

**Щеглов Олександр Андрійович,**

наук. співроб., Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України,

просп. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,

e-mail: [aleshcheglov@gmail.com](mailto:aleshcheglov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5702-6285>

## **ЗИМОВІ СИНОПТИЧНІ ПРОЦЕСИ, ЩО ФОРМУЮТЬ ЗНАЧНІ ЗА ПЛОЩЕЮ ОСЕРЕДКИ З АНОМАЛЬНО-НИЗЬКОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ У СХІДНІЙ ЄВРОПІ**

В роботі наводиться опис типових процесів, що призводять до аномально-низьких температур за останні 20 років (1997-2017 рр.) у Східній Європі. У якості критеріїв для визначення аномально-низької температури (АНТ) прийнято значення 5-го перцентилля функції розподілу приземної температури повітря у кожній точці регулярної сітки у помірних широтах Східної Європи. Досліджено повторюваність значних осередків із АНТ та їх типові локалізації при різних синоптичних процесах. З вибірки 1997-2017 рр. за грудень-лютий виділено 75 епізодів з АНТ, серед яких 13 епізодів займали більш ніж 30% території Східної Європи і тривали від 2 до 11 днів, а також 12 випадків із тривалістю один день. Випадки, при яких аномалії займають від 20 до 30% території, рідко тривають більше 2-3 днів (11 епізодів), при цьому відзначено 33 випадки тривалістю один день. Повторюваність АНТ площею менше 20% сектора є більш характерною для південних і південно-західних частин Східної Європи, а їх тривалість переважно становить один день. Виділено п'ять основних груп процесів, що призводять до значних осередків з АНТ, які описують 75% усіх випадків. Перша група процесів у полі приземного тиску характеризується виходом чорноморського циклону на територію Поволжя та зміцненням заключного антициклону з Північного Льодовитого океану через північний захід Росії на Прибалтику та Скандинавію. Процеси другого типу пов'язані із Сибірським максимумом, що розширюється із Західного Сибіру на Східну Європу. Третя група процесів характеризується вторгненням холодних повітряних мас в тилу пірнаючих циклонів. Процеси четвертої групи описують північно-західні вторгнення холодного повітря при зміцненні антициклону із Західної Європи і подальшим стаціонаруванням над Скандинавією. Процеси п'ятої групи є різновидом процесів першої групи і характеризуються виходом південного циклону із траєкторією, зміщеною західніше – на східну або центральну частини України при посиленні скандинавського антициклону.

**Ключові слова:** синоптичні процеси, аномально низькі температури, Східна Європа.

**А. А. Щеглов. ЗИМНИЕ СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ФОРМИРУЮЩИЕ КРУПНЫЕ ОЧАГИ АНОМАЛЬНО-НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ.** В работе приводится описание типовых процессов, приводящих к аномально-низким температурам за последние 20 лет (1997-2017 гг.) в Восточной Европе. В качестве критериев аномально-низких температур (АНТ) принято значение 5-го перцентилля функции распределения приземной температуры воздуха в каждой точке регулярной сетки в умеренных широтах Восточной Европы. Исследована повторяемость крупных очагов с АНТ и их типичные локализации при различных синоптических процессах. Из выборки 1997-2017 гг. за декабрь-февраль выделено 75 эпизодов с АНТ, среди которых 13 эпизодов занимали более 30% территории Восточной Европы и с продолжительностью от 2 до 11 дней, а также 12 случаев с продолжительностью один день. Случаи, при которых аномалии занимают от 20 до 30% территории, редко длятся более 2-3 дней (11 эпизодов), при этом отмечено 33 случая продолжительностью один день. Повторяемость АНТ площадью менее 20% сектора более характерна для южных и юго-западных частей Восточной Европы, а их продолжительность преимущественно составляет один день. Выделено пять основных групп процессов, приводящих к значительным очагам с АНТ, которые описывают 75% всех случаев. Первая группа процессов в поле приземного давления характеризуется выходом черноморского циклона на территорию Поволжья и смещением заключительного антициклона с Северного Ледовитого океана через северо-запад России на Прибалтику и Скандинавию. Процессы второго типа связаны с Сибирским максимумом, расширяющимся из Западной Сибири на Восточную Европу. Третья группа процессов характеризуется вторжением холодных воздушных масс в тылу ныряющих циклонов. Процессы четвертой группы описывают северо-западные вторжения холодного воздуха при смещении антициклона из Западной Европы с дальнейшим его стационарированием над Скандинавией. Процессы пятой группы являются разновидностью первой группы и характеризуются выходом южного циклона с траекторией, смещенной больше на запад – на восточную или центральную части Украины при усилении скандинавского антициклона.

**Ключевые слова:** синоптические процессы, экстремально-низкие температуры, Восточная Европа.

**Постановка проблеми.** Екстремальні різкі похолодання взимку у Північній півкулі особливо характерні в помірних широтах, де відбувається обмін теплом між тропічними та полярними широтами, в тому числі і у Східній Європі. Дуже низькі температури є несприятливим явищем для економіки та життєдіяльності людини, яке важливо спрогнозувати завчасно. Для планування економічної діяльності важливо мати також довгострокові прогнози терміном на місяць, сезон та більше.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Хоча серед довгострокових прогнозів погоди переважають сезонні та місячні прогнози без деталізації по дням [9,14], саме окремі дні з екстремаль-

ними аномаліями температури роблять значний вклад у відхилення середньої температури (місячної, сезонної тощо) відносно норми. Тому вивчення таких процесів з метою пошуку можливих методів передбачення екстремальних температур повітря є актуальною задачею як кліматології, так і метеорології [10,11,15,19,20,21,23]. Об'єднання задачі дослідження екстремальних погодних явищ і типізації процесів, при яких вони виникають, є доволі поширеною практикою [2,6,12,16,18,22]. В Українському гідрометеорологічному інституті під керівництвом В.Ф. Мартазінової також виконувалися подібні роботи для вибірки початку 21 століття [5,8]. Для цього було застосовано класифікацію полів тиску за методом

еталонів синоптичних процесів [17]. Для подібних задач також можна залучати загальновідомі класифікації макропроцесів [1,3,4,7]. Однак, в даній статті ми фокусуємося більше на регіональному масштабі процесів.

**Формулювання мети статті.** Мета статті – визначити і охарактеризувати типові зимові синоптичні процеси, що призводять до значних за площею осередків з аномально-низькою температурою повітря у межах помірних широт Східної Європи. Об'єктом роботи є випадки із аномально-низькими температурами (далі по тексту – АНТ) повітря, що одночасно охоплюють значну частину (понад 20 відсотків) території Східної Європи, їх локалізація, і, власне, синоптичні процеси, що призводять до таких явищ за даними вибірки за 20 років (1997-2017 рр.).

**Виклад основного матеріалу.** Для аналізу температури повітря було виділено сектор з 15 град. сх.д. по 50 град. сх.д. по довготі; а також – з 40 град. пн.ш. по 60 град. пн.ш. по широті. В роботі використовувалися дані реаналізу NCEP/NCAR Reanalysis 1 по приземній температурі, приземному тиску і геопотенціалу АТ-500 гПа [13]. Часовий період вибірки – грудень-лютий 1997-2017 рр. Останні двадцять років – це найбільш теплий період за історію інструментальних спостережень, тому його було обрано як умовно однорідну вибірку. Зауважимо, що крок регулярної сітки бази даних по температурі повітря досить великий – 1,875 градусів по довготі і широті. Проте, в першому наближенні такі дані можуть давати уявлення про відмінності розподілу температури повітря при різних процесах. В якості порогу для визначення АНТ було використано 5-й перцентиль функції розподілу в кожній точці регулярної сітки. Хоча, варто зазначити, що для визначення екстремально-низьких температур в деяких роботах використовувався 10-відсотковий поріг [10-11]. Важливо розуміти, що оскільки північні і північно-східні регіони характеризуються більш низькими температурами повітря, а даний підхід враховує локальні кліматичні особливості, це призводить до відкидання частини холодних днів в районах з високою континентальністю клімату, які вважалися б днями з АНТ для південних регіонів. Розподіл значень 5-го перцентилі приземної температури за 06 UTC по території Східної Європи має наступні особливості. До АНТ на північному сході сектора відносяться температури нижче  $-23^{\circ}\text{C}$ . Практично вся територія європейської частини Росії характеризується граничними значеннями АНТ нижче  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для території Білорусі, більшої частини України, східних частин країн Прибалтики, а також центральної частини Румунії, поріг АНТ змінюється в межах від  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $-19^{\circ}\text{C}$ . Західні частини Прибалтики, Польща,

Словаччина, Угорщина, крайня західна частина України і південь України мають порогові значення від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $-15^{\circ}\text{C}$ . Над Чорним та Азовським морями показник змінюється в межах від  $-4^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ .

В ході роботи, поля температури трансформувалися в бінарний вигляд (нулі і одиниці в залежності від того, чи спостерігається АНТ в даній точці). Згадана процедура дозволяє в подальшому обрахувати індекс, який оцінює площу, що займають аномалії температури повітря кожен день. Сумування таких полів дозволяє оцінити найбільш ймовірні локалізації осередків із АНТ загалом або для окремих груп процесів (рис. 2-6).

Із метою виділення великомасштабних процесів і фільтрації дрібномасштабних, було введено критерій для визначення того, що потрібно вважати значним за площею (в масштабах обраного сектора) осередком АНТ. Для формування вибірки були залучені випадки з покриттям аномаліями понад 20% території сектору, оскільки така площа добре співвідносна із характерними розмірами теплих і холодних секторів циклонів у помірних широтах в Атлантико-Європейському секторі. Допоміжним засобом при групуванні процесів слугували критерії аналогічності [17], що обчислювалися стосовно набору полів приземного тиску та геопотенціалу АТ-500 за 5-денні періоди. Вони обчислювалися починаючи з двох днів до, та до двох днів після спостереження значного за площею осередку АНТ. 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  $x$ ,  $y$  – порівнювані значення тиску або геопотенціалу в  $i$ -тій точці регулярної сітки,  $n$  – 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 полів  $X$  та  $Y$  приземного тиску або геопотенціалу, в знаменнику – добуток стандартних відхилень двох полів, що порівнюються. Високі значення середніх п'ятиденних критеріїв аналогічності (вище 0,5 для  $r$  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. В статті використано синоптичні карти з інтернет-ресурсу [24].

Було виявлено ситуації, при яких осередки АНТ займали понад 30% Східно-Європейського сектору. За 20 років виявлено 75 випадків, а у

випадку аномалій площею 20-30% – виявлено 64 випадки. Сумарний індекс площі аномалій за всіма полями дозволив оцінити, в яких районах найбільша повторюваність значних осередків АНТ. На рис.1 зображена карта просторового розподілу повторюваності (щодо загальної кількості випадків АНТ) значних осередків АНТ повітря з покриттям території понад 30% (Рис.1а) та випадків із покриттям 20-30% площі Східно-Європейського сектора (Рис. 1б).

Серед 75 епізодів виділено всього 13 епізодів з АНТ, які займали більш ніж 30% території базового регіону тривалістю від 2 до 11 днів, а також 12 випадків тривалістю один день. У той же час, випадки з площею осередків від 20 до 30%

території, рідко тривають більше 2-3 днів (11 епізодів). При цьому відзначено 33 випадки, при яких значні аномалії відмічались лише протягом одного дня. Повторюваність АНТ площею менше 20% сектора (не приведена на рисунку) є більш характерною для південних і південно-західних частин Східної Європи, а їх тривалість переважно становить один день. При цьому чітка локалізація осередків не виділяється. На рис. 1а спостерігається два максимуми повторюваності аномально низьких температур (понад 65% випадків). Перший максимум – це північний схід і схід України та сусідні з нею області в Росії. Другий максимум – центральні і північно-західні регіони України та південний захід Білорусі.

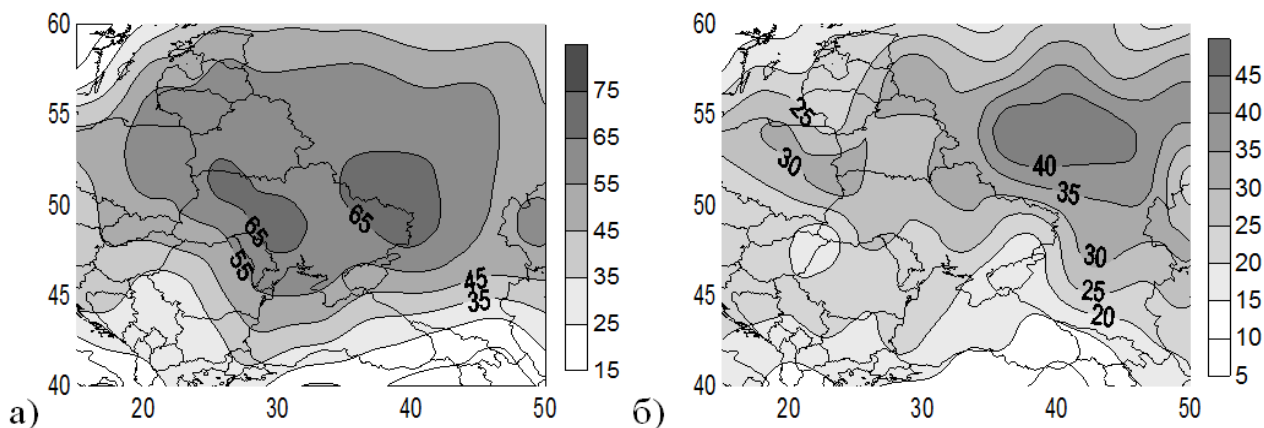


Рис. 1. Повторюваність АНТ: а) для випадків із покриттям (більше 30% території); б) для похолодань, що займають 20-30% площі сектора, грудень-лютий 1997-2017 рр.

При цьому більше 50% випадків спостерігається на досить великій території, яка включає в себе всю територію України, Білорусі, Литви, Латвії, Словаччини, східну частину Польщі і західну частину європейської території Росії. Для аномалій площею 20-30% сектора також виділяється два максимуми, але з деяким зміщенням (Рис. 1б). Райони із високою повторюваністю осередків АНТ перебувають під дією одразу багатьох типів синоптичних процесів.

Подальша характеристика основних груп процесів є більш генералізованою, ніж класичний синоптичний аналіз, оскільки на меті є узагальнення інформації про процеси з точки зору вивчення можливості їх довгострокового прогнозування. Для всіх випадків характерною ознакою є яскраво виражена меридіональність потоків у середній тропосфері. Великі аномалії пов'язані переважно із тилловими частинами висотних улоговин або циклонів. На рис.2-6 представлені синоптичні карти приземного аналізу. Карти дають уявлення про типову ситуацію для кожної з 5 груп процесів, при яких спостерігалися значні за площею осередки АНТ, що одночасно відмічались у

виділеному Східно-Європейському секторі. Дані п'ять груп процесів пояснюють 75% усіх днів із зазначеними явищами.

*Група процесів 1.* Для першої групи процесів об'єднуючою ознакою є північні вторгнення холодних повітряних мас внаслідок значної меридіональності потоків біля земної поверхні та у середній тропосфері, а також наявність кількох висотних циклонів у межах Атлантико-Європейського сектора. У полі приземного тиску спостерігається вихід чорноморського циклону на територію Поволжя, при цьому антициклон, що тривалий час спостерігався над Північним Льодовитим океаном, зміщується через північний захід Росії на Прибалтику та Скандинавію (Рис.2а). Тилова частина циклону через 1-2 дні після описаної ситуації територіально знаходиться в районі Східноєвропейської рівнини або Середньоросійської височини, де в цей момент і відмічаються осередки АНТ.

Холодний фронт при такій ситуації проходить через територію України, зміщуючись на південь. Наявність потужного антициклону на північному сході сприяє затоку в сектор холодного

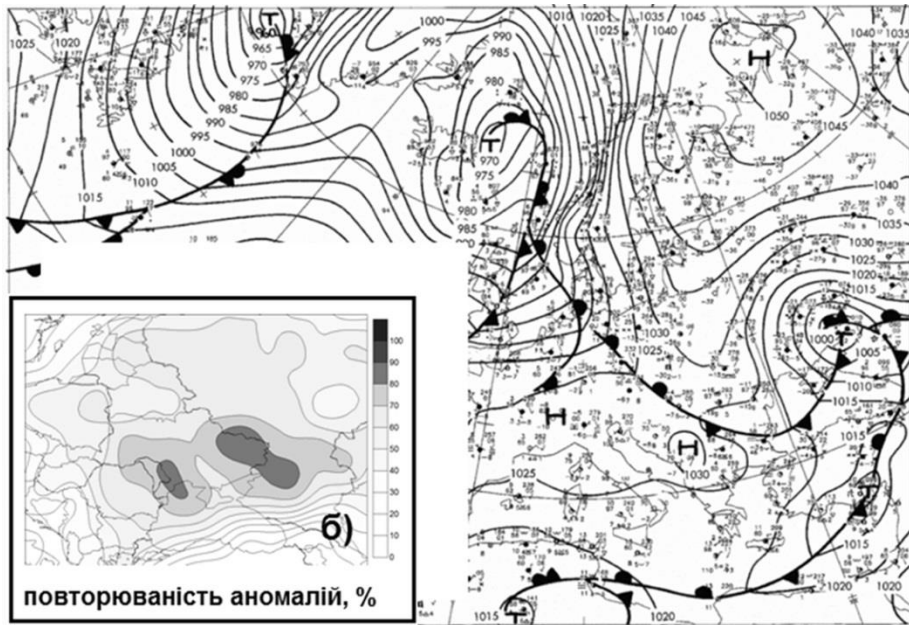


Рис. 2. Карти для процесів 1 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

континентального повітря із півночі Росії. На 3-4 день центр антициклону може зміститися в район Центральної Європи. Значні осередки АНТ найдовше спостерігаються над територією Східної України, Кубані, в центральних та південних районах України. Дещо із меншою ймовірністю холод поширюється на територію Прибалтики, Білорусі та Польщі. На рис.2б видно, що локалізація районів, де проявляються аномалії простягається із півночі на південь. За час протікання процесу,

арктичні повітряні маси переміщуються поступово із північної частини європейської території Росії на південні і східні регіони України. У цих регіонах осередки АНТ спостерігаються протягом 70-80% часу існування процесу.

*Група процесів 2.* Великі осередки АНТ пов'язані у цьому випадку із потужним Сибірським максимумом, що розширюється із Західного Сибіру на Східну Європу (Рис. 3а). На початку розвитку процесу, коли відроги антициклону ще не

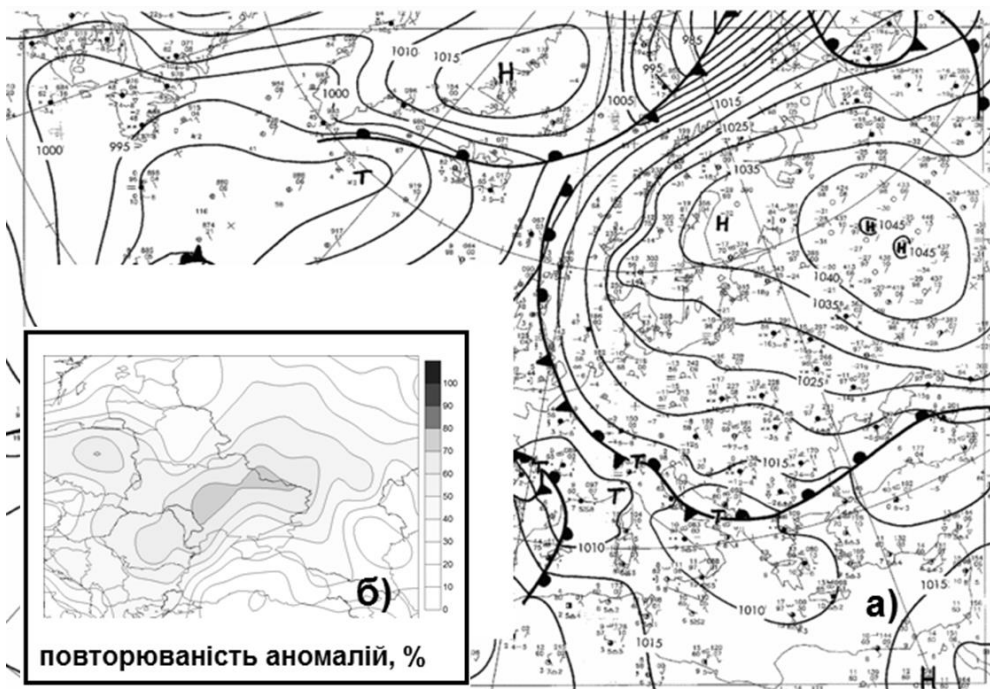


Рис. 3. Карти для процесів 2 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

досягають зазначеного сектору, у південній частині антициклону надходить холодна повітряна маса. Через 1-2 дні високий тиск займає всю територію сектора, створюючи «низький фон» температур на більшій частині даної території. Найнижчі значення температури найбільш ймовірні в районі південної периферії антициклону, де спостерігається східний напрямок вітру. Цей процес призводить до низької температури повітря пере-

важно у середніх широтах виділеного Східно-Європейського сектора – від Поволжя і до країн Вишеградської четвірки (Рис. 3б).

*Група процесів 3.* Дані процеси об'єднують вторгнення холодних повітряних мас в тилу пірнаючих циклонів. Характерною особливістю цієї групи процесів є зміщення циклону в зоні помірних широт на південний схід (Рис. 4а).

Ядро холоду в тилу циклону через 1-2 дня пі-

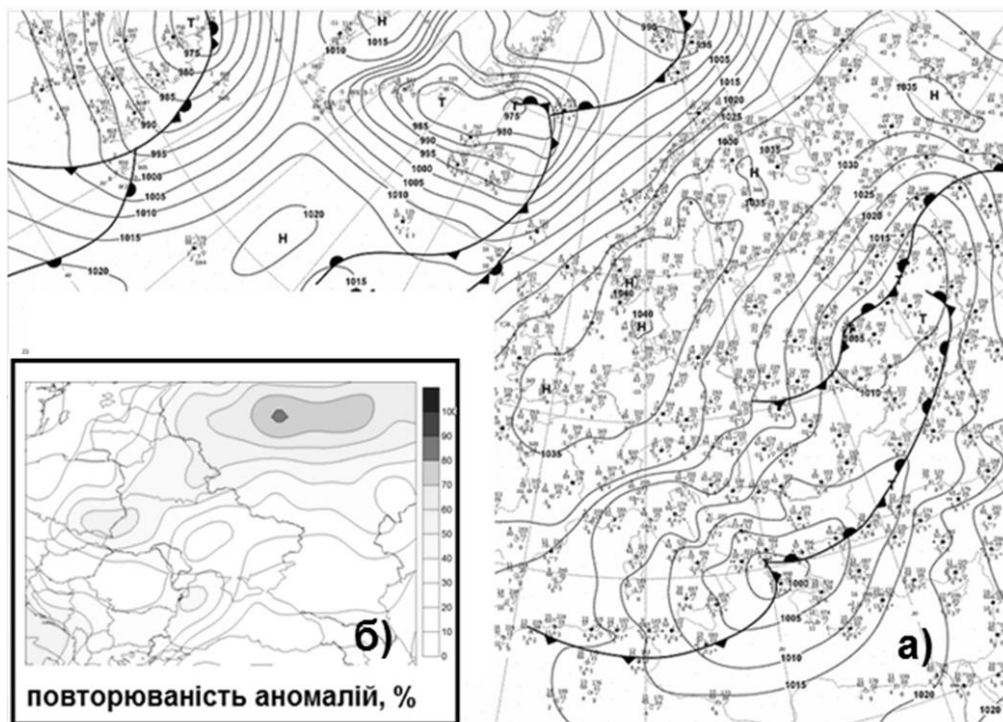


Рис. 4. Карти для процесів 3 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

дкріплюється північними потоками повітря в передній частині антициклону, який посилюється або зміщується із Західної Європи на схід. При цьому антициклон зазвичай характеризується центром із високим тиском близько 1040-1050 гПа.

*Група процесів 4.* Дані процеси описують північно-західні вторгнення холодного повітря. При таких процесах антициклон із Західної Європи зміщується, після чого деякий час стаціонує із центром над Скандинавією (Рис.5а). Така ситуація забезпечує короткочасні сильні похолодання в західній і центральній частині сектора і тривалі від'ємні аномалії температури повітря переважно на південному сході сектора (Рис. 5б). В середній тропосфері приземному антициклону відповідає висотний антициклон.

*Група процесів 5.* Процеси групи характеризуються виходом південного циклону на територію східної України або південно-західної території Росії із паралельним посиленням скандинавського антициклону (Рис.6а).

Процеси 5-ї групи можуть бути об'єднані із першою групою процесів, оскільки по суті вони відносяться до одного макропроцесу. Перший процес часто є продовженням процесів 5-ї групи, і відмічається він після виходу серії циклонів. Але в даному випадку наголошується на відмінності у положеннях основних центрів, і як наслідок – дещо різному територіальному прояві осередків холоду. Аномалії температури можуть займати практично всю східну частину виділеного сектора. На відміну від процесів першої групи, осередки АНТ п'ятої групи процесів частіше (80-90% часу) відмічаються над Прибалтикою і значно рідше – над центральною і південною Україною (Рис. 6б).

**Висновки.** Зібрано каталог синоптичних процесів, що формують значні за площею осередки АНТ повітря у Східній Європі. Близько 75 відсотків епізодів великих осередків АНТ, що увійшли до каталогу, добре описуються наведеними у статті п'ятьма типовими групами синоптичних ситуацій. Із загальної кількості днів із осередками

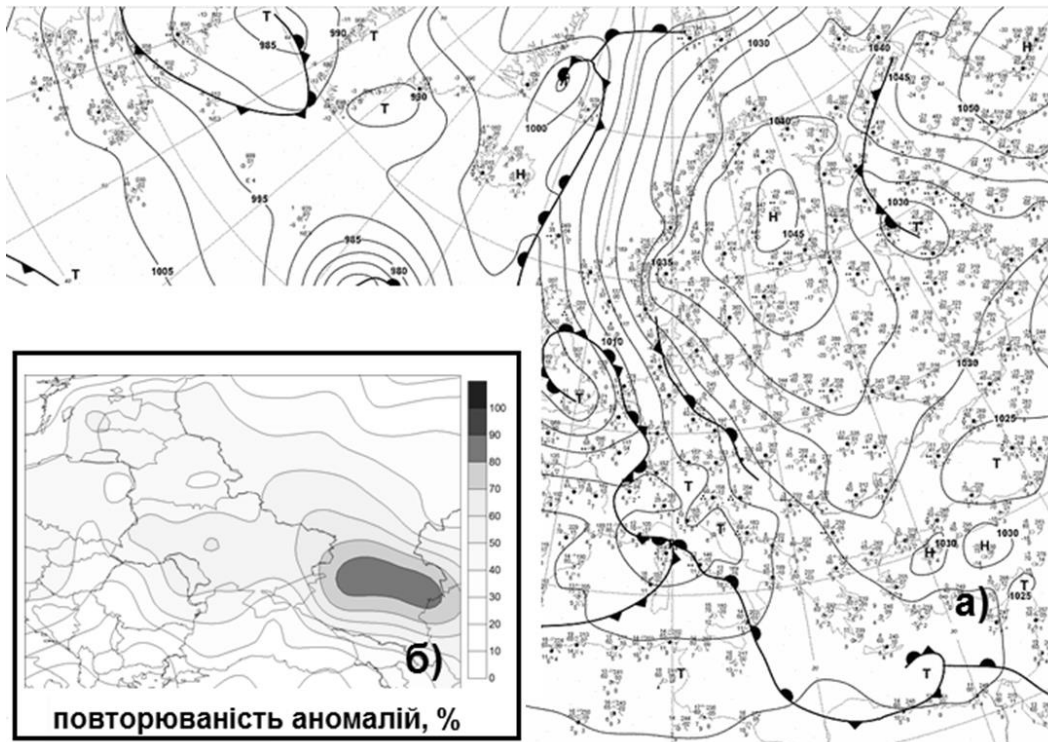


Рис. 5. Карти для процесів 4 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

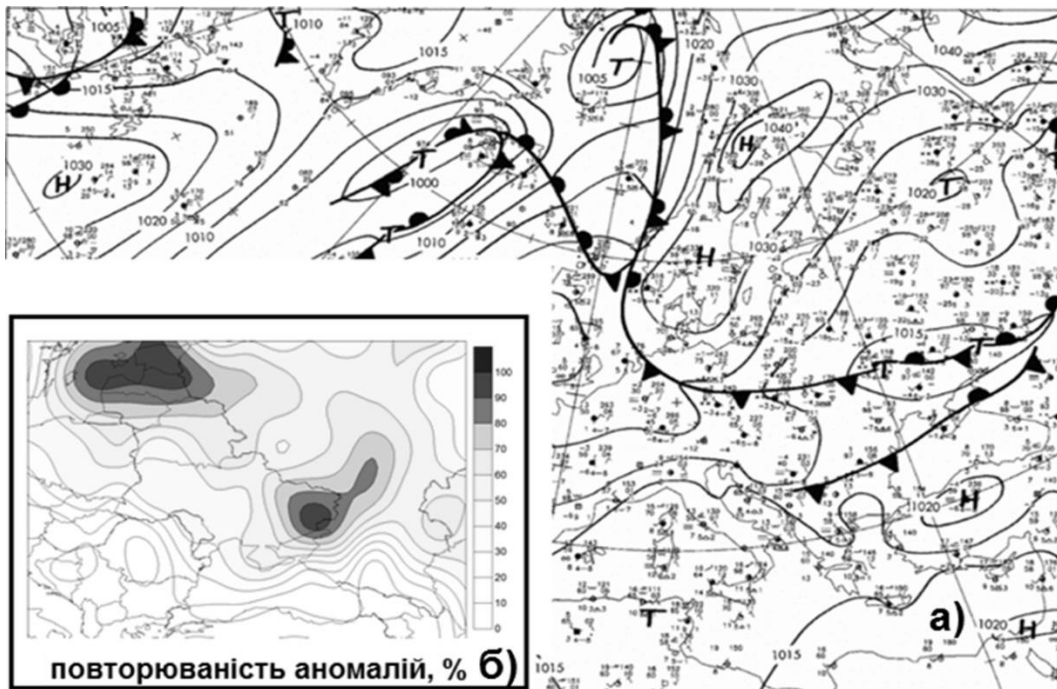


Рис. 6. Карти для процесів 5 групи: а) типова синоптична карта приземного аналізу в день наявності значного осередку АНТ, б) повторюваність локалізації осередків АНТ

АНТ площею понад 20% території, перша група процесів описує 6 епізодів (загальною тривалістю 20 днів), друга – 7 епізодів (17 днів), третя – 11 епізодів (17 днів), четверта – 8 епізодів (35 днів), а п'ята – 5 епізодів (14 днів). Решта 25% випадків із низькими температурами – переважно короткочасні і відмічаються протягом 1-2 днів. Натомість

епізоди існування значних аномалій, що увійшли до описаних у статті груп процесів, як правило, тривали більше 3-4 днів. Створений каталог процесів дозволить розпізнавати потенційні екстремальні ситуації в рамках схеми довгострокового деталізованого прогнозу аномалій температури повітря за ансамблем процесів-аналогів, що

створюється в рамках роботи над кандидатською дисертацією. Карти-схеми найбільш ймовірного розміщення екстремальних аномалій температури

для різних груп процесів можуть бути використані в якості прогностичного матеріалу.

#### Література

1. Вангенгейм, Г.Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики [Текст] / Г.Я. Вангенгейм. – Тр. АН СССР. – 1952. – Т. 34. – 314 с.
2. Воскресенская, Е.Н. Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне [Текст] / Е.Н. Воскресенская, В.А. Наумова, М.П. Евстигнеев, В.П. Евстигнеев // Тр. УкрНИГМИ. – 2009. – Вып. 258. – С. 189-200.
3. Гирс, А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов [Текст] / А.А. Гирс. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 488 с.
4. Дзердзеевский, Б.Л. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы и индекс циркуляции [Текст] / Б.Л. Дзердзеевский, А.С. Монин // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1954. – № 6. – С. 562-574.
5. Фізико-статистичний аналіз та прогноз зміни сучасного клімату регіонів України для підтримання сталого розвитку економіки України [Текст] : Звіт про НДР №1/12 / УкрГМІ; кер. В.Ф. Мартазінова. – № ДР 0112U004651. – Київ, 2014. – 381 с.
6. Ивус, Г.П. Циркуляционные условия возникновения сильного и стихийного ветра над южным западом Украины [Текст] / Г.П. Ивус, Э.В. Агайар, Л.М. Гурская, А.Б. Семергей-Чумаченко // Укр. Гідрометеорол. Журн. – 2016. – №17. – С.38-48.
7. Кононова, Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому [Текст] / Н.К. Кононова / отв. ред. А.Б. Шмакин. – Рос. акад. наук, ин-т географии. – М.:Воентехиниздат, 2009. – 372 с.
8. Мартазінова, В.Ф. Использование синоптической информации методов плавающего и традиционного аналогов в представлении текущих синоптических процессов [Текст] / В.Ф. Мартазінова, Е.К. Иванова // Наук. Пр. УкрНДГМІ. – 2008. – Вып.257. – С. 5-15.
9. Угрюмов, А. И. Долгосрочные метеорологические прогнозы [Текст] / А. И. Угрюмов. – М.: РГГМУ, Санкт-Петербург, 2006. – 84 с.
10. Alexander, L.V. Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: a review and update since IPCC AR5 [Text] / L.V. Alexander // Weather Clim Extremes. – 2015. – Vol. 11. – P. 4-16.
11. Alexander, L.V. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [Text] / L.V. Alexander, X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths // J. Geophys.Res. Atmos. – 2006. – Vol. 111. – D05109. doi:10.1029/2005JD006290.
12. Domonkos, P. Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation [Text] / P. Domonkos, J. Kysely, K. Piotrowicz, P. Petrovic, T.Likso // Int. J. Climatol. – 2003. – 23. – P. 987–1010.
13. Kalnay, E. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [Text] / E. Kalnay et al. // Bulletin of the American Meteorological Society. – 1996. – Vol. 77. – P. 437–471.
14. Kim, G-Y. Global and regional skill of the seasonal predictions by WMO Lead Centre for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble [Text] / G-Y. Kim, J.-B. Ahn, V. N. Kryjov, S.-J. Sohn, W.-T. Yun, R. Graham, R. K. Kolli, A. Kumar, J.-P. Ceron // Int. J. Climatol. – 2016. – Vol. 36. – P. 1657–1675. doi:10.1002/joc.4449.
15. Landsea, C.W. Comments on “monitoring and understanding trends in extreme storms: state of knowledge” [Text] / C.W. Landsea // Bull. Am. Meteor. Soc. – 2015. – Vol. 96. – P. 1175-1176. doi:10.1175/BAMS-D-13-00211.1.
16. Loikith, P.C. Characteristics of observed atmospheric circulation patterns associated with temperature extremes over North America [Text] / P.C. Loikith, A.J. Broccoli // J. Climate. – 2012. – Vol. 25. – P. 7266–7281. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00709.1>.
17. Martazinova, V. The classification of synoptic patterns by method of analogs [Text] / V. Martazinova // J. Environ. Sci. Eng. – 2005. – 7. – P. 61-65.
18. Pfahl, S. Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features [Text] / S. Pfahl // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2014. – Vol. 14. – P. 1461-1475. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1461-2014>.
19. Seneviratne, S. Attribution and prediction of extreme events: Editorial on the special issue [Text] / S. Seneviratne, F. Zwiers // Weather Clim. Extremes. – 2015. – Vol. 9. – P. 2-5. doi:10.1016/j.wace.2015.08.003.
20. Seneviratne, S. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, chapter 3 in IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Text] / S. Seneviratne, N. Nichols, D. Easterling, C. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, X. Zhang. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, 2012. – P. 109-230.
21. Sillman, J. Extreme cold winter temperatures in Europe under the influence of north atlantic atmospheric blocking [Text] / J. Sillman, M. Croci-Maspoli, M. Kallache, R. Katz // J. Clim. – 2011. – Vol. 24. – P. 5899-5913. – doi:10.1175/2011JCLI4075.1.

22. Tomczyk, A. *Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe [Text] / A. Tomczyk // Idojaras. – 2016. – Vol. 120. – P. 395-414.*
23. Trenberth, K.E. *Attribution of climate extreme events [Text] / K.E. Trenberth, J.T. Fasullo, T.G. Shepherd // Nat. Clim. Chang. – 2015. Vol. 5(8). – P.725-730. doi:10.1038/NCLIMATE2657*
24. Wetterzentrale [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.wetterzentrale.de>

UDC 551.589.1

*Oleksandr Shcheglov,*

Researcher, Ukrainian Hydrometeorological Institute of State Service of Emergencies of Ukraine  
and National Academy of Sciences of Ukraine;  
37 Nauki Prosp., Kyiv, 03028, Ukraine,  
e-mail: [aleshcheglov@gmail.com](mailto:aleshcheglov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5702-6285>

## WINTER SYNOPTIC PROCESSES THAT CAUSE LARGE ANOMALIES OF EXTREME-LOW AIR TEMPERATURES IN EASTERN EUROPE

**Formulation of the problem.** Extreme-low temperatures are an adverse phenomenon for the country's economy and human living conditions. It is important to have a climatological estimation of typical locations and probability of extreme-low temperatures caused by different synoptic processes, which ideally should be predicted in advance.

**The purpose of the article.** The paper describes the typical synoptic processes that lead to extreme-low temperatures over the past 20 years (1997-2017) in middle latitudes in Eastern Europe. The probability of significant areas with extreme-low temperature and their typical localization during various synoptic processes was investigated.

**Methods.** Definition of “extreme-low temperatures” refers to the temperatures below the 5th percentile of the surface actual temperature distribution in each grid point. To create the sample, anomalies of extreme-low air temperatures over significant areas (more than 20 percent of the sector) were chosen. To divide the synoptic processes into groups, a synoptic analysis was applied.

**Results.** From the sample of 1997-2017, 75 episodes with large areas of extreme-low temperature were identified. The sample contains 13 episodes that cover more than 30% of the Eastern Europe and last from 2 to 11 days, and 12 episodes that have one day duration. Cases with anomalies occupy from 20 to 30% of the territory rarely lasts more than 2-3 days (11 episodes). There are five main groups of processes that lead to significant air temperature anomalies that cover a large area of the chosen domain. These five groups of situations include 75% of all days with large areas of extreme-low air temperature. The first group of processes: there is the movement of the cyclone from the Black Sea towards the Volga river basin region, with the anticyclone located in the northwest of Russia displacing towards the Baltic region or Scandinavia. In this case, temperature anomalies cover almost the entire eastern part of the selected sector. The second group of processes: a vast anticyclone, expanding from Western Siberia in the direction of Belarus (extreme-low temperatures most of time observed in the central part of the sector). The third group of processes: the movement of the “southern” cyclone from the Black Sea to the territory of Ukraine with subsequent displacement to the east (extreme-low temperatures most of time observed in the north-eastern part of the sector). The fourth group of processes: motionless anticyclone over the northeast of the Eastern European sector (high probability of extreme-low temperatures in the south-eastern part of the sector). The fifth group of processes: the northward trajectory of the “southern” cyclone to the territory of Ukraine while strengthening of the anticyclone over the Scandinavia. This one is similar to the first group of processes but differ by more western trajectories of cyclones, and hence different locations of extreme temperature anomalies (north-western part of the sector and eastern part of Ukraine). The remaining 25% of the days with large anomalies are mostly short-lived and observed during 1-2 days.

**Scientific novelty and practical significance.** The created catalogue of processes will allow recognizing the potential extreme situations that might be useful for middle and long-range forecasting.

**Keywords:** synoptic processes, extreme-low temperatures, Eastern Europe.

### References

1. Vangengeym, G.YA. (1952). *Osnovy makrotsirkulyatsionnogo metoda dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov dlya Arktiki [The basics of the macrocirculation method for long-term meteorological forecasts for the Arctic region]. Tr. AANII, 314.*



2. Voskresenskaya, Ye.N., Naumova, V.A., Yevstigneyev, M.P., Yevstigneyev, V.P. (2009). *Klassifikatsiya sinopticheskikh protsessov shtormov v Azovo-Chernomorskom bazeine [Classification of synoptic processes with storms in the Azov and Black Sea basin]*. Tr. UkrNIGMI, 258, 189-200.
3. Girs, A.A. (1974). *Makrotsirkulyatsionnyy metod dolgosrochnykh meteorologicheskikh prognozov [Macrocirculation method of long-term meteorological forecasts]*. Leningrad.: Gidrometeoizdat, 488.
4. Dzerdzheyskiy, B.L., Monin, A.S. (1954). *Tipovyye skhemy obshchey tsirkulyatsii atmosfery i indeks tsirkulyatsii [Typical schemes of the general circulation of the atmosphere and circulation index]*. Izv. AN SSSR. Ser. Geofiz, 6, 562-574.
5. *Fizyko-statystychnyy analiz ta prohnoz zminy suchasnoho klimatu rehioniv Ukrainy dlya pidtrymannya staloho rozvytku ekonomiky Ukrainy. Zvit pro NDR №1/12 [Physical-statistical analysis of the current climate and climate forecast for the Ukrainian regions for the sustainable economy development of Ukraine. Report on research work №1/12]*. (2014). Kyiv, Ukraine: UkrGMÍ, 381.
6. Ivus, G.P., Agayar, E.V., Gurskaya, L.M., Semergey-Chumachenko, A.B. (2016). *Tsirkulyatsionnyye usloviya vozniknoveniya sil'nogo i stikhiynogo vetra nad yuzhnym zapadom Ukrainy [Circulating conditions for the emergence of a strong and elemental wind over the southern west of Ukraine]*. Ukr. Gidrometeorol. Zhurn, 17, 38-48.
7. Kononova, N.K. (2009). *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B.L. Dzerdzheyskomu [Classification of the circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B.L. Dzerdzheevsky]*. Moscow, Russia: Voyentekhnizdat, 372.
8. Martazinova, V.F., Ivanova, Ye.K (2008). *Ispol'zovaniye sinopticheskoy informatsii metodov plavayushchego i traditsionnogo analogov v predstavlenii tekushchikh sinopticheskikh protsessov [Use of synoptic information of the methods of floating and traditional analogues in the representation of current synoptic processes]*. Nauk. Pr. UkrNDGMÍ, 257, 5-15.
9. Ugryumov, A.I. (2006). *Dolgosrochnyye meteorologicheskiye prognozy [Long-term meteorological forecasts]*. Sankt-Peterburg, Russia: RGGMU, 84.
11. Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Ambenje, P., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., and Griffiths, G. (2006). *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*, J. Geophys. Res. Atmos., 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
12. Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P., Likso, T. (2003). *Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation*. Int. J. Climatol, 23, 987-1010.
13. Kalnay, E. et al. (1996). *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*. Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 437-471.
14. Kim, G-Y., Ahn, J.-B., Kryjov, V. N, Sohn, S.-J., Yun, W.-T., Graham, R., Kolli, R.K., Kumar, A., Ceron, J.-P. (2016). *Global and regional skill of the seasonal predictions by WMO Lead Centre for Long-Range Forecast Multi-Model Ensemble*. Int. J. Climatol., 36, 1657-1675. doi:10.1002/joc.4449.
15. Landsea, C.W. (2015). *Comments on "monitoring and understanding trends in extreme storms: state of knowledge"*. Bull. Am. Meteor. Soc., 96, 1175-1176. doi:10.1175/BAMS-D-13-00211.1.
16. Loikith, P.C., Broccoli, A.J. (2012). *Characteristics of Observed Atmospheric Circulation Patterns Associated with Temperature Extremes over North America*. J. Climate, 25, 7266-7281. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00709.1>.
17. Martazinova, V. (2005). *The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs*. J. Environ. Sci. Eng., 7, 61-65.
18. Pfahl, S. (2014). *Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1461-1475. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1461-2014>.
19. Seneviratne, S., Zwiers, F. (2015). *Attribution and prediction of extreme events: Editorial on the special issue*. Weather Clim. Extremes, 9, 2-5. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.003>.
20. Seneviratne, S., Nichols, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., Zhang, X. (2012). *Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, chapter 3 in IPCC Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, 109-230.
21. Sillman, J., Croci-Maspoli, M., Kallache, M., Katz, R. (2011). *Extreme cold winter temperatures in Europe under the influence of North Atlantic atmospheric blocking*. J. Clim., 24, 5899-5913, 10.1175/2011JCLI4075.1.
22. Tomczyk, A. (2016). *Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe*. Idojaras, 120, 395-414.
23. Trenberth, K.E., Fasullo, J.T. Shepherd, T.G. (2015). *Attribution of climatic extreme events*. Nat. Clim. Chang., 5(8), 725-730. <https://doi.org/10.1038/nclimate2657>
24. Wetterzentrale, Archive. Available at: <http://www.wetterzentrale.de>