, супутникові спостереження, літакові зондування, радіолокаційні вимірювання

Вступ. Вивчення хмарного покриву актуальне як для оцінки змін клімату, побудови моделей загальної циркуляції атмосфери, так і для вирішення більш прикладних завдань – визначення різних факторів щодо безпечності польотів авіації (бовтанка, обледеніння, грозові розряди, потужні вертикальні рухи); поглинання електромагнітних хвиль для радіо-, теле- чи космічного зв'язку; для сільського господарства (оскільки внаслідок зміни радіаційного балансу земної поверхні змінюється режим температури та вологи діяльного шару ґрунту й приземного шару повітря). Останнім часом величезних втрат економіці різних держав світу завдають природні стихійні явища [45], зокрема, сильні опади, грози, град, буревії, які зумовлені насамперед дією атмосферних фронтів [1], тому внутрішня їх будова потребує детальнішого вивчення. На сьогоднішній день це є можливим завдяки літаковому зондуванню атмосфери, радіолокаційним та супутниковим спостереженням.

Метою даної роботи є вивчення сучасного стану питання щодо технічних можливостей інструментальних досліджень мікрофізичних характеристик фронтальних хмарних систем, застосування результатів цих досліджень для вирішення прикладних та теоретичних задач.

Широкомаштабні літакові зондування хмарності розпочались у 60-ті роки ХХ ст., майже одночасно у зарубіжних країнах та у колишньому Радянському Союзі. За кордоном вони проводились у межах виконання конкретних експериментів, а в СРСР були організовані стаціонарні систематичні спостереження на всій території, які і нині мають велике значення у пізнанні хмар. Наразі на території США, Канади, КНР, країн ЄС та ін. держав продовжуються різні експерименти щодо вивчення хмар та вдосконалюється вимірювальна апаратура. Як приклад, можна надати характеристику сучасної апаратури із майже миттєвим визначенням та високою точністю мікрофізичних параметрів хмар на літаку-метеолобораторії С-130 в