



RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

JOURNAL	World Science
p-ISSN	2413-1032
e-ISSN	2414-6404
PUBLISHER	RS Global Sp. z O.O., Poland
ARTICLE TITLE	ВИНИКНЕННЯ СИЛЬНИХ ОПАДІВ НА СТАНЦІЇ ХЕРСОН ЗА ДАНИМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА РЕАНАЛІЗУ ERA5
AUTHOR(S)	Слободяник К. Л., Семергей-Чумаченко А. Б., Веретнова В.О.
ARTICLE INFO	Slobodianyuk K. L., Semerhei-Chumachenko A. B., Veretnova V. O. (2021) Heavy Precipitation Occurrence Over Kherson Weather Station According to Meteorological Observations and Era5 Reanalysis. World Science. 11(72). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30122021/7720
DOI	https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122021/7720
RECEIVED	19 October 2021
ACCEPTED	06 December 2021
PUBLISHED	10 December 2021
LICENSE	 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License .

© The author(s) 2021. This publication is an open access article.

ВИНИКНЕННЯ СИЛЬНИХ ОПАДІВ НА СТАНЦІЇ ХЕРСОН ЗА ДАНИМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА РЕАНАЛІЗУ ERA5

Слободяник К. Л., аспірантка, Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1118-4469>

Семергей-Чумаченко А. Б., к.геогр.н., доц., Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-4073>

Веретнова В.О., студентка, Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122021/7720

ARTICLE INFO

Received: 19 October 2021

Accepted: 06 December 2021

Published: 10 December 2021

KEYWORDS

heavy precipitation, extreme precipitation, reanalysis data, ERA5, meteorological observations, synoptic situation.

ABSTRACT

The paper presents the results of a study of heavy precipitation in the form of rain (> 30 mm/12 h) using data from the meteorological observations and atmospheric reanalysis ERA5 at the Kherson weather station in 2005-2021. Detected that at the Kherson there were only 19 cases of heavy rainfall, which occurred only in the warm half of the year with a maximum recurrence in July. Compared to 1961-1990, the number of heavy rains of 2005-2021 increased in July and June, and decreased in August. Determined that most of the real cases of increased precipitation in Kherson are in good agreement with the results of the ERA5 reanalysis, but in almost a third of the simulation episodes did not show heavy precipitation at the Kherson coordinates or their center was shifted.

Heavy rains in Kherson were formed in a field of low atmospheric pressure, with a weak northwest wind and accompanied by thunderstorms. Clarified that most episodes of heavy rainfall in Kherson in 2005-2021 are associated with the movement of southern cyclones, others formed on the southern periphery of the anticyclone in the southwestern direction of the jet stream in the troposphere.

Citation: Slobodanyk K. L., Semerhei-Chumachenko A. B., Veretnova V. O. (2021) Heavy Precipitation Occurrence Over Kherson Weather Station According to Meteorological Observations and Era5 Reanalysis. *World Science*. 11(72). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30122021/7720

Copyright: © 2021 Slobodanyk K. L., Semerhei-Chumachenko A. B., Veretnova V. O. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Вступ. За останні десятиріччя глобальні кліматичні зміни проявилися не лише підвищенням середньої температури повітря, але й збільшенням частоти та інтенсивності екстремальних метеорологічних явищ, зокрема надзвичайних опадів [1-4]. Сильні та надзвичайні опади впливають фактично на всі сфери життєдіяльності людини та економіки країни через руйнування транспортних комунікацій, пошкодження ліній електромереж, підтоплення промислових споруд та житлових будинків з жертвами серед населення, нерідко паралізуючи життя великого міста або регіону.

Наприклад, успішність роботи авіаційного транспорту залежить від опадів через замети на злітно-посадкових смугах, зменшення коефіцієнту зчеплення шасі та злітно-посадкової смуги, а також погіршення горизонтальної та вертикальної видимості при злеті та посадці повітряних суден. Сильні опади значно ускладнюють роботу портових споруд при обслуговуванні водного транспорту, а автомобільний транспорт несе серйозні збитки через утворення заметів, зменшення видимості, утворення бездоріжжя та зростання автомобільних аварій.

Мета дослідження – проведення часткового порівняння випадків сильних та надзвичайних опадів, отриманих за даними метеорологічних спостережень станції Херсон за

період 2005-2021 рр. [5] з даними реаналізу ERA5 [6]. для точки з координатами міста Херсон (46°38' пн.ш. і 32°36' сх.д.) із визначення сучасного режиму виникнення сильних опадів та характеру атмосферної циркуляції, що сприяє їх посиленню.

Матеріали та методи дослідження. В якості вихідних даних для дослідження взяті дані про опади реаналізу ERA5, що були розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів (ECMWF) та надані Службою з питань змін клімату Copernicus (Copernicus Climate Change Service) [6]. Вказана модель зарекомендувала себе як надійне джерело вихідних даних у багаточисленних світових та вітчизняних дослідженнях [1, 2, 7].

У досліджуванні використовувався такий параметр, як загальна кількість опадів (м) – накопичена вода у рідкому та замерзлому стані (дощ, сніг) за певний період часу. Цей параметр містить 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 2005 по 2021 рр. для точки з координатами м. Херсон. При цьому слід розуміти, що порівняння параметрів моделі із даними спостереження є доволі обмеженими, оскільки фактичні дані є локальними для певної точки простору, а параметри моделі представляють собою осереднені значення за полем сітки.

Дані стандартних восьмистрокових (кожні три години) метеорологічних спостережень на станції Херсон містять інформацію про кількість опадів за 12 год.

Результати досліджень. Згідно 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 [8].

Згідно [8], 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 [9, 10]. Один раз за 5-10 років вони ймовірні у інших регіонах [10].

Для характеристики режиму утворення сильних опадів на ст. Херсон обраний період з 2005 р. по 2021 р. включно, а у якості вихідної інформації залучені дані метеорологічних спостережень [5]. Виявлено, що за період дослідження спостерігалось лише 18 випадків з інтенсивністю опадів $> 30\text{мм}/12\text{ год.}$, та тричі інтенсивність перевищувала $50\text{ мм}/12\text{ год.}$ (табл. 1), тобто опади досягали «помаранчевого» рівня метеорологічної небезпеки згідно [8], спричиняючи СМЯ II. Надзвичайного дощу ($> 80\text{мм}/12\text{ год.}$) або надзвичайної зливи ($> 50\text{мм}/1\text{ год.}$), тобто СМЯ III, жодного разу не було у Херсоні з 2005 до травня 2021 р.

При вивченні того чи іншого метеорологічного явища традиційно проводять аналіз його повторюваності залежно від пори року й доби, певних метеорологічних умов і синоптичних ситуацій. З початку 2005 до грудня 2021 року сильні опади утворювалися лише у тепле півріччя, тобто з квітня по жовтень (рис. 1), а значення максимальної інтенсивності опадів холодного півріччя становило від 16 до 25 мм/12 год. У тепле півріччя найсильніші дощі утворювалися у червні та жовтні (62 та 67 мм/12 год.), але у середньому максимальна інтенсивність опадів складала 39,6 мм/12 год та мінімумом у вересні (31 мм/12 год.).

Порівнюючи кількість днів, коли за 12 год. випадало більш ніж 30 мм опадів, у 1961-1990 рр. (табл. 2) і 2005-2021 (табл. 1) виявлено, що в обидва періоди сильні опади не спостерігалися взагалі з листопада по лютий.

Але у 1961-1990 рр. одного разу вони утворилися у березні з повною відсутністю у квітні, а у 2005-2021 рр. – навпаки. Найчастіше у 1961-1990 рр. подібні дощі випадали по три рази на 10 років (0,3 у табл. 1) у липні та серпні, але за 16-ти річний період дослідження у липні було зареєстровано 6 випадків (рис. 2), а у серпні лише два. Отже, кількість сильних дощів суттєво

зросла у липні та зменшилася у серпні. Інший максимум сучасного періоду припадав на червень (4 випадки), тоді як у 1961-1990 рр. у цьому місяці був лише один випадок на 10 років (0,1). У вересні та жовтні 1961-1990 рр. сильні опади виникали двічі на 10 років, а у 2005-2021 рр. – по одному разу.

Таблиця 1. Число днів з кількістю опадів більше 30 мм/12 год. на ст. Херсон з лютого 2005 по травень 2021 рр.

№	Дата, час	I,	T,	dd,	V,	Явище
		мм/12 год.	°C	румб	м/с	
1	14.08.2005 21:00	40	20,5	Пн-Пн-Зх	1	Гроза
2	21.06.2006 21:00	35	19,3	Пн-Сх	3	Гроза
3	26.07.2007 09:00	52	20,4	Пн-Зх	5	Гроза
4	26.06.2009 21:00	62	22,1	Пн	5	Гроза
5	26.06.2009 15:00	43	21,1	Сх	4	Гроза
6	09.10.2010 21:00	67	10,6	Сх	3	Гроза
7	30.09.2010 21:00	31	11,3	Пн-Зх	3	Злива
8	10.06.2011 21:00	30	19,5	Штиль	0	Гроза
9	13.08.2012 09:00	42	16,2	Зх	2	Гроза
10	04.07.2015 21:00	33	19,4	Зх	2	Гроза
11	28.05.2015 09:00	36	13,4	Пн-Зх	5	Злива
12	29.05.2015 03:00	33	13,5	Пн-Зх	4	Злива
13	20.04.2016 21:00	41	6,8	Пн-Пн-Зх	8	Гроза
14	25.07.2018 21:00	30	20,9	Пн-Сх	1	Злива
15	25.07.2018 15:00	30	21,1	Пн	4	Гроза
16	26.05.2019 21:00	30	17,4	Пд-Зх	2	Злива
17	06.07.2020 21:00	33	23,5	Пн	2	Гроза
18	17.05.2021 09:00	45	16,5	Зх	1	Гроза
19	05.07.2021 09:00	32	20,2	Зх	4	Гроза

Таблиця 2. Кількість днів з кількістю опадів більше 30 мм/12 год. на ст. Херсон у 1961-1990 рр. [6]

Місяць	I	II	III	IV	V	VI
Кількість днів			0,03		0,1	0,1
Місяць	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кількість днів	0,3	0,3	0,2	0,2		

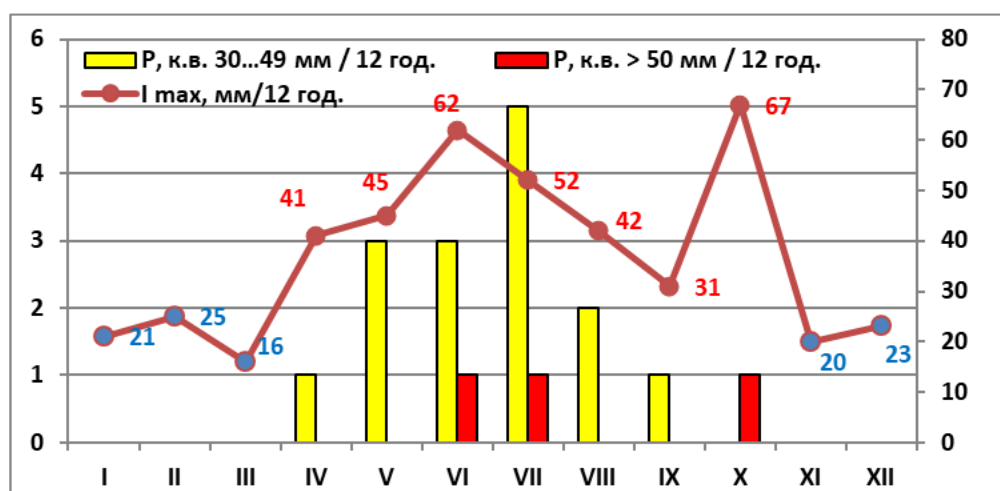


Рис. 1. Річний хід кількості випадків сильних опадів (з інтенсивністю > 30мм/12 год. та > 50мм/12 год.) та значення максимальної інтенсивності опадів протягом року на ст. Херсон з лютого 2005 р. по травень 2021 р.

Як видно з рис. 2, сильні опади у Херсоні виникали не щорічно, а саме у 2008, 2013, 2014 та 2017 рр. жодного разу інтенсивність опадів не перевищували 30 мм/12 год. Найчастіше вони

спостерігалися по одному разу (9 років з 16), по 2 рази сильні опади утворювалися двічі – у 2009, 2010 та 2018 рр., а у 2015 р. було три випадки сильних опадів – 28-29 травня та 4 липня 2015 р.

Більшість сильних опадів (13 випадків або 72 %) супроводжуються грозами, відносно менше гроз спостерігалось сумісно з травневими та вересневими сильними опадами. Сильні опади утворювалися при відносно низькому атмосферному тиску від 998,6 до 1010,6 гПа, а у середньому - 1006,6 гПа (табл. 3).

Таблиця 3. Повторюваність (Р, к.в.), інтенсивність (І, мм/12 год.), середні значення атмосферного тиску та швидкості вітру підчас сильних опадів на ст. Херсон

Місяць	Р., к.в.	І ср, мм/12 год.	І макс, мм/12 год.	Р, гПа	V, м/с
квітень	1	41	41	1010,6	8
травень	4	36	45	998,6	3
червень	4	42	62	1001,2	3
липень	6	35	52	1009,3	3
серпень	2	41	42	1007,9	3
вересень	1	31	31	1008,4	3
жовтень	1	67	67	1010,5	3

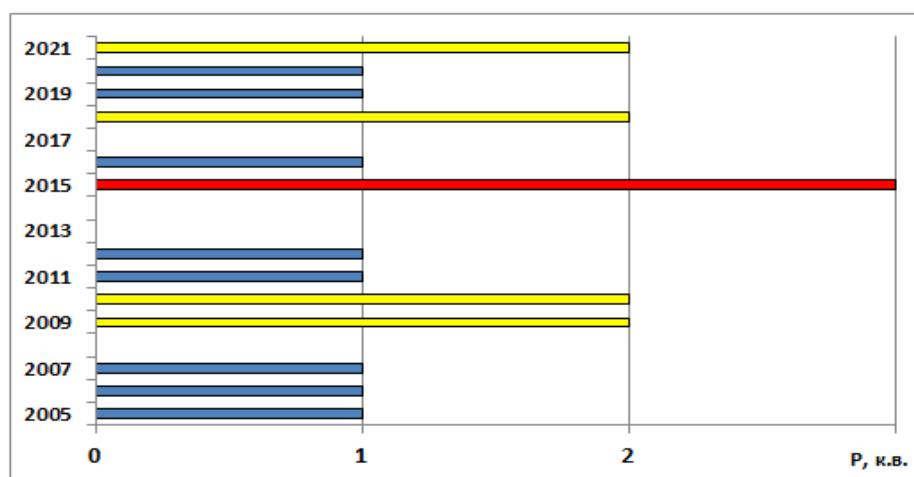


Рис. 2. Розподіл кількості випадків сильних опадів по місяцям та рокам на ст. Херсон з лютого 2005 р. по травень 2021 р.

Як видно з рис. 3, швидкість вітру біля землі у середньому становила 3,1 м/с коливаючись від штилю (10 червня 2011 р.) до 8 м/с (20 квітня 2016 р.), а переважно вітер посилювався до 2 м/с (4 випадки). Здебільшого, сильні опади у Херсоні спостерігалися при північно-західному вітрі (33 %), та по 17% виникало при північному та західному напрямку. Жодного разу опади не посилювалися при південному та південно-східному вітрі.

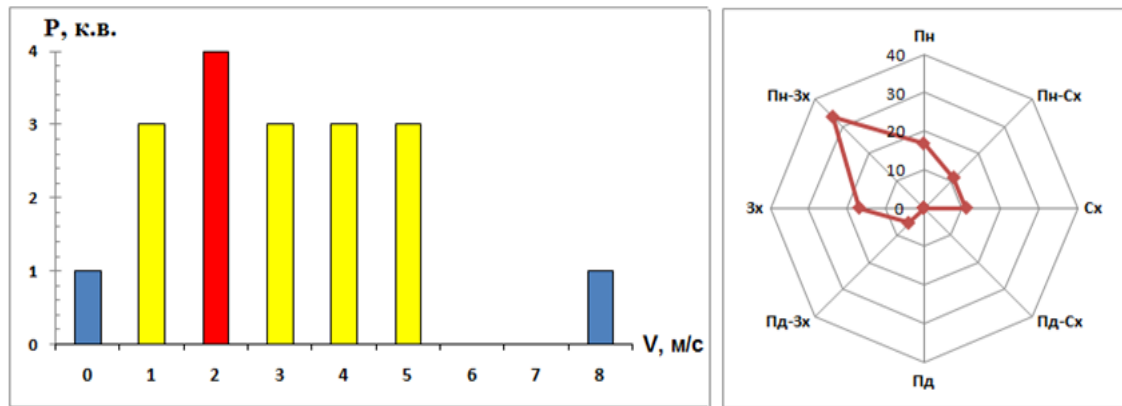


Рис. 3. Гістограма швидкості вітру та розподіл вітру за напрямками підчас сильних опадів у Херсоні, 2005-2021 рр.

Отже, при помітному зниженні [11] середньорічної кількості опадів у сучасному періоду на станції Херсон виявлено зростання кількості випадків опадів з інтенсивністю більш ніж 30 мм/12 год.

Для порівняння випадків сильних та надзвичайних опадів, отриманих за даними спостережень з результатом реаналізу ERA5 за період 2005-2021 рр. використовувалася змінна 'total_precipitation' для кожної години доби, яка є змінною інтегрованої системи прогнозування (Integrated Forecasting System) ECMWF. Цим параметром є накопичена рідка та замерзла вода, що складається з дощу та снігу, що випадає на поверхню Землі та є сумою великомасштабних і конвективних опадів. Параметр не включає туман, росу або опади, які випаровуються в атмосфері до того, як вони приземляться на поверхню Землі, а також являє собою загальну кількість води, накопиченої за певний період часу, яка залежить від отриманих даних [6, 12].

У третині епізодів (6 випадків) моделювання не виявило утворення сильних опадів у точці з координатами м. Херсон або їх осередок був зміщений, можливо внаслідок локальності спостережень для певної точки в просторі та часі, які не представляють середні значення в сітці моделі. Але більша частина реальних випадків посилення опадів у Херсоні вдало узгоджується з результатами моделювання (рис. 4), особливо 25 липня 2018, 18 серпня 2012 та 30 вересня 2010 рр.

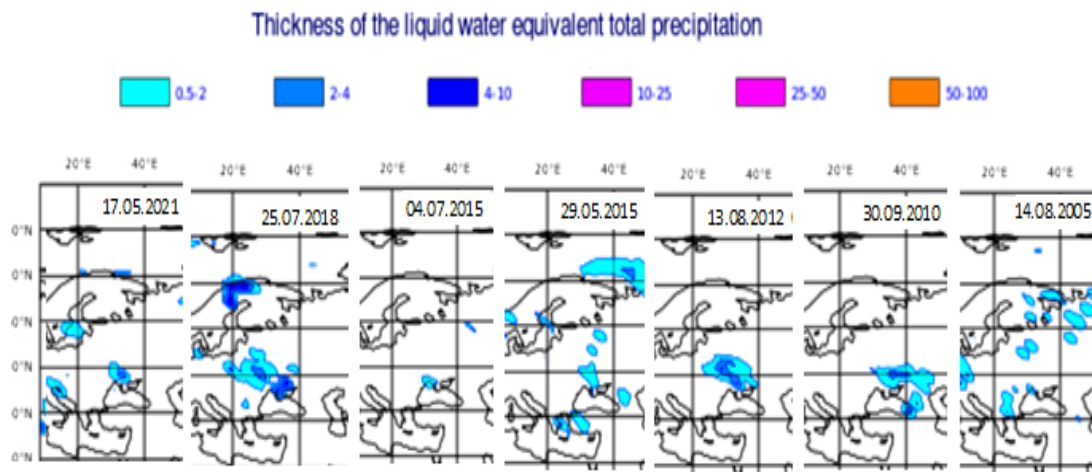


Рис. 4. Приклади просторового розподілу змінної 'total_precipitation' реаналізу ERA5 за наявності сильних опадів у Херсоні, 2005-2021 рр.

Нажаль, не можна стверджувати, що дані реаналізу є достатньо точними та якісними для всіх інших випадків сильних та надзвичайних опадів, оскільки повноцінна верифікація даних реаналізу, як і всіх прогнозів безперервних величин, передбачає використання графіків розсіяння та різноманітних сумарних оцінок, мова про які йтиме в майбутніх дослідженнях.

Розглянемо синоптичні ситуації, напрям циркуляції повітряних мас на рівні 500 гПа та значення двох індексів конвекції (CAPE та Lifted index), що сприяли випадінню сильних опадів на станції Херсон. За 16 років у Херсоні спостерігалось лише 19 епізодів з сильними дощами,

коли за 12 годин випало більше 30 мм, з яких три можна віднести до СМЯ ІІ. В ході роботи були зібрані та упорядковані синоптичні карти та супутникові знімки з ресурсів [13, 14].

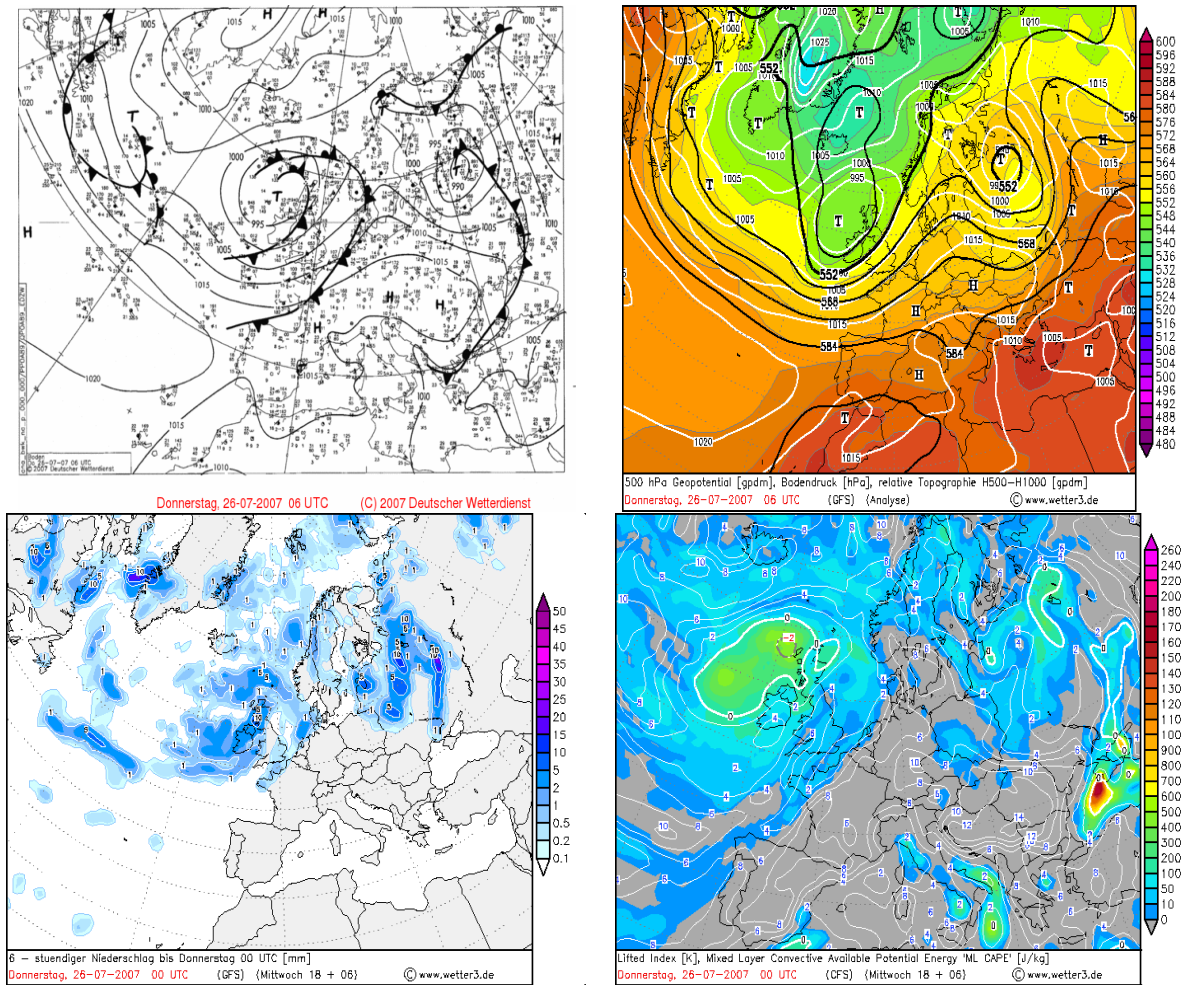


Рис. 5. Приземний аналіз, АТ-500, ВТ-500/1000, карта опадів і індексів конвекції CAPE та Li за 26.07.2007 р.

Таблиця 4. Повторюваність (% / к.в.) синоптичної ситуації в період формування сильних опадів на ст. Херсон

Дата	Синоптична ситуація					
	Південний циклон та його улоговини	Західний циклон та його улоговини	Північно-західні циклони та їх улоговини	Поле зниженого тиску	Поле підвищеного тиску	Південна периферія антициклону
1	2	3	4	5	6	7
30-49 мм/12 год						
14.08.2005						+
21.06.2006						+
27.06.2009						+
30.09.2010	+					
10.06.2011	+					
13.08.2012	+					
04.07.2015						+
28.05.2015	+					

Продовження таблиці 4.

1	2	3	4	5	6	7
29.05.2015	+					
20.04.2016	+					
25.07.2018						+
26.07.2018						+
25.05.2019	+					
06.07.2020					+	
17.05.2021	+					
Всього	9	-	-	-	-	6
≥50 мм/12 год.						
26.07.2007			+			
26.06.2009						+
09.10.2010	+					
Всього	1		1			1

Таблиця 5. Повторюваність (к.в.) напрямку висотного потоку на рівні 500 гПа, при якому спостерігалися сильні опади (≥30 мм/12 год) у Херсоні з 2005 по 2021 рр.

Дата	Напрямок потоку, румб	CAPE, Дж/кг	Li, °C
30-49 мм/12 год			
14.08.2005	Пд-Зх	1100	-2
21.06.2006	Пн-Зх	1300	-4
27.06.2009	Пд-Сх	1600	-4
30.09.2010	Пд-Зх	500	0
10.06.2011	Пд-Зх	600	-2
13.08.2012	Пд-Зх	600	-2
04.07.2015	Пд	600	-2
28.05.2015	Пд	100	2
29.05.2015	Пд	100	2
20.04.2016	Пд-Зх	50	0
25.07.2018	Пд	1200	-4
26.07.2018	Пд	1400	-6
25.05.2019	Пд	600	-1
06.07.2020	Пд-Зх	1100	-4
17.05.2021	Пд	800	-2
≥50 мм/12 год.			
26.07.2007	Зх	50	0
26.06.2009	Пд-Сх	1800	-6
09.10.2010	Пд-Зх	100	0

Опади, інтенсивність яких відповідала помаранчевому критерію СМЯ II, утворювалися при проходженні південного циклону (9 жовтня 2010 р., рис. 6), на холодній ділянці полярного фронту на вісі меридіональне орієнтованої улоговини циклону з центром над Балтійським морем (26 липня 2007 р., рис. 5) та при загостренні полярного фронту на південній периферії обширного антициклону над ЄТР та Україною (26 червня 2009 р., рис. 7).

Як видно з табл. 5, опади у Херсоні переважно (78 %) посилювалися при південному та південно-західному напрямках ВФЗ, двічі потоки повітря на рівні 500 гПа приймали південно-східний напрям, та по одному разу – північний та західний. Також виявилось, що після 2010 року сильні опади у пункті дослідження утворювалися виключно при південному або південно-західному напрямі потоків ВФЗ.

При значному посиленні опадів у тепле півріччя (з квітня по жовтень) вагомим чинником процесу є термічна конвекція, тому для аналізу термодинамічного стану атмосфери над Херсоном під час виникнення сильних опадів були проаналізовані два основних індекси конвекції за даними глобальної моделі GFS [13].

Одним з найбільш часто використовуваних індексів є така характеристика потужності нестійкого шару, як конвективна потенційна енергія. Її досить ефективно відображає індекс CAPE (Convective Available Potential Energy), який розраховується за формулою:

$$CAPE = g \int_{LFCT}^{EL} \frac{T-T'}{T'} dz, \quad (1.1)$$

де T – температура частки повітря, T' – температура навколишнього повітря, g – прискорення вільного падіння, $LFCT$ – рівень конденсації, EL – рівень конвекції (вирівнювання температур на верхньої межі конвективної хмари).

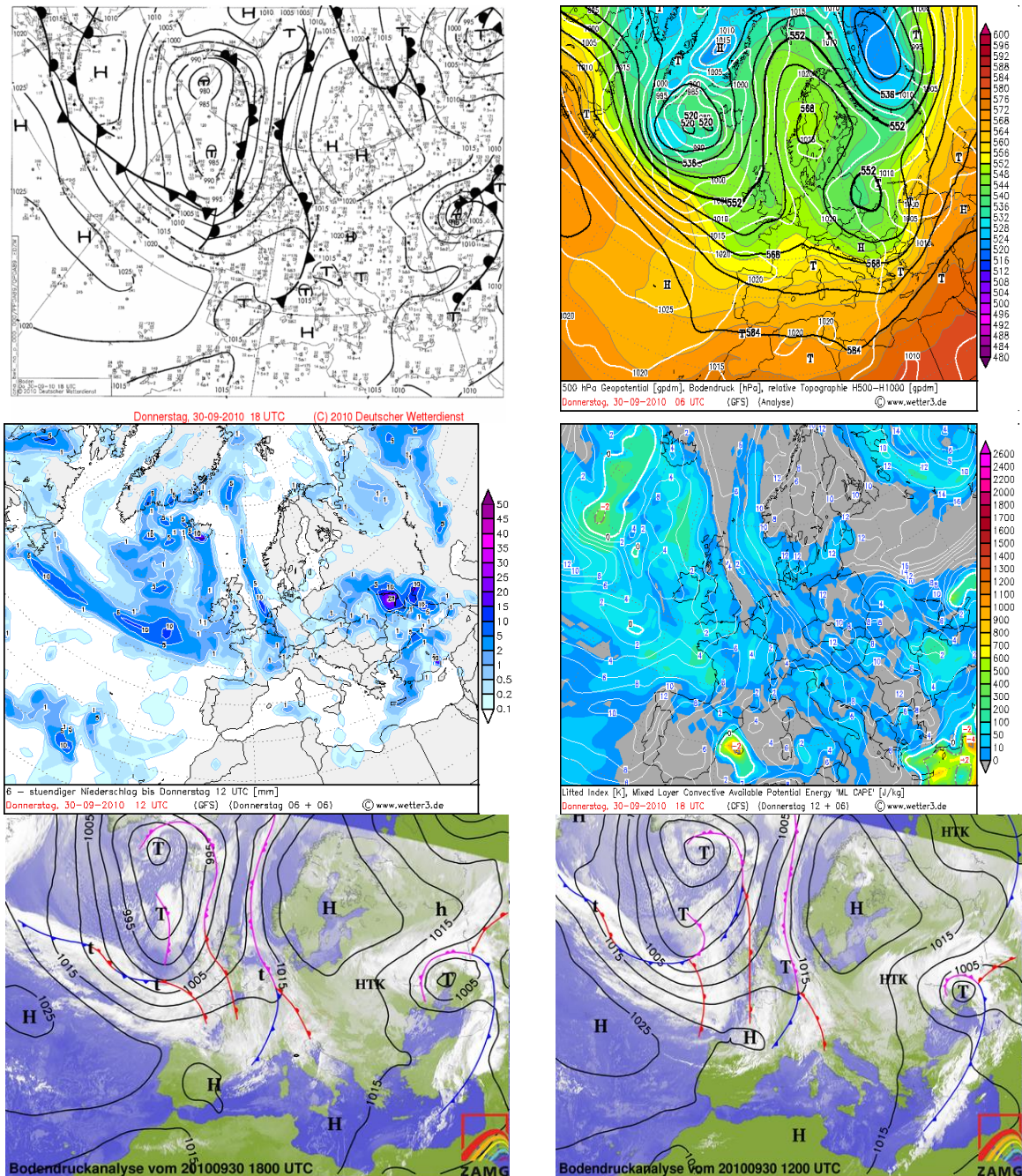


Рис. 6. Приземний аналіз, AT-500, BT-500/1000, карта опадів і індексів конвекції CAPE та Li, супутникові знімки за 9.10.2010 р.

Загальний запас енергії нестійкості в атмосфері CAPE знаходиться як алгебраїчна сума енергій нестійкості окремих шарів від рівня конденсації до рівня конвекції. Більш високі значення енергії нестійкості вказують на більш інтенсивну конвекцію в хмарі, тобто на більш

небезпечні явища погоди. Енергія нестійкості або індекс CAPE є незмінним предиктором в прогнозі небезпечних явищ, пов'язаних з конвекцією. Високий рівень потенційної енергії атмосфери є неодмінною умовою того, що частка, яка піднімається досягне значно більших висот, ніж рівень вільної конвекції, а отже, збільшується небезпека розвитку таких явищ погоди як гроза і град. Аналіз значень цього індексу в конвективній атмосфері дозволить кількісно оцінити ступінь розвитку конвекції і ймовірність утворення сильної зливи, грози або граду.

Індекс плавучості або підйому Li (Lifted index) є одним з основних критеріїв статичної стійкості атмосфери і визначається як різниця температур навколишнього повітря і деякого одиничного обсягу, який піднявся адиабатично від поверхні землі (або з заданого рівня) до рівня 500 гПа. Li розраховується з урахуванням залучення навколишнього повітря. Індекс Li характеризує термічну стратифікацію атмосфери по відношенню до вертикальних переміщень повітря. Якщо $Li > 0$, то атмосфера (у відповідному шарі) стійка. Якщо значення $Li < 0$, то атмосфера нестійка.

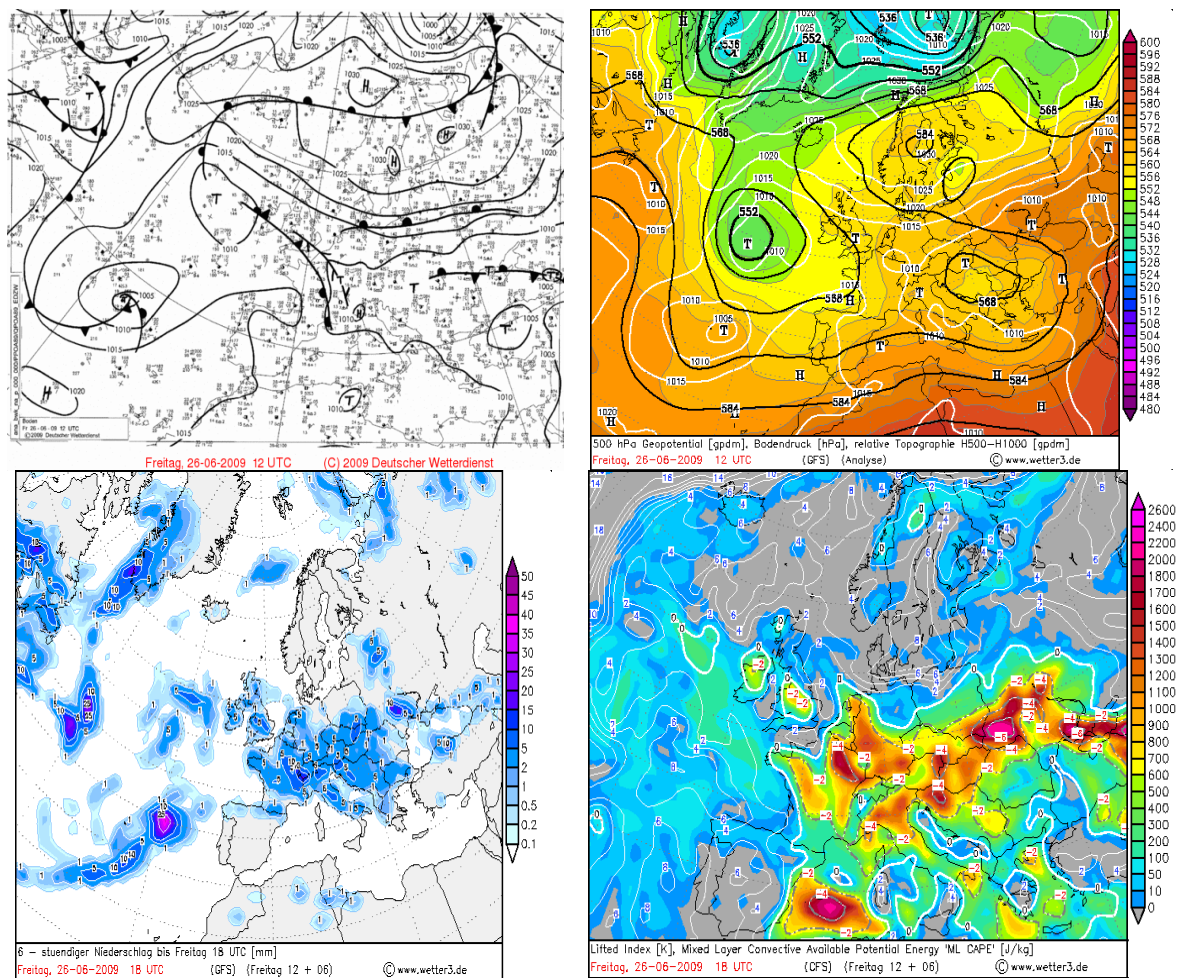


Рис. 7. Приземний аналіз, AT-500, BT-500/1000, карта опадів і індексів конвекції CAPE та Li за 26.06.2009 р.

Виявилось, що енергія нестійкості (ML CAPE) при посиленні опадів над станцією Херсон з 2005 по 2021 рр. становила у середньому 790 Дж/кг, що вказувало на помірну нестійкість та можливість розвитку купчасто-дощової хмарності зі зливами та грозами. Одного разу цей індекс досягав 1800 Дж/кг, коли випало 62 мм/12 год., але двічі ML CAPE приймав значення від 50-100 Дж/кг за наявності опадів СМЯ II.

Додатні значення індексу підйому (Lifted index), які передбачають наявність інверсії температури, коли атмосфера дуже стійка та є розвинені низхідні рухи повітря, над Херсоном виявилися лише двічі (28-29 травня 2009 р.), коли опади посилювалися при виході південного циклону. Середнє значення індексу Li було $-2,25^{\circ}\text{C}$, а найнижче (-6°C) виявилось при загостренні атмосферних фронтів на південній периферії антициклону (26 червня 2009 р.) коли випало 62 мм за 12 год.

В якості прикладу розглянемо синоптичну ситуацію, що призвела до випадіння сильних опадів над Херсоном 20 квітня 2016 р, коли за 12 год. випало 41 мм опадів у вигляді дощу. Інтенсивні опади спостерігалися зранку 20 квітня 2016 р., коли погоду міста Херсон зумовлювала улоговина хвилевого циклону. В період з 21 години 19 квітня до 6 години 20 квітня у м. Херсон випало 41 мм опадів і було досягнуто критерію НМЯ І. Спостерігались грози, погіршення видимості в дощі 2000-3000 м, посилення північно-східного вітру 10-12 м/с. Температура вночі та вдень становила 9-12 °С.

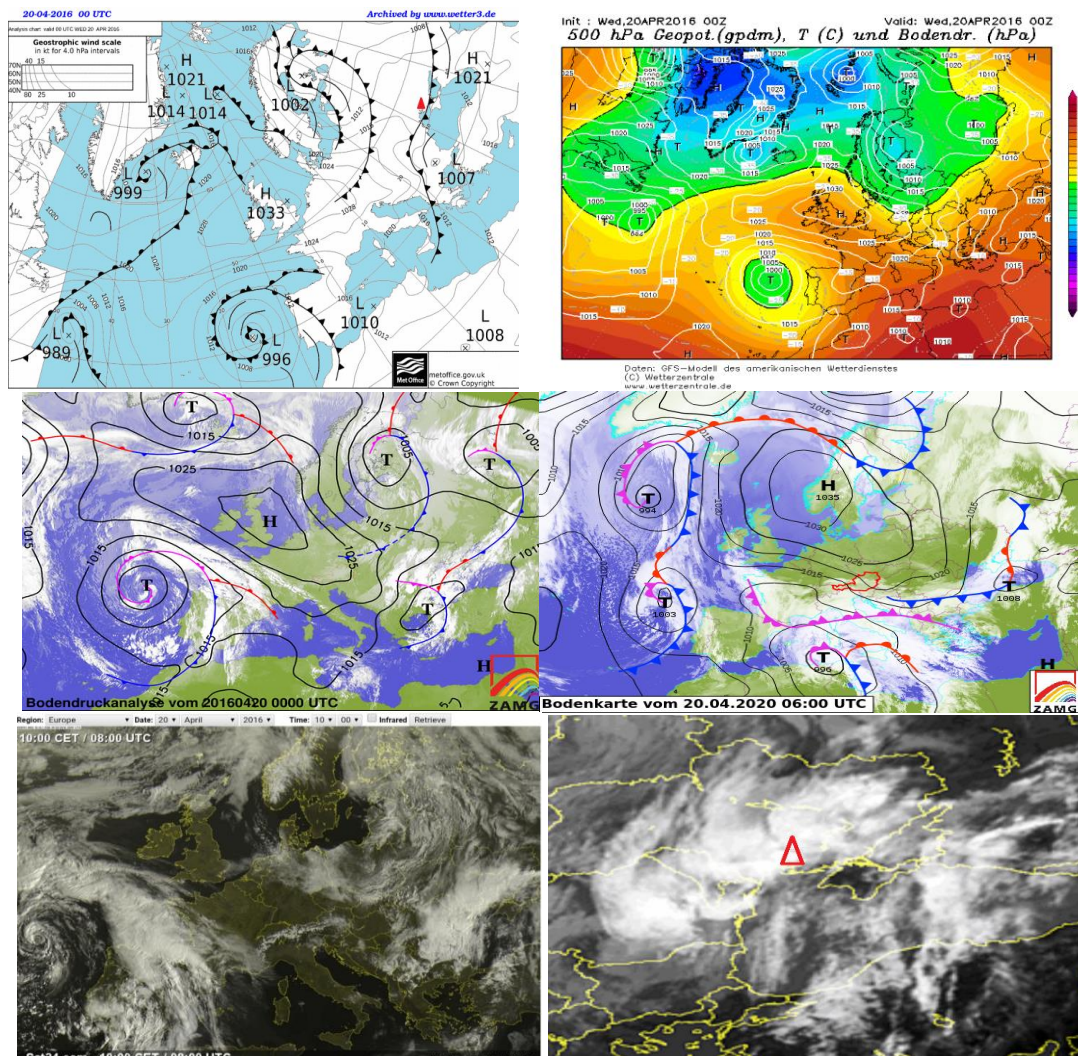


Рис. 8. Приземний аналіз та АТ-500 за 00 UTC, супутникові знімки за 00, 06 та 10 UTC за 20 квітня 2016 р., 00 UTC

20 квітня 2016 р. над ЄТР розташовувалася висотна улоговина, яка повністю охопила всю територію України, що сприяло випадінню сильних опадів (рис. 8). Структура приземного поля атмосферного тиску являла собою приклад баричної сідловини, де області зниженого тиску, які були обмежені ізобарою 1010 гПа, знаходилися над південним заходом Чорного моря та регіоном Середньої Волги. Друга барична пара – гребені високого тиску (від 1010 гПа) розташовувалися над Карпатським регіоном та Молдовою на заході і Краснодарським Краєм та Туреччиною на південному сході. Над півднем України проходив полярний фронт, який мав ділянки оклюзії в обох циклонах.

Над Херсонщиною проходила холодна ділянка полярного фронту. Впродовж наступних 6 годин відбулася перебудова баричного рельєфу – циклон над заходом Чорного моря заглибився (-2 гПа), зменшився за площею та пересунувся на 700 км на схід через посилення гребеню над заходом України (+5 гПа). За вказаний проміжок часу над областю пройшов холодний фронт, за яким продовжився розвиток купчасто-дощових хмар, що призвело до значних зливових опадів, коли за 12 годин випало 41 мм опадів.

Висновки.

1. Виявлено, що у 2005-2021 рр. на метеорологічній станції Херсон спостерігалось лише 19 випадків з інтенсивністю опадів $> 30\text{мм}/12\text{ год.}$, серед яких тричі опади посилювалися до критерію СМЯ II ($> 50\text{мм}/12\text{ год.}$). Сильні опади виникали виключно у тепле півріччя з максимумом повторюваності у липні. У порівнянні з 1961-1990 рр. кількість сильних дощів 2005-2021 рр. зросла у липні та червні, а зменшилася у серпні.

2. Визначено, що більша частина реальних випадків посилення опадів у Херсоні вдало узгоджується з результатами реаналізу ERA5, але у майже третині епізодів моделювання не виявило утворення сильних опадів у точці з координатами м. Херсон або їх осередок був зміщений.

4. Аналіз метеорологічних умов напередодні та під час посилення опадів у Херсоні показав, що сильні дощі утворювалися при зниженому атмосферному тиску (не вище 1010 гПа), при слабкому північно-західному вітрі та у супроводі гроз. Енергія нестійкості при посиленні опадів становила у середньому 790 Дж/кг , а середнє значення індексу Li було $-2,25^\circ\text{C}$.

5. З'ясовано, що більшість (55%) епізодів сильних опадів у Херсоні в 2005-2021 рр. пов'язана з проходженням південних циклонів, решті утворювалися на південній периферії антициклону при південно-західному напрямку струминної течії у 78 %.

REFERENCES

1. State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts (2021). *Press Release Number: 31102021*. Retrieved from <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2021-extreme-events-and-major-impacts>
2. Balabukh, V., Lavrynenko, O., Bilaniuk, V., Mykhnovych, A., Pylypovych, O. (2018) "Extreme Weather Events in Ukraine: Occurrence and Changes". *Open access peer-reviewed chapter*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/chapters/61828/> <https://doi.org/10.5772/intechopen.77306>
3. Semerhei-Chumachenko, A.B., Ozymko, R.R. (2019) "Syl'ni doshchi ta zlyvy u Zakarpat's'kiy oblasti yak stykhiyni meteorolohichni yavyscha (1999-2018 rr.)" ("Heavy rains and showers in the Transcarpathian region as natural meteorological phenomena (1999-2018)") *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal (Ukrainian Geographical Journal)*, 4 (108), 11-17. (in Ukrainian)
4. Semerhei-Chumachenko, A.B., Ozymko, R.R. (2020) "Dynamika vynyknennya stykhiynykh opadiv na terytoriyi Zakarpat's'koyi oblasti z 1990 po 2019 rr." ("Dynamics of natural precipitation in the Transcarpathian region from 1990 to 2019") *International Academy Journal «Web of Scholar»* 5(47), 23-26. (in Ukrainian) https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/31052020/7090.
5. Pogoda v Kherson: meteostantsiya (Weather in Kherson: (weather station) (2021). Retrieved from: www.rp5.ua
6. *Copernicus Climate Data Store. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. (2021)* Retrieved from: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>.
7. Semerhei-Chumachenko, A.B., Slobodanyk, K.L. (2020) "Prostorovo-chasovyy rozpodil syl'nykh opadiv nad Ukrayinoyu protyahom 1979-2019 rr. za danymy reanalizu ERA5" ("Spatio-temporal distribution of heavy precipitation over Ukraine during 1979-2019 according to the ERA5 reanalysis") *Ukrayins'kyi hidrometeorolohichnyy zhurnal (Ukrainian Hydrometeorological Journal)*, 26, 50-59. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020> (in Ukrainian)
8. Humonenko, LV, Zhuk, NH, Savchenko, LI, Tkach, VO (2019) *Nastanova z meteorolohichnoho prohnozuvannya (Guidelines for meteorological forecasting)*. Kyiv: UkrHMTS https://meteo.gov.ua/files/content/docs/meteo_kerdos/nastanova%20z%20meteorolohichnoho%20prohnozuvannya.pdf (in Ukrainian)
9. Lipins'kyu, VM, Osadchyy, VI, Babichenko, VM (Ed.). (2006). *Stykhiyni meteorolohichni yavyscha na terytoriyi Ukrayiny za ostannye dvadtsyatyrichchya (1986-2005 rr.)* (Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine for the last twenty years (1986-2005)). Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukrainian)
10. Lipinsky, VM, Dyachuk, VA, Babichenko, VM (Ed.). (2003). *Klimat Ukrayiny (Climate of Ukraine)*. Kyiv: Vydavnytstvo Rayevs'koho. (in Ukrainian)
11. Veretnova, V.O., Semerhei-Chumachenko, A.B. (2021) "Suchasnyy rezhym opadoutvorennya na st. A Kherson" ("Modern precipitation regime at A Kherson station") *Materialy Student's'koyi naukovoyi konferentsiyi Odes'koho derzhavnoho ekolohichnoho universytetu (Proceedings of the Student Scientific Conference of Odessa State Environmental University)*, Odessa: ODEKU (OSEN), 394-398.
12. Semerhei-Chumachenko, A.B., Slobodanyk, K.L. (2021) "Pryklad vyyavleniya nadzvychaynykh opadiv v Ukrayini za danymy reanalizu ERA5 ta meteorolohichnykh sposterezhen" ("Example of detection of extreme precipitation in Ukraine according to ERA5 reanalysis and meteorological observations") *Materialy V Vseukrayins'koho plenera z pytan' pryrodnych nauk (Proceedings of the V All-Ukrainian Plain Air on Natural Sciences)*. Odessa: ODEKU (OSEN), 73-75.
13. The World in Weather Charts (2021). Retrieved from: Archive UKMET analysis charts. http://www1.wetter3.de/archiv_ukmet_dt.html.
14. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2021). Retrieved from: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/wetter/wetterkarte>