



УДК 551.589.1

Щеглов О.А.,
науковий співробітник
Український гідрометеорологічний інститут
Державної служби України з надзвичайних ситуацій
та Національної академії наук України

ЗИМОВІ СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО ФОРМУЮТЬ ЗНАЧНІ ЗА ПЛОЩЕЮ ОСЕРЕДКИ З АНОМАЛЬНО ВИСОКОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ В СХІДНІЙ ЄВРОПІ

У роботі наводиться опис типових процесів, що призводять до аномально високих температур повітря, за останні 30 років (1987–2017 рр.) у Східній Європі. Виділено три основні групи процесів, що призводять до значних за площею аномалій температури повітря, які відмічаються одночасно на території понад 25% обраного сектора. Три групи ситуацій описують 67% усіх епізодів із крупними осередками аномально високих значень температури повітря вище 95-го перцентиля фактичного розподілу в кожній точці регулярної сітки в Східноєвропейському секторі.

Ключові слова: синоптичні процеси, екстремальні температури, аномально високі температури, Східна Європа.

В работе приводится описание типовых процессов, приводящих к аномально высоким температурам, за период 30 лет (1987–2017 гг.) в Восточной Европе. Выделены три основные группы процессов, приводящих к значительным по площади аномалиям температуры воздуха, которые отмечаются одновременно на территории более 25% выбранного сектора. Три группы ситуаций описывают 67% всех эпизодов с крупными очагами аномально высоких значений температуры воздуха выше 95-го перцентиля фактического распределения в каждой точке регулярной сетки в Восточноевропейском секторе.

Ключевые слова: синоптические процессы, экстремальные температуры, аномально высокие температуры, Восточная Европа.

Shcheglov O.A. WINTER SYNOPTIC PROCESSES THAT CAUSE LARGE ANOMALIES OF EXTREME HIGH AIR TEMPERATURES OVER EASTERN EUROPE

The paper describes typical synoptic processes that led to extreme-high temperatures for the last 30 years (1987–2017) in Eastern Europe. There are three main groups of processes that lead to significant air temperature anomalies for the period of 12 UTC, which are observed simultaneously over more than 25% of the selected domain. Those three groups of situations describe 67% of all episodes with large areas of extremely high air temperature above the 95th percentile of the distribution function for each grid points in the Eastern European sector. For the synoptic processes of the first group, the characteristic feature is the presence of a deep circumpolar low belt above the northern polar zone at the 500 hPa level. It causes a powerful zonal air flow. For the surface pressure field, there is a movement of a cyclone or a series of cyclones from the North Sea towards Scandinavia or northern Russia. In the case of the processes of the second group, an upper trough is observed over Western Europe for several days. The Eastern European sector is covered by the upper ridge or being under its western periphery. For the surface pressure field, a system of cyclones with typical locations over Great Britain, Scandinavia and Central Europe is observed. The typical configuration of the field at the 500 hPa level for the processes of the third group is characterized by an upper trough extending from Scandinavia to Central Europe or affecting the western part of the Eastern European sector. Nearly 67% of days with large areas with extremely high air temperatures included in the catalogue refer to the mentioned in the article three groups of synoptic processes. From the sample of 30 years 1987–2017, the first group of processes describes 10 episodes, the second – 13 episodes and the third – 7 episodes. The remaining 35% of days with large anomalies are mostly short-lived and observed during several or even one day. Moreover, such anomalies are characterized by fewer areas of coverage and typically observed over the south or south-west part of the domain.

Key words: synoptic processes, extreme temperatures, abnormally high temperatures, Eastern Europe.

Постановка проблеми. Короткочасні підвищення температури в помірних широтах, у тому числі в Східній Європі, зумовлені затоками повітряних мас із тропіків у ході

обміну теплом між тропічними й полярними широтами. Хоча в літературі традиційно більше уваги присвячується саме спекотним процесам у літній сезон [10; 19; 22], у цій роботі

увага приділяється аномально високим температурам повітря взимку. Відомо, що в Північній півкулі потепління клімату сильно проявляється саме взимку [16]. Зі змінами клімату також пов'язують зміну великомасштабної циркуляції атмосфери, що характеризується збільшенням частоти несприятливих погодних явищ [1; 12; 14]. Збільшення частоти температур вище нуля взимку не тільки призводить до більш інтенсивного танення Арктичного та Антарктичного льодового покриву, а й може призводити до руйнування сезонного снігового покриву, типового для значної частини Східної Європи [9; 13]. Чи не найбільш несприятливою така ситуація є для аграрної галузі та вирощування озимих культур. Танення снігового покриву також зумовлює зміни рівнів води в річках. Тому вивчення й моніторинг синоптичних процесів, які призводять до аномальних температур повітря та інших екстремальних явищ, має важливий практичний інтерес і знаходить відображення у великій кількості робіт [3; 7; 15; 18; 21; 23]. В Українському гідрометеорологічному інституті під керівництвом В.Ф. Мартазінової також виконувалися подібні роботи [6; 11]. Для цього використовувалася класифікація полів тиску за методом еталонів синоптичних процесів [20]. Для таких розвідок також можна залучати загальновідомі класифікації макропроцесів [2; 4; 5; 8].

Постановка завдання. Проте в статті ми фокусуємося більше на регіональному масштабі процесів. Мета публікації – визначити типові зимові синоптичні процеси, що призводять до значних за площею осередків аномально високої температури повітря, а також визначити найбільш імовірні зони їх прояву в помірних широтах Східної Європи. Об'єктом дослідження є осередки з аномально високою температурою повітря (вище 95-го перцентилу розподілу), що охоплюють значну частину (понад 25%) території Східної Європи, та синоптичні процеси, які призводять до таких ситуацій узимку, за даними вибірки 30 років (1987–2017 рр.).

Виклад основного матеріалу дослідження. Для аналізу температури повітря було виділено сектор з 15 град. сх. д. до 50 град. сх. д., із 40 град. пн. ш. до 60 град. пн. ш. У роботі використано дані реаналізу NCEP/NCAR Reanalysis 1

за приземною температурою, приземним тиском і геопотенціалом АТ-500 гПа [17]. Часовий інтервал вибірки – грудень 1987 р. – лютий 2017 р. Варто зазначити, що крок регулярної сітки бази даних за температурою повітря досить великий – 1,875 градусів по довготі й широті. Проте за першого наближення така просторово-роздільна здатність є достатньою для визначення відмінностей просторового розподілу температури повітря за різних синоптичних ситуацій. Як граничний поріг для визначення аномально високої температури повітря (далі – АВТ) було використано значення 95-го перцентилу фактичного розподілу температури в кожній точці регулярної сітки. Хоча варто зазначити, що для визначення екстремальних температур у деяких роботах використовувався 90-відсотковий поріг [9; 14]. Важливо розуміти, що оскільки південні регіони характеризуються більш високими температурами повітря, а цей підхід враховує локальні кліматичні особливості, то це призводить до відкидання випадків порівняно теплих днів у південних районах, які вважалися б аномальними на півночі сектора.

У ході роботи поля температури трансформувалися в бінарний вигляд (у нулі й одиниці залежно від того, чи спостерігається екстремальна аномалія в цій точці). Згадана процедура дає змогу в подальшому обрахувати індекс, який характеризує площу, яку займають значні аномалії температури повітря кожного дня (рис. 1). Сумування таких полів дає змогу визначити найбільш імовірні локалізації осередків з екстремальними аномаліями температури загалом (рис. 2б) або для окремих груп процесів (рис. 3, рис. 4, рис. 5).

З метою виділення великомасштабних та фільтрації дрібномасштабних процесів було введено критерій для визначення того, що необхідно вважати значною за площею (у масштабах обраного сектора) аномалією температури. Для цього використовувався аналогічний принцип, як і для виділення порогу аномальності, – вище значення 95-го перцентилу. Для площі покриття АВТ такий критерій становить приблизно 20% усієї площі сектора. Очевидно, що така територія приблизно зіставна з розмірами теплих секторів циклонів, однак останні все ж можуть сильно варіювати залежно від особливостей розподілу атмосферного тиску.

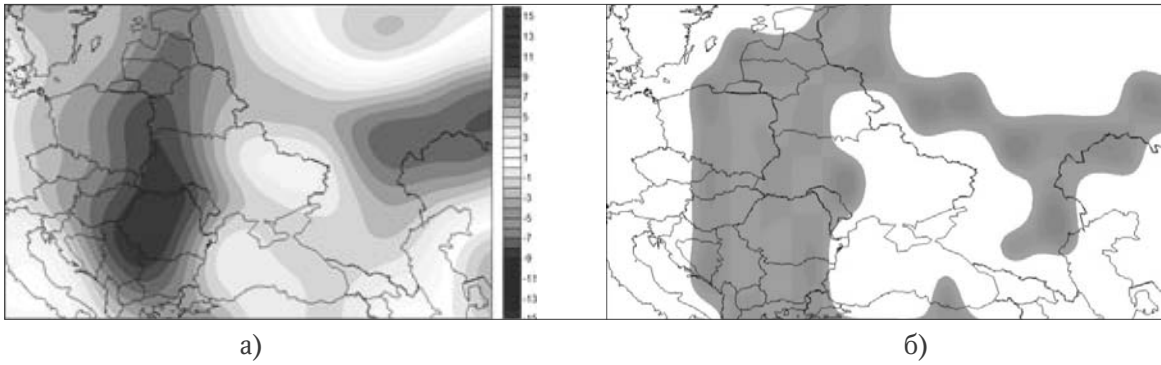


Рис. 1. Приклад епізоду зі значним осередком АВТ повітря: а) фактичне поле аномалій температури (від норми 1981–2010 рр.); б) територія, на якій аномалії температури перевищують поріг 95-го перцентиля

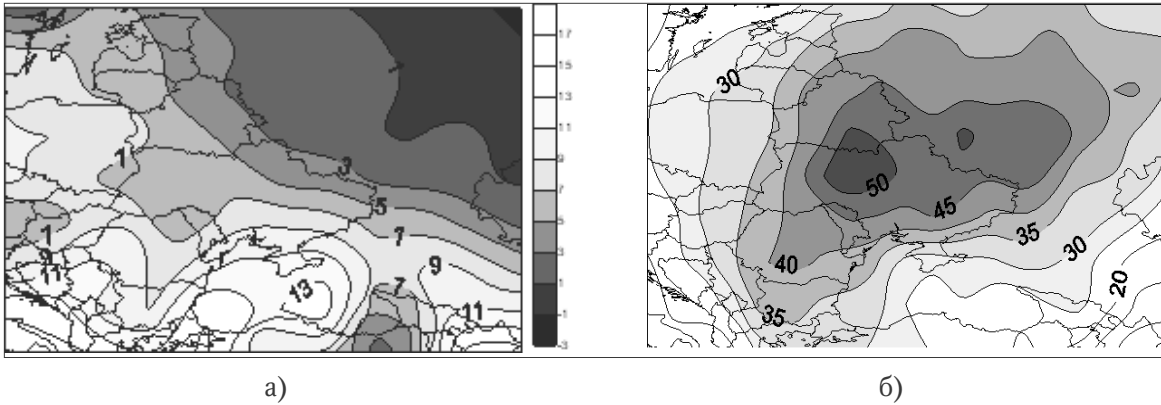


Рис. 2. Карти розподілу й локалізації АВТ: а) просторовий розподіл значень 95-го перцентиля приземної температури повітря (грудень 1987 р. – лютий 2017 р.); б) повторюваність локалізації значних осередків АВТ, що покривають понад 20% території одночасно

Допоміжним засобом під час групування процесів слугували критерії аналогічності [20], що обчислювалися стосовно набору полів приземного тиску та геопотенціалу АТ-500 за 5-денні періоди (починаючи з двох днів до та до двох днів після появи значної за площею аномалії температури повітря). Серед критеріїв аналогічності перевагу було віддано 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 коефіцієнту кореляції Пірсона:

$$r = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} , \quad -1 \leq r \leq 1 , \quad (2)$$

де в чисельнику – коваріація, у знаменнику – добуток стандартних відхилень двох полів, що порівнюються.

У статті використані синоптичні карти з інтернет-ресурсу [24].

На рис. 2а зображено просторовий розподіл значень 95-го перцентиля приземної температури повітря (для вибірки за грудень 1987 р. – лютий 2017 р.) за 12 UTC. Характерним є те, що практично для всієї території цей поріг АВТ відповідає додатнім за шкалою Цельсія температурам повітря. Просторовий розподіл визначається зниженням значень на північний схід, де на території Російської Федерації значенню 95-го перцентиля відповідають температури 0–3°C. Зона, що включає в себе Кубань, північну частину України вище 48-ї паралелі, Білорусь та Прибалтику, характеризується значеннями 3–7°C. Відповідні температури над територією Польщі, Румунії та північною частиною Балкан варіюють у межах 7–10°C, тоді як Чорне море й більшість південної частини сектора має температури понад 10°C.

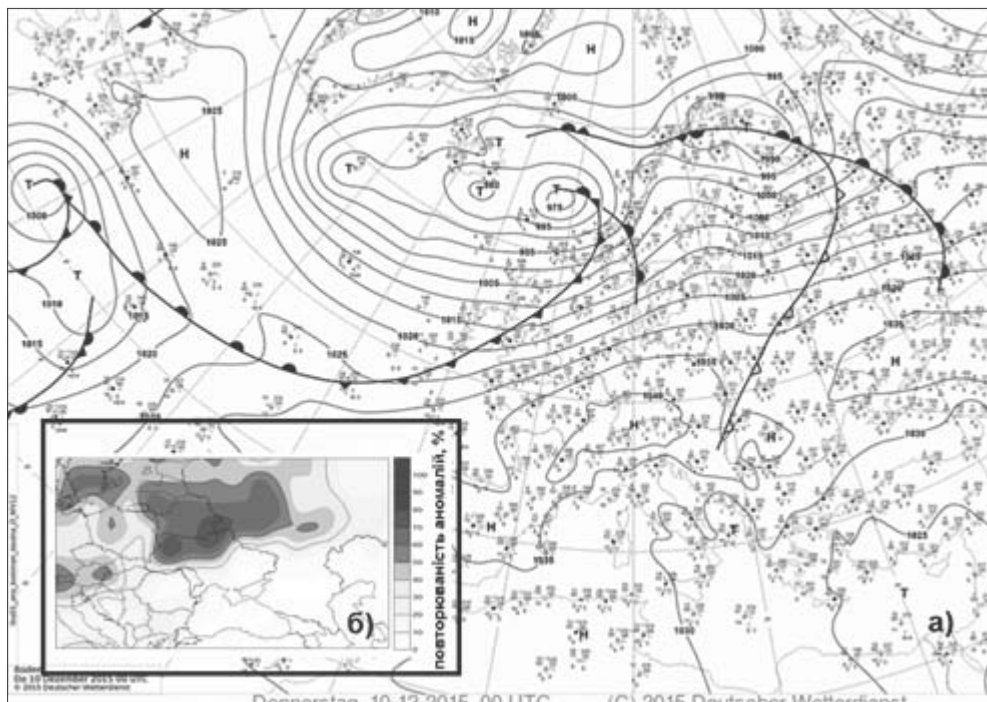


Рис. 3. Карти для процесів 1 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного за площею осередку АВТ; б) повторюваність значних за площею осередків АВТ

На рис. 2б зображено карту повторюваності локалізації значних за площею осередків АВТ, що покривають понад 20% території одночасно. Хоча максимум у центрі зони не є чимось неочікуваним з огляду на розмір аномалій щодо загальної площі сектора, однак числове значення повторюваності дає певну інформацію. Максимум повторюваності близько 50% і навіть величини 30–45% для більшої частини території вказують на значний територіальний розкид локалізації осередків АВТ для різних процесів. Це у свою чергу свідчить про можливість типізації процесів за локалізацією прояву крупних аномалій температури. За 30 років (1987–2017 рр.) виділено 45 епізодів (загалом 216 днів), за яких аномалії температури вище порогу 95-го перцентиля одночасно спостерігалися більше ніж на 20% території Східно-європейського сектора. Виділено три основні групи процесів, які пояснюють близько 67% випадків аномалій. Далі зупинимося на узагальненому описі цих процесів.

Процеси 1 групи належать до зонального типу циркуляції та створюють західне перенесення теплих повітряних мас до Східної Європи. Характерною ознакою цієї групи про-

цесів є наявність розвиненого циркумполярного вихору над північною полярною зоною. Вихор зумовлює зональне перенесення повітря в середній тропосфері. У приземному полі тиску відбувається переміщення циклону або серії циклонів із Північного моря в напрямку Скандинавії або півночі європейської території Росії (рис. 3а). Східна Європа в день зі значним осередком АВТ перебуває в теплому секторі циклону. Висотна фронтальна зона під час таких процесів зміщена на північ приблизно в район 60-65-ї паралелі. У районі Середземномор'я спостерігається антициклон, який може зміщуватися на схід. Таким чином, у помірних широтах створюються умови для поширення теплої повітряної маси з Атлантики. Перебування південної й південно-східної частини сектора під впливом східної периферії антициклону призводить до застою холоду в цю зону, що добре проявляється на рис. 3б у формі невисокої повторюваності осередків тепла. Аномально тепле повітря під час таких процесів займає значну площу Східної Європи – переважно північну та північно-західну частину сектора (рис. 3б). При цьому можуть спостерігатися також холодні фронти,

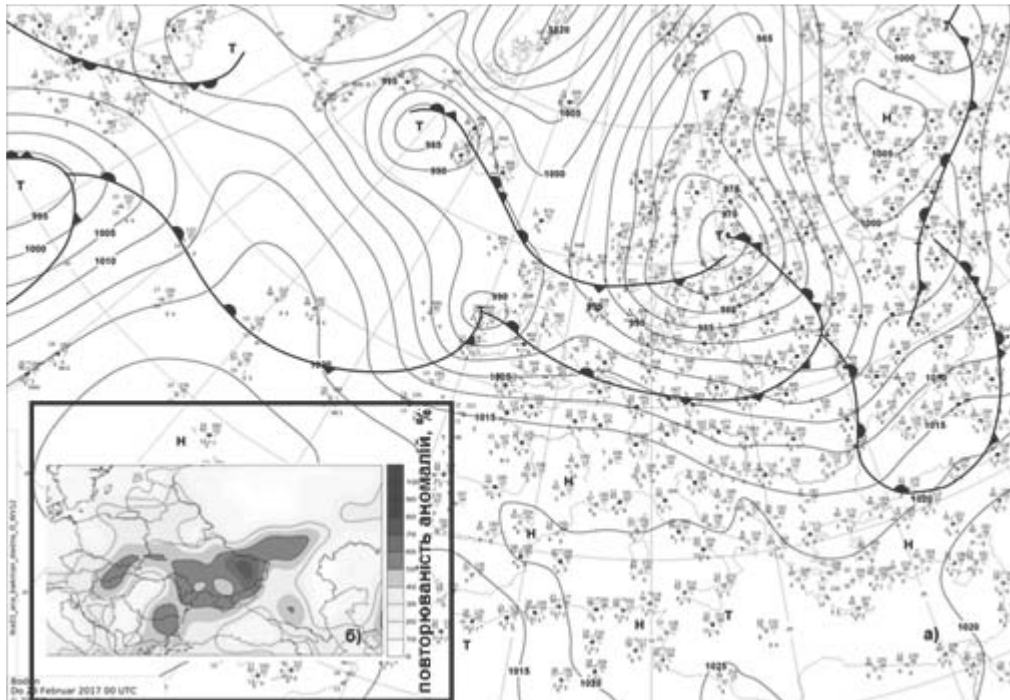


Рис. 4. Карти для процесів 2 групи (див. підпис до рис. 1)

однак вони слабо впливають на високий температурний фон (рис. 3а).

На рис. 4б зображена карта-схема найбільш імовірного поширення осередків АВТ за **процесів 2 групи**, а також приклад синоптичної карти в день наявності значних аномалій (рис. 4а).

У разі процесів 2 групи над Західною Європою декілька днів спостерігається висотна улоговина. Східна Європа перебуває в полі дії висотного гребеня або його західної периферії. У полі приземного тиску спостерігається система циклонів із типовим положенням над Великою Британією, Скандинавією та Центральною Європою (рис. 4а). При цьому сибірський максимум зміщений далеко на схід, а над територією Казахстану виділяється окремий антициклон. Циклон над Скандинавією блокується та поступово об'єднується із циклоном, що рухається на схід із району Великої Британії. Під час таких процесів аномально високі температури характерні насамперед для центральних частин Східноєвропейського сектора (рис. 4б). Цей процес часто перебудовується в процеси першої групи, унаслідок чого тепла погода продовжується на декілька днів уже після зміни процесу.

Висотне поле геопотенціалу АТ-500 під час **процесів 3 групи** характеризується висотною

улоговиною, що простягається зі Скандинавії на Центральну Європу або зачіпає західну частину Східноєвропейського сектора. Меридіональний рух повітря зумовлює надходження теплого повітря вздовж західної периферії висотного гребеня, вісь якого спрямована від Балканського півострова в напрямку Білого моря. На приземній карті над Західною Європою та над територією Росії розташовуються антициклони (рис. 5а). Також у приземному полі ситуація характеризується наявністю циклону над Скандинавією з улоговиною, що має вісь, орієнтовану на Чорне море або Балкани. Процеси третьої групи створюють різні наслідки для двох частин сектора: аномально високі температури найчастіше виділяються в межах південної половини сектора, тоді як розподіл тиску сприяє затокам холодного повітря в західні райони сектора. Відповідно, північно-західна частина сектора не може мати значну повторюваність високих температур повітря, що й відображено на рис. 5б. Найчастіше осередки крупних аномалій аномально високих температур повітря під час процесів третьої групи локалізуються над Чорним морем та півднем України (рис. 5б), а також у східній частині сектора.

До окремої групи процесів також можна віднести вихід південного циклону на територію

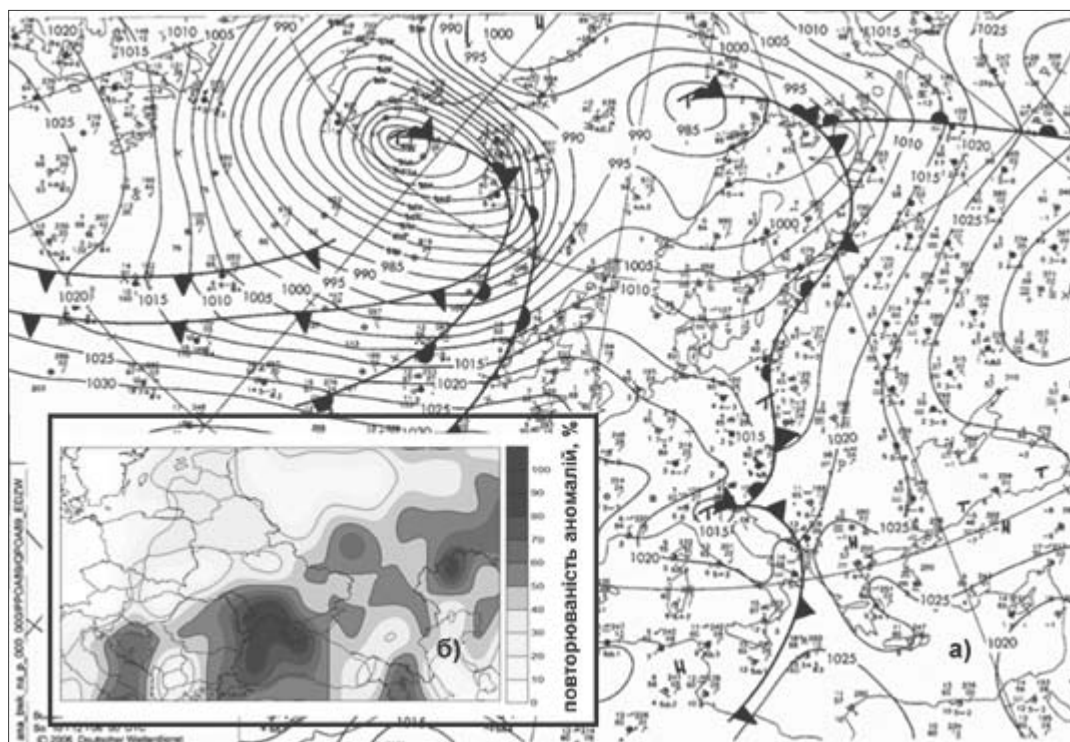


Рис. 5. Карти для процесів 3 групи (див. підпис до рис. 1)

України або Поволжя. Ці процеси характеризуються високими температурами повітря, а також можуть призводити до екстремальних опадів у вигляді дощу чи мокрого снігу. Такі процеси також зумовлюють різкі коливання температури, оскільки на зміну короткостроковому потеплінню під час зміщення циклону в його тилу відбувається адвекція холодного повітря.

Висновки з проведеного дослідження. Створено каталог процесів, що формують значні за площею осередки аномально високих температур повітря в Східній Європі. Близько 67% днів зі значними осередками аномально високих температур повітря, що увійшли до вибірки, належать до наведених трьох груп синоптичних процесів. З вибірки за 30 років (1987–2017 рр.) перша група процесів описує 10 епізодів, друга – 13 епізодів, третя – 7 епізодів. Решта 35% днів зі значними за площею аномаліями переважно короткочасні та спостерігаються впродовж декількох або навіть одного дня. Крім цього, такі випадки характеризуються меншою площею аномалій і спостерігаються переважно в південній або південно-західній частині сектора.

Варто також підкреслити, що в роботі використано критерій 95% функції розпо-

ділу для визначення АВТ та площу понад 25% площі сектора. Зменшення площі чи порогу для визначення аномально високих температур збільшить вибірку, що у свою чергу може вплинути на типізацію процесів. Однак вказані вище групи процесів проявляються як за дещо нижчих аномалій температури, так і за менших площ осередків АВТ повітря. З іншого боку, вказані групи процесів не спостерігаються для вибірки ситуацій із температурами, нижчими за норму, та аномально низькими температурами повітря в Східній Європі. Отже, такий каталог процесів дасть змогу розпізнавати потенційні екстремальні ситуації в межах схеми довгострокового деталізованого прогнозу аномалій температури повітря за ансамблем процесів-аналогів. Карті-схеми найбільш імовірного розміщення осередків АВТ для різних груп процесів можуть бути використані як прогностичний матеріал.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Боков В.Н., Воробьев В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2010. № 13. С. 83–88.



2. Вангенгейм Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики. Труды Арктического и антарктического научно-исследовательского института. 1952. Т. 34. С. 314.
3. Воскресенская Е.Н., Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П. Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: збірник наукових праць. 2009. Вип. 258. С. 189–200.
4. Гирс А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 488 с.
5. Дзержевский Б.Л., Монин А.С. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы и индекс циркуляции. Известия Академии наук СССР. Серия «Геофизика». 1954. № 6. С. 562–574.
6. Звіт про НДР № 1/12 «Фізико-статистичний аналіз та прогноз зміни сучасного клімату регіонів України для підтримання сталого розвитку економіки України». URL: http://ndr.dsns.gov.ua/wp-content/uploads/delightful-downloads/2018/08/1-12уменш_Часть1.pdf.
7. Ивус Г.П., Агайар Э.В., Гурская Л.М., Семергей-Чумаченко А.Б. Циркуляционные условия возникновения сильного и стихийного ветра над южным западом Украины. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 17. С. 38–48.
8. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзержевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.
9. Кренке А.Н., Разуваев В.Н., Китаев Л.М., Мартуганов Р.А., Шакирзянов Р.И. Снежность на территории СНГ и его регионов в условиях глобального потепления. Криосфера Земли. 2000. Т. IV. № 4. С. 97–106.
10. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Щеглов А.А. Тенденция современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счет атмосферных процессов в летний сезон. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. 2016. Вип. 268. С. 15–24.
11. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К. Использование синоптической информации методов плавающего и традиционного аналогов в представлении текущих синоптических процессов. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. 2008. Вип. 257. С. 5–15.
12. Переведенцев Ю.П., Мохов И.И., Елисеєв А.В. Теория общей циркуляции атмосферы. Казань: Казанский университет, 2013. 224 с.
13. Cavalieri D.J., Parkinson C.L. Arctic sea ice variability and trends, 1979–2010. The Cryosphere. 2012. № 6. P. 881–889.
14. 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. № 7. P. 627–637.
15. Domonkos P., Kysely J., Piotrowicz K., Petrovic P., Likso 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. P. 987–1010.
16. Oldenborgh G.J. van et al. Western Europe is warming much faster than expected. Clim Past. 2009. № 5. P. 1–12.
17. Kalnay E. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. № 77. P. 437–471.
18. Loikith P.C., Broccoli A.J. Characteristics of Observed Atmospheric Circulation Patterns Associated with Temperature Extremes over North America. J. Climate. 2012. № 25. P. 7266–7281. URL: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00709.1>.
19. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Long term analysis of heatwaves in Ukraine. International Journal of Climatology. 2013. Vol. 34. № 5. P. 3792.
20. Martazinova V. The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs. J. Environ. Sci. Eng. 2005. № 7. P. 61–65.
21. Pfahl S. Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2014. № 14. P. 1461–1475. URL: <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1461-2014>.
22. Tomczyk A.M., Bednorz E. Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. International Journal of Climatology. 2016. Vol. 36. Iss. 2. P. 770–782.
23. Tomczyk A.M. Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe. Idojaras. 2016. № 120. P. 395–414.
24. Wetterzentrale. URL: <http://www.wetterzentrale.de/>.