

УДК: 551.577

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ СИЛЬНИХ ОПАДІВ НАД УКРАЇНОЮ ПРОТЯГОМ 1979-2019 РОКІВ ЗА ДАНИМИ РЕАНАЛІЗУ ERA5

А. Б. Семергей-Чумаченко, К. Л. Слободяник

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
asemersey2016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>
<https://orcid.org/0000-0003-1118-4469>

Представлені результати дослідження сильних та надзвичайних опадів у вигляді дощу (>50 мм/12 год) та снігу (>20 мм/12 год) з використанням даних атмосферного реаналізу ERA5 за період 1979-2019 рр. За інформацією Європейського центру середньострокових прогнозів, яка отримана за допомогою чисельного моделювання і є результатом асиміляції даних у вузлах регулярної сітки з просторовою роздільною здатністю $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, на території України виявлено 131 та 136 днів з дощем та снігом, коли інтенсивність опадів досягла критеріїв стихійних метеорологічних явищ II та III рівнів небезпечності. З'ясовано, що за останні 40 років в Україні спостерігалася наявна тенденція до збільшення кількості випадків сильних снігопадів, а кількість сильних дощів незначно зменшувалася.

Значна увага приділяється просторо-часовому аналізу повторюваності та інтенсивності сильних опадів з урахуванням географічних чинників. Визначено сезонний хід утворення сильних та надзвичайних опадів, максимуми та мінімуми якого не відрізнялися від кліматичних норм за даними метеорологічних спостережень. Дощі з кількістю опадів більше 50 мм за 12 годин спостерігалися практично над всією територією України, а зони максимумів повторюваності припадали на райони Карпатських гір, Донецького кряжу, Подільської височини та південний захід країни. Сильні снігопади з кількістю опадів більше 20 мм за 12 годин найчастіше виникали у Карпатському регіоні. Аналіз географічного розподілу виявив осередок з максимальними значеннями інтенсивності дощу (120-133 мм/12 год.) біля узбережжя Азовського моря, а найсильніші снігопади (34-38 мм/12 год) переважно утворювалися в районі Карпат.

Встановлені типи елементарних циркуляційних механізмів синоптичної класифікації атмосферних процесів північної півкулі Б. Л. Дзердзєєвського, при збереженні яких опади у вигляді дощу та снігу значно посилювались.

Випадки з максимальною інтенсивністю дощу за даними реаналізу виявлені з 23 по 27 липня 2008 року, коли спостерігався катастрофічний паводок в Українських Карпатах, що свідчить про адекватне відтворення за допомогою моделі Європейського центру середньострокових прогнозів структури поля сильних опадів над територією України.

Ключові слова: дані реаналізу; ERA5; сильні опади; надзвичайні опади; елементарні циркуляційні механізми.

1. ВСТУП

Глобальні кліматичні зміни за останні десятиріччя супроводжуються збільшенням екстремальних погодних умов в усіх регіонах Земної кулі. За результатами дослідження Міжурядової групи експертів по змінам клімату [1], спостережені кліматичні тенденції та майбутні прогнози, з високою вірогідністю, вказують на збільшення кількості надзвичайних опадів над Північною та Центральною (континентальною) Європою, в тому числі й над Україною, причому в багатьох випадках це пов'язано з внутрішньою мінливістю клімату.

Сильні опади являються причиною утворення стихійних паводків у гірських районах, зок-

рема на заході (руйнування транспортних комунікацій, пошкодження ліній електромереж, підтоплення житлових будинків, нерідко з жертвами серед населення), а на рівнинній території порушують функціонування господарського комплексу країни (посилення ерозії родючого шару ґрунту, зниження урожайності сільськогосподарських культур та ін.), тобто впливають фактично на всі сфери життєдіяльності людини та економіки країни. Так, влітку 2020 р. у п'яти областях на заході країни в результаті катастрофічного паводку, спричиненого сильними дощами, постраждало щонайменше 250 населених пунктів, пошкоджено 750 км автодоріг, загинуло 4 людини. На ліквідацію наслідків

урядом України було виділено 700 млн грн, загальні збитки від стихійного лиха оцінюються на суму 3-4 млрд грн [2].

Актуальність даної роботи обумовлюється збільшенням інтенсивності екстремальних та стихійних явищ за поточне десятиріччя. Тому подібні дослідження є важливими для економіки та екології країни, оскільки стихійні лиха погіршують їх стан, знижують сталий розвиток та дестабілюють соціально-політичне життя суспільства.

Метою цього дослідження є визначення режиму формування небезпечних та надзвичайних опадів, актуальних особливостей їх просторово-часового розподілу з 1979 по 2019 рр. для території України.

Завдання дослідження полягає у проведенні збору та первинної обробки вихідної інформації, а саме виявлення випадків сильних та надзвичайних опадів по території України за 40-річний період за допомогою ресурсу [3].

Відповідно до нової «Настанови з метеорологічного прогнозування», яка набула чинності на початку 2019 р., дощ, за який випадає 50 мм і більше за 12 год і менше, вважається сильним і відноситься до стихійного метеорологічного явища (СМЯ) II рівня небезпечності, яке за кількісними показниками, тривалістю та територією розповсюдження несе загрозу для населення, порушує функціонування господарського комплексу країни. В Україні снігопад стає стихійним явищем погоди (СМЯ II рівня небезпечності), коли за 12 год і менше випадає більше 20 мм опадів [4].

Згідно [5], кількість опадів, що сягає 50 мм і більше за 12 год і менше щорічно спостерігається в усіх регіонах України. При чому, найчастіше (за 95-100%-вої ймовірності) сильні дощі спостерігаються в Українських Карпатах [6]. Один раз за 5-10 років вони ймовірні у інших регіонах [7].

В Україні переважають (85%) сильні снігопади під час яких за 12 год і менше в середньому по області випадає від 20 до 30 мм опадів. Снігопади такої інтенсивності спостерігаються на переважній більшості території країни. Виняток становлять гірські райони Карпат та Криму, Запорізька, Дніпропетровська, Київська та Сумська області, де випадають опади більшої інтенсивності [5].

Оскільки вищеописані явища завдають не тільки колосальних матеріальних збитків, але є небезпечними для життя людини, вони вимагають детального вивчення, аналізу та прогнозування, задля своєчасного реагування та змен-

шення їх руйнівних наслідків.

Цьому питанню присвячено чимало робіт науковців різних країн, в тому числі і українських вчених. Детально проблема стихійних метеорологічних явищ на території України розглянута у монографіях «Клімат України» [7] та «Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.)» [8]. Особливо небезпечні опади досліджувались В. М. Бабіченко [7], В. І. Осадчим [9], В. О. Балабух [5,10], В. Ф. Мартазіною [11] та іншими. В цих роботах представлені відомості про сучасну динаміку режиму утворення сильних опадів, характеристика параметрів фізичного стану атмосфери та атмосферної циркуляції.

2. ОПИС МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Поняття реаналізу даних

Відомо, що для успішного проведення будь-якого дослідження важливою умовою є надійність вихідних даних [12]. Головною проблемою використання реальних даних спостережень є присутність цілих періодів часу, коли спостереження не проводилися. А отже ряди цих даних не є безперервними і не можуть бути використані як достовірні. Саме тому все частіше в наукових дослідженнях використовують дані реаналізу. Повторний аналіз або реаналіз об'єднує в собі дані моделювання зі спостереженнями з усього світу в повний і узгоджений набір даних з використанням фізичних законів. Тобто ці дані отримані за допомогою чисельного моделювання і являють собою результати асиміляції даних у вузлах регулярної сітки.

В якості вихідних даних для дослідження взяті дані про опади реаналізу ERA5, що були розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів (ECMWF) [13] та надані Службою з питань змін клімату Copernicus (Copernicus Climate Change Service) [3]. Вказана модель зарекомендувала себе як надійне джерело вихідних даних у багаточисленних світових та вітчизняних дослідженнях [12,14,15].

У досліджуванні використовувались наступні параметри:

- загальна кількість опадів (м) – накопичена вода у рідкому та замерзлому стані (дощ, сніг) за певний період часу;
- поле снігопадів (м) – накопичений сніг, що досягає земної поверхні за певний період часу.

Обидва параметри містять у собі великомасштабні та конвективні складові опадів. Згідно

моделі, великомасштабні опади генеруються за хмарною схемою в інтегрованій системі прогнозування (IFS) ECMWF. Параметри накопичуються за певний період часу, який залежить від обраного дослідником часового інтервалу у вихідному запиті на завантаження. Для даного реаналізу період накопичення дорівнює 1 годині і більше. Системними одиницями вимірювання є метри, тобто кількість води, рівномірно розподіленої по квадрату сітки.

Отже, були отримані погодинні дані у вузлах регулярної сітки з просторовою роздільною здатністю $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ для періоду з 1979 по 2019 рр. для всієї території України (рис. 1). Вибір періоду дослідження обумовлений безпосередньо часовим покриттям моделі, також він являється оптимальним для вивчення тенденції змін у характеристиках атмосферних опадів [16].

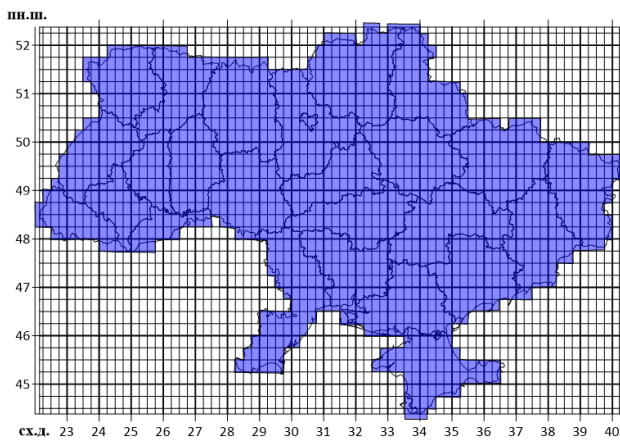


Рис. 1 – Розташування вузлів сітки реаналізу ERA5 (з просторовою дискретністю $0,25^{\circ}$ за широтою та довготою) на території дослідження

Fig. 1 - Location of nodes of the ERA5 reanalysis grid (0.25° latitude \times 0.25° longitude grid size) in the study area

Опади є одним із найбільш мінливих у часі і просторі метеорологічних явищ, тому поле опадів у кожній точці простору характеризується їх сумою за фіксований інтервал часу. Для досягнення необхідного критерію стихійності та інтервалу часу для дощу і снігу (> 50 мм / > 20 мм за 12 год і менше відповідно) було проведено послідовне ковзне сумування 12-ти годинного інтервалу з кроком у 1 годину. Після чого, розраховані суми були відфільтровані за вищевказаними критеріями, у випадку виявлення сум у послідовні строки, залишались лише максимальні значення. Тобто, операція ковзного сумування, а не звичайного (при якому доба була б поділена на 2 часових проміжки по 12 годин), є необхідною, аби не пропустити випадку накопичення потрібної кількості опадів за 12 годин.

При цьому слід розуміти, що порівняння параметрів моделі із даними спостереження є обмеженими, оскільки фактичні дані є локальними для певної точки простору та часу, а параметри моделі представляють собою осереднені показники за полем сітки.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

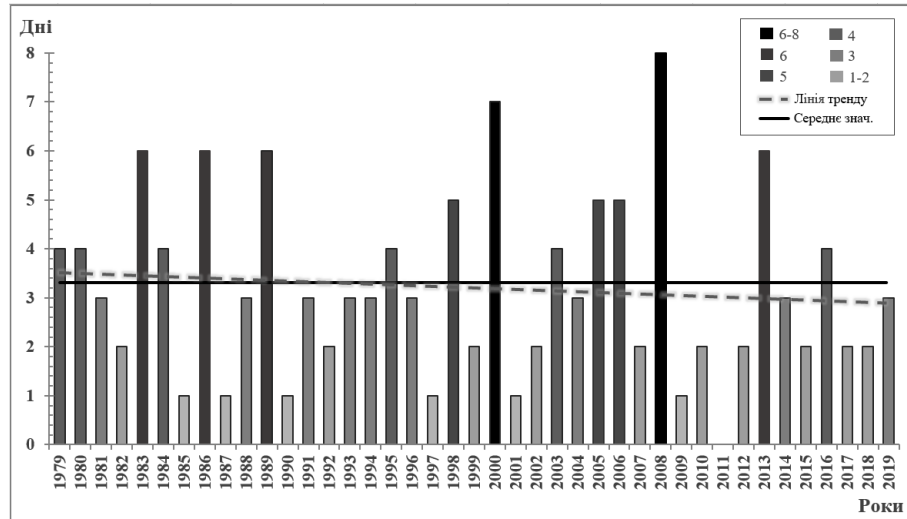
В ході роботи був виявлений 131 день з сильним та надзвичайним дощем та 136 днів з сильним та надзвичайним снігом. В середньому на рік припадало по 3 дні з опадами, що досягали критеріїв СМЯ II, III рівнів небезпечності.

На рис. 2-3 у вигляді стовпчастих діаграм представлений розподіл кількості днів з стихійними опадами для кожного року досліджуваного періоду з нанесеними лінією тренду (сірого кольору) та середнім за 40-річний період значенням кількості днів (для дощу – лінія зеленого кольору, 3,2 дні; для снігу – лінія синього кольору, 3,3 дні).

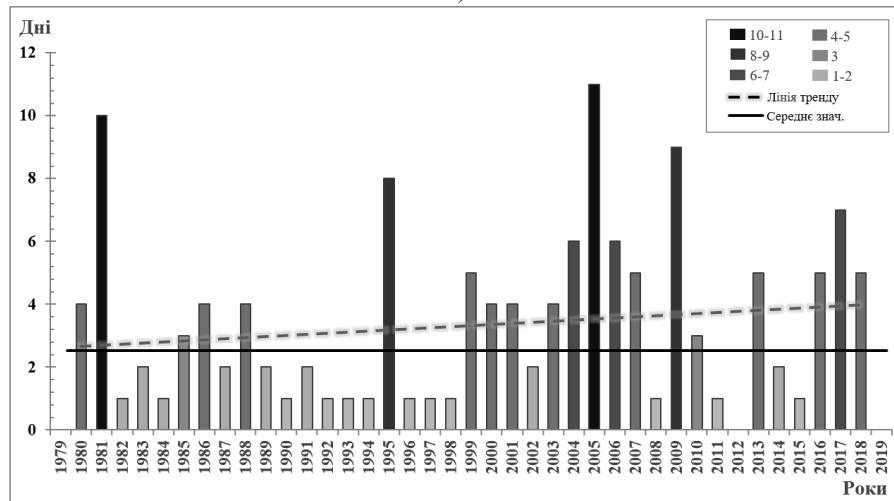
Максимальна кількість днів з сильним та надзвичайним дощем відзначалась у 2008 та 2000 рр. – 8 та 7 днів відповідно, у 1983, 1986, 1989 та 2013 рр. – по 6 днів. У 2011 р. реаналізом не виявлено жодного дня із сильним дощем. Аналіз міжрічної мінливості показав умовне збільшення випадів сильного дощу з 1993 по 2000 рр. та з 2002 по 2008 рр. Проте, для періоду 1979-2019 рр. в загальному ході повторюваності простежується слабка тенденція до зменшення днів із сильним та надзвичайним дощем (рис. 2а).

Найбільша кількість днів з опадами у вигляді снігу відмічалась у 2005, 1981 та 2009 рр. – 11, 10 та 9 днів, відповідно. У 1979, 2012 та 2019 рр. не виявлено жодного дня із сильним снігом. Аналіз міжрічної мінливості продемонстрував відносно збільшення випадів сильного снігу з 2000 по 2009 рр. та з 2013 по 2018 рр. В цілому за період дослідження кількість днів із сильним снігом збільшувалась, що наявно демонструє лінійний тренд (рис. 2б).

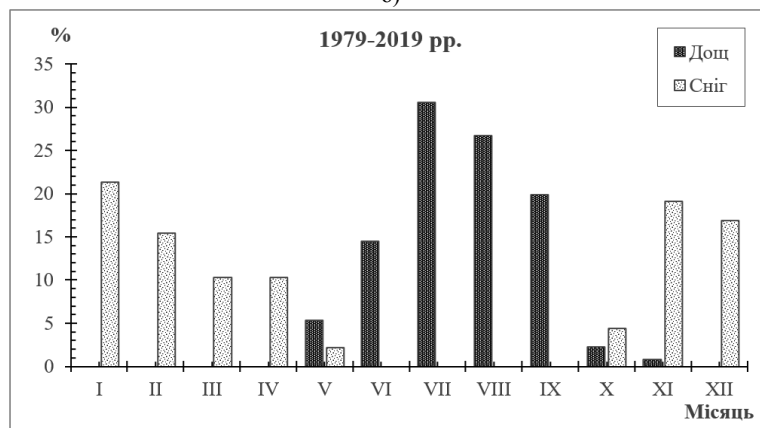
Сильні опади мають яскраво виражений сезонний хід: переважна кількість дощів (92%) спостерігалась з червня по вересень, а снігопадів (73%) – з листопаду по березень. Найбільша повторюваність дощів припадала на липень та серпень – 31 та 27 %, а снігопади найчастіше утворювалися у січні та листопаді – 21 та 19 %.



а)



б)



в)

Рис. 2 – Повторюваність сильних та надзвичайних опадів (а – дощ, б – сніг) для території України за період 1979-2019 рр. та їх сезонна мінливість (в) у %

Fig. 2 - Recurrence of heavy and extreme precipitations (a – rainfall, б – snowfall) for the Ukraine territory for the period 1979-2019 and their seasonal variability (c) in percentage

Для періоду дослідження виявлена наявність сильних снігопадів у квітні та жовтні, що можна вважати ознакою змін клімату та зростання кіль-

кості екстремальних явищ погоди [5,6].

Також за результатами дослідження отримано просторовий розподіл кількості опадів за різни-

ми градаціями, а на рис.3 а,б представлені градації, на які припадало максимальне значення кількості опадів для квадрату сітки. Дощі з кількістю опадів > 50 мм/12 год спостерігалися практично над всією територією України, а зони максимумів повторюваності (4-5 та 5-6 днів за період дослідження) приходились на район Карпатських гір, Донецького краю, Подільської височини та південний захід країни. Сильні снігопади з кількістю опадів > 20 мм/12 год найчастіше виникали у Карпатському регіоні (до 20-26 днів за період дослідження), другий відносний максимум географічного розподілу виявився на південному заході країни (до 9-10 днів за період дослідження).

Щодо просторового розподілу інтенсивності (рис. 3в) сильного дощу, то осередок з максимальними значеннями інтенсивності опадів (120-133 мм/12 год.) позначився на узбережжі Азовського моря в районі Бердянська та Маріуполя, можливо внаслідок пересування південних та над Чорним та Азовським морями. Імовірно проходження південних та південно-західних циклонів та їх переміщення на узбережжя сформувало вузьку, витягнуту з південного заходу на північний схід, зону, де спостерігалися дощі з інтенсивністю до 90-100 мм. Також яскраво виділяються ще осередки з інтенсивними дощами (70-85 мм) – Чернівецька область та лінія Дніпро-Харків.

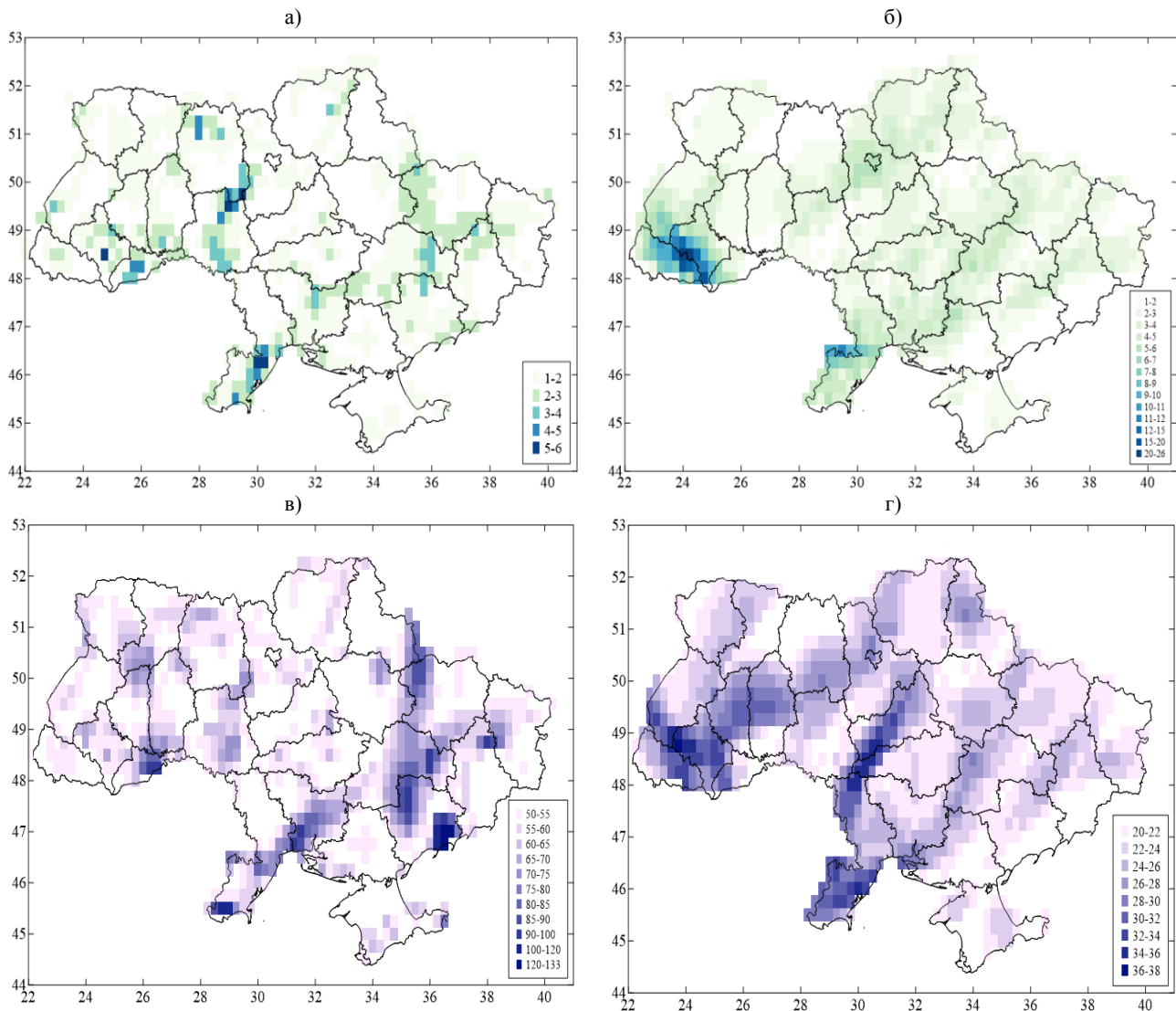


Рис. 3 – Просторовий розподіл кількості днів з сильними та надзвичайними опадами (а – дощ, б – сніг) та їх інтенсивності за градаціями (в – дощ, г – сніг) над Україною за період 1979-2019 рр.

Fig. 3 - Spatial distribution of the number of days with heavy and extreme precipitation (a - rainfall, b - snowfall) and their intensity by gradations (c - rainfall, d - snowfall) over Ukraine for the period 1979-2019

Найсильніші снігопади (34-38 мм/12 год) переважно утворювалися в районі Карпат (рис. 3г), також інтенсивний сніг спостерігався на південний захід від Подільської височини та над південною частиною Одещини (30-34 мм/12 год).

Отже, просторовий розподіл утворення сильних та надзвичайних опадів за даними реаналізу ERA5 суттєво не відрізняється від географічної локалізації сильних опадів за даними метеорологічних спостережень [5-8] та, вірогідно, пояснюється впливом орографії та типовими траєкторіями переміщення циклонів.

Застосування синоптичної класифікації великомасштабних атмосферних процесів Б. Л. Дзердзевського та співавторів [17] дозволило виділити переважаючі типи циркуляції та ЕЦМ, під впливом яких створювалася синоптична ситуація, сприятлива до посилення опадів. Встановлено, що найчастіше випадіння сильних дощів на території України спостерігалось, в основному (38%) при меридіональній циркуляції ЕЦМ 13л, а частка інших ЕЦМ не перевищувала 5% (13з, 12бл, 12а, 10б, 9а). Для ЕЦМ 13л характерні значні горизонтальні баричні градієнти, що створюють сприятливі умови для формування метеорологічних екстремумів (рис. 4а).

Сильні снігопади переважно виникали при

тривалому збереженні меридіональної північної форми циркуляції, тобто домінували типи ЕЦМ 12бз, 12а (18, 15% відповідно), основною ознакою яких є утворення 2-4 блокуючих процесів та 2-4 виходів атлантичних та південних циклонів (рис. 4б).

Випадки з максимальною інтенсивністю дощу (132,8 мм/12 год), згідно даним реаналізу ERA5, спостерігалися з 23 по 27 липня 2008 року, коли відбувався найсильніший паводок в Українських Карпатах за всю історію спостережень на той час.

Протягом цього періоду, погодні умови над Україною формувалися під впливом холодних ділянок арктичного та полярного фронтів, які стаціонували над заходом та центром країни з 21 по 27 липня 2008 року (рис. 5а). Баричне поле визначалося улоговиною малорухомого циклону над з центром над Чорним морем (мінімальний тиск у центрі 1000-1005 гПа) та збереженням інтенсивного антициклону (максимальний тиск у центрі 1025-1030 гПа) над Скандинавським півостровом. Так, над Україною утворилася перехідна зона між баричними утвореннями різного знаку з великими баричними та термічними градієнтами, а також виник висотний циклон над західними областями (рис. 5б).

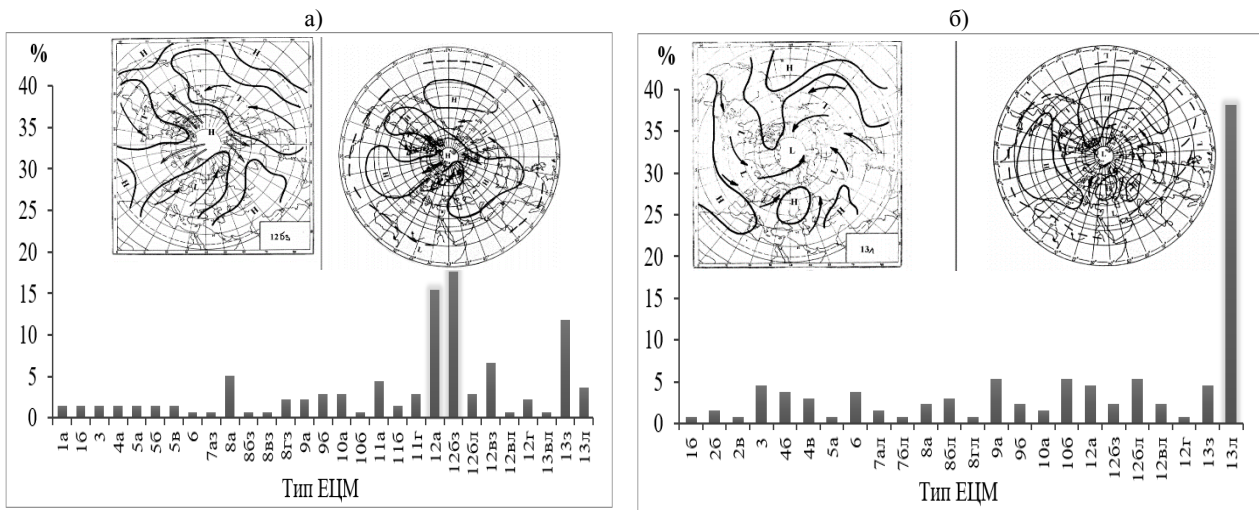


Рис. 4 – Повторюваність (%) типів / підтипів синоптичних процесів при сильних опадах (а – дощ, б – сніг) за період 1979-2019 рр. для території України

Fig. 4 - Recurrence (%) of types and subtypes of synoptic processes at heavy precipitation (a - rainfall, b - snowfall) for the period 1979-2019 for the territory of Ukraine

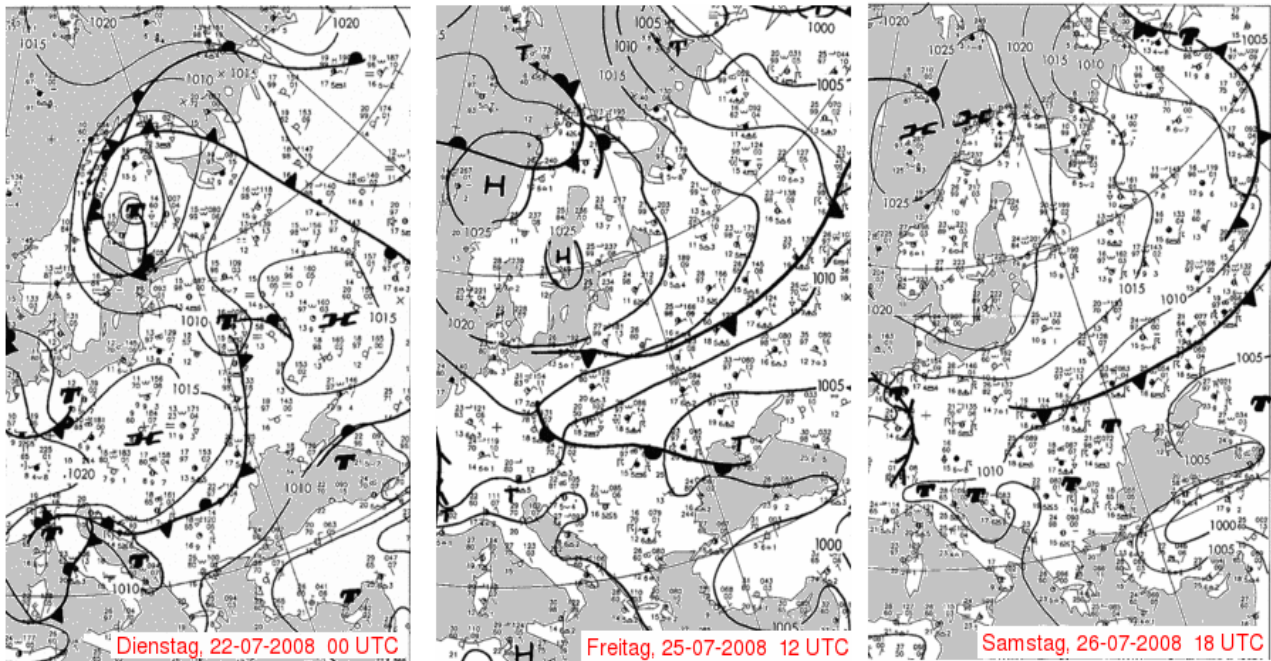


Рис. 5 – Приземний аналіз за 22-26 липня 2008 р.
 Fig. 5 – Surface pressure charts for July 22-26, 2008

4. ВИСНОВКИ

В результаті дослідження з використанням даних атмосферного реаналізу ERA5 за період 1979-2019 рр. для території України виявлено 131 день з дощем та 136 днів зі снігом, коли інтенсивність опадів дорівнювала або перевищувала критерії стихійних метеорологічних явищ II та III рівнів небезпечності.

Визначена наявність тенденції до збільшення кількості сильних снігопадів та зменшення сильних дощів за останні 40 років в Україні.

Сезонний хід утворення сильних та надзвичайних дощів за даними реаналізу характеризувався максимумом у липні та серпні (31 та 27 %), а снігопадів – у січні та листопаді (21 та 19 %), що істотно не відрізняється від кліматичних норм за даними метеорологічних спостережень.

Дощі з інтенсивністю більше 50 мм за 12 годин спостерігалися практично над всією територією України, а зони максимумів повторюваності приходились на райони Карпатських гір, Донецького кряжу, Подільської височини та південний захід країни. Сильні снігопади з кількістю опадів більше 20 мм за 12 годин найчастіше виникали у Карпатському регіоні.

За географічним розподілом максимальної інтенсивності опадів визначається осередок з інтенсивністю дощу 120-133 мм/12 год біля узбережжя Азовського моря, тоді як ареали найсильніших снігопадів (34-38 мм/12 год.) відмічалися

в районі Карпат.

Просторовий розподіл кількості днів та максимальної інтенсивності сильних опадів у вузлах регулярної сітки суттєво не відрізняється від кліматичних закономірностей для метеорологічних спостережень.

Виявлено, що опади у вигляді дощу та снігу переважно посилювались під впливом ЕЦМ 13л та 12бз синоптичної класифікації атмосферних процесів Б.Л. Дзержевського.

Наведені у цій статті результати були отримані за допомогою чисельного моделювання Європейського центру середньострокових прогнозів (ECMWF), які є надійним джерелом вихідних даних у сучасних дослідженнях. Отже, надалі, використовуючи ресурси ECMWF, слід з'ясувати фізичні механізми утворення сильних опадів через моделювання процесів переносу вологи над Атлантико-Європейським сектором.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють подяку Хохлову В.М. за допомогу у формулюванні гіпотези дослідження, критичні зауваження в ході роботи та цінні поради.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC, 2014.
2. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-dobu/111143.html> (дата звернення: 11.09.2020).
3. *Copernicus Climate Data Store. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present.* URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form> (дата звернення 10.03.20 р.).
4. Настанова з метеорологічного прогнозування / Гумоненко Л. В., Жук Н. Г., Савченко Л. І. та ін. Київ, 2019. 35 с.
5. Balabukh V. O. et al. Extreme weather events in Ukraine: occurrence and changes. *Extreme Weather* / Edited by P. J. Sallis. London, UK: IntechOpen, 2018. Pp. 85-106.
6. Семергей-Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Сильні дощі та зливи у Закарпатській області як стихійні метеорологічні явища (1999-2018 рр.). *Український географічний журнал.* 2019. №4(108). С. 11-17.
7. Клімат України: монографія / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003, 343 с.
8. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / за ред. В. М. Ліпінського, В. М. Бабіченко. Київ: Ніка-Центр, 2006, 311 с.
9. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Динаміка стихійних метеорологічних явищ в Україні. *Український географічний журнал.* 2012. №4. С. 8-14. URL: https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-4-08_0.pdf
10. Балабух В. О. Мінливість дуже сильних дощів і сильних злив в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ.* 2008. Вип. 257. С. 61-72.
11. Мартазінова В. Ф., Щеглов А. А. Характер екстремальних опадів початку ХХІ століття на території України. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2018. №22. С. 36-45. <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.04>
12. Хохлов В. М., Уманська О. В., Ель Хадрі Юсеф та ін. Виявлення можливості застосування даних реаналізу в наукових дослідженнях. *Тези доповідей I Всеукр. гідрометеорологічного з'їзду з міжнародною участю, 22-23 березня.* Одеса: ТЕС, 2017. С. 235-236.
13. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).* URL: <https://www.ecmwf.int/> (дата звернення: 10.03.2020).
14. Miguel Nogueira. Inter-comparison of ERA-5, ERA-interim and GPCP rainfall over the last 40 years: Process-based analysis of systematic and random differences. *Journal of Hydrology.* 2020. Vol. 583. Pp. 1-17 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124632>
15. Tymofeyev V. E., Scheglov A., Skorotyana Yu. On the extreme summer precipitation in Ukraine over the last decades. *Proceedings of the 7th European Conference on Severe Storms (ECSS2013),* 3-7 June. Helsinki, Finland, 2013. URL: <https://www.essl.org/ECSS/2013/programme/abstracts/144.pdf>
16. Guide to Climatological Practices. *WMO.* 2018. No. 100, pp. 89-91. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9868 (дата звернення: 15.09.2020).
17. *Календарь последовательной смены ЭЦМ по периодам.* URL: <http://atmospheric-circulation.ru> (дата звернення: 20.04.2020).

REFERENCES

1. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (2014.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC.
2. *Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii [The State Emergency Service of Ukraine].* Available at: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-dobu/111143.html> (accessed: 11.09.2020). (in Ukr.)
3. *Copernicus Climate Data Store. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present.* Available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form> (Accessed: 10.03.20).
4. Humonenko, L.V., Zhuk, N.H., Savchenko, L.I. et al. (2019). *Nastanova z meteorolohichnoho prohnozuvannia [Meteorological forecasting guide.]* Kyiv. (in Ukr.)
5. Balabukh, V.O. et al. (2018). Extreme weather events in Ukraine: occurrence and changes. In: Sallis, P.J. (ed.). *Extreme Weather.* London, UK. IntechOpen, pp. 85-106.
6. Semerhei-Chumachenko, A.B. & Ozymko, R.R. (2019). Distribution of storm rains in the Transcarpathian region for the last twenty-years (1999-2018). *Ukrayins'kyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal],* 4(108), pp.11-17. (in Ukr). <https://doi.org/10.15407/ugz2019.04.011>
7. Lipinskiy, V.M., Diachuk, V.A. & Babichenko, V.M. (eds). (2003). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine].* Kyiv: Raevsky Publ. (in Ukr)
8. Babichenko, V.M. & Lipinskiy, V.M. (eds). (2006). *Stykhiini meteorolohichni yavyschcha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986-2005 rr.) [Extreme meteorological events in Ukraine 1986-2005].* Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
9. Osadchy, V.I. & Babichenko, V.M. (2012). Dynamics of adverse meteorological phenomena in Ukraine. *Ukrayins'kyi heohrafichnyi zhurnal. [Ukrainian Geographical Journal],* 4, pp. 8-14. (in Ukr.) Available at: https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ-2012-4-08_0.pdf
10. Balabukh, V.O. (2008). Minlyvist duzhe sylnykh doshchiv i sylnykh zlyv v Ukraini [Variability of very heavy rains and heavy rainfalls in Ukraine]. *Nauk. Pratsi UkrNDHMI [Scientific works of UkrSEHMI],* 257, pp. 61-72. (in Ukr.)
11. Martazinova, V.F. & Shcheglov, A.A. (2018). [Nature of extreme precipitation over Ukraine in the 21st century]. *Ukr. gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal],* 22, pp. 36-45. (in Russ.). <https://doi.org/10.31481/uhmj.22.2018.04>
12. Khokhlov, V.M., Umanska, O.V., El Hadri, Y. et al. (2017). [Identifying the possibility of using reanalysis data in research]. *Tezy dopovidei 1th Vseukrainskoho hidrometeorolohichnoho zizdu z mizhnarodnoiu uchastiu [Theses of reports of the First All-Ukrainian Hydrometeorological Congress with International Participation],* 22-23 March. Odessa, pp. 235-236. (in Ukr.)
13. *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).* Available at: <https://www.ecmwf.int/> (Accessed: 10.03.2020).

14. Miguel Nogueira. (2020). Inter-comparison of ERA-5, ERA-interim and GPCP rainfall over the last 40 years: Process-based analysis of systematic and random differences. *Journal of Hydrology*, 583, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124632>
15. Tymofeyev, V.E., Scheglov, A., Skorotyana, Yu. (2013). On the extreme summer precipitation in Ukraine over the last decades. *Proceedings of the 7th European Conference on Severe Storms (ECSS2013)*. Helsinki, Finland. Available at: <https://www.essl.org/ECSS/2013/programme/abstracts/144.pdf>
16. Guide to Climatological Practices. *WMO*. 2018. No. 100, pp. 89-91. Available at: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9868 (Accessed: 15.09.2020).
17. *Kalendar' posledovatel'noy smeny ECM po periodam [Calendar of consecutive ECM changes by periods]*. Available at: <http://atmospheric-circulation.ru> (Accessed: 20.04.2020). (in Russ.)

SPATIAL–TEMPORAL DISTRIBUTION OF HEAVY PRECIPITATION OVER UKRAINE DURING 1979-2019 ACCORDING TO THE ERA5 REANALYSIS

A. B. Semerhei-Chumachenko,
K. L. Slobodianyuk

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine,
asemerhey2016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>
<https://orcid.org/0000-0003-1118-4469>*

The paper presents the results of research of heavy and extreme precipitation in the form of rain (> 50 mm / 12 h) and snow (> 20 mm / 12 h) using the data from the atmospheric reanalysis ERA5 for the period of 1979-2019. According to the data of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts obtained through the numerical modeling and resulting from the data assimilation at the nodes of a regular grid with a spatial resolution of 0,25°×0,25°, there are 131 and 136 days with rain and snow during which precipitation intensity reached the criteria of meteorological phenomena of the 2nd and 3rd levels of danger. It was discovered that the last 40 years in Ukraine proved to have a tendency of an increased number of cases of heavy snowfall, and a slightly decreased number of heavy rains.

The research pays considerable attention to the spatial-temporal analysis of the frequency and intensity of heavy rainfall with consideration of geographical factors. It determines the seasonal course of heavy and extreme precipitation, the maximum and minimum values of which did not differ from the climatic standard values observed during meteorological observations. Rainfalls with precipitation rates of more than 50 mm over 12 hours were observed almost over the entire territory of Ukraine and the maximum frequency zones were detected over the Carpathian Mountains, Donetsk Ridge, Podolsk Upland, and the south-western part of the country. Heavy snowfalls with more than 20 mm precipitation over 12 hours mostly occurred in the Carpathian region. The analysis of the geographical distribution revealed a center with maximum values of rain intensity (120-133 mm over 12 h) off the coast of the Sea of Azov, and the heaviest snowfalls (34-38 mm over 12 h) mainly formed in the Carpathian region.

The paper established the types of elementary circulation mechanisms of Dzerdzhevsky's synoptic classification of Northern Hemisphere atmospheric circulation. These types, when continuous in nature, resulted in a significantly increased precipitation in the form of rain and snow.

According to the reanalysis data, cases with the maximum rain intensity were found over the period of 23 to 27 July 2008 when a catastrophic flood was observed in the Ukrainian Carpathians. This fact indicates that the structure of the field of heavy precipitation over the territory of Ukraine was adequately reproduced by the respective model of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

Keywords: reanalysis data, ERA5, heavy precipitation, extreme precipitation, elementary circulatory mechanisms.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ НАД УКРАИНОЙ ЗА 1979-2019 ГГ. ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5

А. Б. Семергей-Чумаченко,
Е. Л. Слободяник

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина,
asemergey2016@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>
<https://orcid.org/0000-0003-1118-4469>

Представлены результаты исследования сильных и чрезвычайных осадков в виде дождя (> 50 мм/12 ч) и снега (> 20 мм/12 ч) с использованием данных атмосферного реанализа ERA5 за период 1979-2019 гг. По информации Европейского центра среднесрочных прогнозов, полученной с помощью численного моделирования, которая является результатом ассимиляции данных в узлах регулярной сетки с пространственным разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, на территории Украины обнаружено 131 и 136 дней с дождем и снегом, с интенсивностью осадков выше критериев стихийных метеорологических явлений II и III уровней опасности. Выяснено, что за последние 40 лет в Украине наблюдалась наглядная тенденция к увеличению количества случаев сильных снегопадов, а количество сильных дождей незначительно уменьшалось.

Значительное внимание уделяется пространственно-временному анализу повторяемости и интенсивности сильных осадков с учетом географических факторов. Определен сезонный ход образования сильных и чрезвычайных осадков, максимумы и минимумы которого не отличались от климатических норм по данным метеорологических наблюдений. Дожди с количеством осадков более 50 мм за 12 часов наблюдались практически над всей территорией Украины, а зоны максимумов повторяемости приходились на районы Карпатских гор, Донецкого кряжа, Подольской возвышенности и юго-запад страны. Сильные снегопады с количеством осадков более 20 мм за 12 часов зачастую возникали в Карпатском регионе. Анализ географического распределения обнаружил очаг с максимальными значениями интенсивности дождя (120-133 мм/12 ч.) у побережья Азовского моря, а сильные снегопады (34-38 мм/12 ч) преимущественно образовывались в районе Карпат.

Установлены типы элементарных циркуляционных механизмов синоптической классификации атмосферных процессов северного полушария Б. Л. Дзердзеевского, при сохранении которых осадки в виде дождя и снега значительно усиливались.

Случаи с максимальной интенсивностью дождя по данным реанализа обнаружены с 23 по 27 июля 2008 года, когда наблюдался катастрофический паводок в Украинских Карпатах, что свидетельствует об адекватном воспроизведении моделью Европейского центра среднесрочных прогнозов структуры поля сильных осадков над территорией Украины.

Ключевые слова: данные реанализа; ERA5; сильные осадки; чрезвычайные осадки; элементарные циркуляционные механизмы.

Подання до редакції : 09. 11. 2020
Надходження остаточної версії : 02. 12. 2020
Публікація статті : 17. 12. 2020