

Міністерство освіти і науки України  
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**

Ministry of Education and Science of Ukraine  
**Taras Shevchenko National University of Kyiv**

**Фізична географія  
та геоморфологія** | **Physical Geography  
and Geomorphology**

Науковий журнал  
Scientific Journal

**Том 47**  
**Випуск 1-2 (123-124)**  
**Volume 47**  
**Issue 1-2 (123-124)**

**Київ**  
**2024**

## ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ ТА ГЕОМОРФОЛОГІЯ

Науковий журнал “Фізична географія та геоморфологія” публікує оригінальні статті з усіх напрямів фізичної географії та геоморфології, зокрема: теоретичних та методологічних проблем географії, ландшафтознавства, геоекології, палеоекології, палеогеографії четвертинного періоду, ґрунтознавства, метеорології, кліматології, гідрології, структурної, динамічної, екологічної та палеогеоморфології. Окремі рубрики журналу присвячені використанню ГІС у природничо-географічних дослідженнях, організації природничого туризму, геоплануванню, природоохоронній діяльності, управлінню екологічними проектами та географічній освіті.

Заснований у 1970 р.

Виходить шість разів на рік.

Публікації приймаються українською та англійською мовою.

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Наталія П. Герасименко (**головний редактор**), *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*,  
natalia.gerasimenko@knu.ua

Сергій Ю. Бортник (**заступник головного редактора**),  
*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Петро Г. Шищенко (**заступник головного редактора**),  
*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Яцек Шманьда (**заступник головного редактора**),  
*Краківський педагогічний університет*

Даніель Верес, *Клузький університет імені Бабеша-Бойяї*

Григорій І. Денисюк, *Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського*

Лідія Ф. Дубіс, *Львівський національний університет імені Івана Франка*

Т. Каліцкі, *Університет імені Яна Кохановського*

Іван П. Ковальчук, *Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Олександр О. Комлев, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Карлос Кордова, *Університет штату Оклахома*  
Марчел Міндреску, *Сучавський університет імені Штефана Великого*

Олександр Г. Ободовський, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Володимир М. Пашенко, *Українське географічне товариство*  
Богдан Т. Рідуш, *Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича*

Віктор М. Самойленко, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Єва Смольська, *Варшавський університет*

Сергій І. Сніжко, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Володимир В. Стецюк, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Юрій Д. Шуйський, *Одеський національний університет імені І. І. Мечникова*

### ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР

Тетяна М. Лаврук  
tetiana.lavruk@knu.ua

### ТЕХНІЧНИЙ РЕДАКТОР

Ілля В. Кравчук  
elijah.kravchuk@gmail.com

Редакція “Фізична географія та геоморфологія”  
Географічний факультет  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
просп. Глушкова, 2А, Київ, МСП–680, Україна

(044) 521 32 28  
Web: <https://phgg.knu.ua>

*Рекомендований до друку  
Вченою радою географічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка*

© Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2024

## PHYSICAL GEOGRAPHY AND GEOMORPHOLOGY

Physical Geography and Geomorphology publishes original research papers, review articles and short contributions in all areas of physical geography and geomorphology, namely: theoretical and methodological research in physical geography and geomorphology, landscape studies, geoecology, palaeoecology, Quaternary palaeogeography, soil science, meteorology, climatology, hydrology, structural, dynamic, ecological and palaeogeomorphology, application of GIS in natural geographic research, and geographical education.

The journal is published since 1970.

Published bi-monthly.

Publications are accepted in Ukrainian and English.

### EDITORIAL BOARD

Natalia P. Gerasimenko (**editor-in-chief**), *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

natalia.gerasimenko@knu.ua

Sergii Yu. Bortnyk (**associate editor**), *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Petro H. Shyschenko (**associate editor**), *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Jacek Szymańda (**associate editor**), *Pedagogical University of Krakow*

Daniel Veres, *Babeş-Bolyai University*

Hryhorii I. Denysyk, *Vinnitsia State Pedagogical University*

Lidia F. Dubis, *University of Lviv*

Tomasz Kalicki, *Uniwersytet Jana Kochanowskiego in Kielcach*

Ivan P. Kovalchuk, *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Oleksandr O. Komliev, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Kyiv

Carlos Cordova, *Oklahoma State University*

Marcel Mindrescu, *Ştefan cel Mare University of Suceava*

Oleksandr H. Obodovskyi, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Volodymyr M. Pashchenko, *Ukrainian Geographical Society*

Bohdan T. Ridush, *Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University*

Viktor M. Samoilenko, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Ewa Smolska, *University of Warsaw*

Serhii I. Snizhko, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Volodymyr V. Stetsiuk, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

Kyiv

Yurii D. Shuiskyi, *Odesa I. I. Mechnykov National University*

Kyiv

### EDITORIAL ASSISTANT

Tetiana M. Lavruk

tetiana.lavruk@knu.ua

### COPY EDITOR

Elijah V. Kravchuk

elijah.kravchuk@gmail.com

### Physical Geography and Geomorphology

Faculty of Geography

Taras Shevchenko National University of Kyiv

2A, Hlushkova prosp., Kyiv, Ukraine

+38 (044) 521 32 28

Web: <https://phgg.knu.ua>

*Recommended for print by  
the Scientific Board of Faculty of Geography, Taras Shevchenko National University of Kyiv*

© Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2024

## ЗМІСТ

Температурні аномалії жовтня 2023 р. в Україні <b>Олена М. Нажмудінова</b>	7
Режимні характеристики туманів і суцільної низької хмарності в аеропорту «Львів» за даними наземних спостережень <b>Олексій С. Густенко, Інна А. Хоменко</b>	14
Метеорологічні умови утворення туманів на півдні України <b>Лариса В. Недострелова</b>	23
Характеристика та просторовий розподіл атмосферних опадів у літній сезон на території України та можливості їх довгострокового прогнозу <b>Владислав Є. Тимофєєв, Ольга Г. Татарчук, Оксана В. Мазєпа</b>	32
Історичні ландшафти української уранової промисловості <b>Юліан Тютюнник, Наталія Писарєвська, Сергій Ярков</b>	40
Диференційна характеристика сучасних антропогенних ландшафтів північного схилу Великого Кавказу <b>Садуллаєв Рашад Рахіб</b>	53

## CONTENTS

Temperature anomalies in October 2023 in Ukraine <b>Helena N. Nazhmudinova</b>	7
Fog and overcast low-level stratiform cloud characteristics at the airport of Lviv from surface observations <b>Oleksii S. Hustenko, Inna A. Khomenko</b>	14
Meteorological conditions for the formation of fog in the South part of Ukraine <b>Larysa V. Nedostrelova</b>	23
Characteristics and spatial distribution of the atmospheric precipitation in the summer season on the territory of Ukraine and the possibilities of their long-term forecast <b>Vladyslav Ye. Tymofeiev, Olha G. Tatarchuk, Oksana V. Mazepa</b>	32
Historical landscapes of the Ukrainian uranium industry <b>Yulian Tyutyunyk, Natalia Pisarevska, Serhiy Yarkov</b>	40
Differentiation characteristics of the modern anthropogenic landscapes of the North-East slope of the Great Caucasus <b>Sadullayev Rashad Rahib</b>	53



# Температурні аномалії жовтня 2023 р. в Україні

Олена М. Нажмудінова 

Одеський державний екологічний університет вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

## Реферат

Тривалість літа в Україні може збільшитися внаслідок кліматичних змін, що зумовлюють аномальні режими циркуляції атмосфери. В останні десятиріччя в Україні почастилися хвилі тепла не тільки на початку осені, але й в середині сезону. У дослідженні розглянуто екстремальний температурний режим жовтня 2023 р. в Україні. Середня місячна температура повітря по всій країні виявилася вищою кліматологічної норми. Аномалії коливалися від максимуму 3,4...4,9 °C на Одещині до мінімальних відхилень на Сумщині 0,9...2,0 °C. Хід температури впродовж місяця був неоднорідним, спостерігалися короткі періоди із заморозками, добова амплітуда температури на ряді метеостанцій нерідко перевищувала 15...20 °C. Екстремальні умови склалися у третій декаді при поширенні хвилі тепла у системі потужного субтропічного гребеня з Малоазійського регіону. Найбільше відхилення середньої добової температури зафіксовано 21-22 жовтня – до 10...12 °C в Одеській, Миколаївській та Чернівецькій областях. Найвища аномалія зареєстрована на Одещині – встановлено новий абсолютний максимум на восьми метеостанціях, екстремум максимальної температури 21 числа становив 34,0 °C на МС Сарата. Додатні аномалії температури відмічалися у всій товщі тропосфери, на рівні 925 гПа – до 8 °C, на 850 гПа – до 12...14 °C. За цей період спостерігався надзвичайно високий горизонтальний термічний градієнт між північними і південними областями (до 25 °C), які перебували під впливом баричних систем різного знаку. Висотне термобаричне баричне поле над Східною і Центральною Європою характеризувалося формою блокуючого процесу «омегаподібний гребінь», а на місці Ісландського мінімуму встановився потужний антициклон з додатною аномалією геопотенціалу  $H_{500}$  до 20 дам. Об'єктивні ознаки блокування за індексом Лейенаса і Оклада  $I(\lambda)$ , визначили значущі відмітки над Європою. Акумуляції основного потоку тепла сприяли кілька коротких хвиль тепла впродовж місяця (тривалістю до 3 днів), а також хвиля морської спеки у західній частині Середземномор'я з аномаліями температури поверхні моря до 3 °C.

## Ключові слова

Аномалія температури, кліматологічна норма, максимальна температура повітря, хвиля тепла, блокуючий процес

Надійшла до редакції: 25 грудня 2023 / Прийнята: 28 січня 2024 / Опублікована онлайн: 31 січня 2024

## Temperature anomalies in October 2023 in Ukraine

Helena N. Nazhmudinova

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine

## Abstract

The duration of summer in Ukraine may increase because of climate change, which causes abnormal modes of atmospheric circulation. In recent decades, heat waves have become more frequent in Ukraine not only at the beginning of autumn but also in the middle of the season. The study examines the extreme temperature regime of October 2023 in Ukraine. The objective of the study is to establish the causes and conditions for the formation of high positive air temperature anomalies. The average monthly air temperature across the country turned out to be higher than the climatological normal. The anomalies ranged from a high of 3.4...4.9 °C in the Odesa region to minimum deviations in the Sumy region: 0.9...2.0 °C. The course of temperature during the month was heterogeneous, short periods of frost were observed, and the daily amplitude at a number of weather stations often exceeded 15...20 °C. Extreme conditions developed in the third decade with the propagation of a heat wave in the system of a powerful subtropical crest from the region of Asia Minor. The largest deviation in the average daily temperature was recorded on October 21-22 – up to 10...12 °C in Odesa, Mykolaiv, and Chernivtsi regions. The highest anomaly was registered in the Odesa region – a new absolute maximum was set at 8 weather stations, and the maximum temperature extremum on the 21st was 34.0 °C at the Sarata weather station. Positive temperature anomalies were observed in the entire troposphere, at the level of 925 hPa – up to 8 °C, at 850 hPa – up to 12...14 °C. During this period, there was an extremely high thermal gradient between the northern and southern regions (up to 25 °C), which were under the influence of baric systems of different signs. The form of the blocking process "omega-shaped crest" characterized the high-altitude thermobaric baric field over Eastern and Central Europe, a powerful anticyclone was established in place of the Icelandic minimum with a positive  $H_{500}$  geopotential anomaly of up to 20 dams. Objective signs of blocking on the Lejenas index and Okland  $I(\lambda)$  determined critical levels over Europe. The accumulation of the main heat flow was facilitated by several short heatwaves during the month (lasting up to 3 days), as well as the formation of a marine heat wave in the western Mediterranean with sea surface temperature anomalies of up to 3 °C.

## Keywords

Temperature anomalies, climatological normal, maximum air temperature, heat wave, blocking process

Received: 25 December 2023 / Accepted: 28 January 2024 / Published online: 31 January 2024

## Corresponding author:

Helena N. Nazhmudinova, Odessa State Environmental University,  
15 Lvivska str., Odessa, 65016, Ukraine  
Email: meteo@odeku.edu.ua

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. Вступ

На території України зростає повторюваність аномального розподілу температури у всі сезони, в останні роки це, здебільшого, значні додатні аномалії. До природних змін клімату додається безліч факторів, що зумовлюють зміни циркуляції атмосфери і, як наслідок, аномалії метеорологічних полів. Більшість вчених схиляється до основного антропогенного чинника глобального потепління. За висновками Басок Б. І. (Basok et al., 2020), основна причина глобального потепління – монотонне зростання концентрації парникових газів. Прихильники природної концепції потепління розглядають фактори, пов'язані з космогенними циклічними процесами, сонячно-земною взаємодією, впливом Світового океану на зміни клімату.

В теперішній час додається важлива ланка до поточних і майбутніх змін регіонального клімату – за даними (Ministerstvo zakhystu...) ведення бойових дій поглиблює кліматичну кризу, спричиняючи значні викиди вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу.

У звіті Wilson et al. (2021) наголошується, що за останнє двадцятиріччя кожен рік в Україні був теплішим, ніж середні статистичні показники за довготривалий період. За умови зростання середніх річних температур збільшується частота екстремально високих температур на сході Центральної Європи, включаючи Україну, а частота екстремальних холодів зменшується. Це призводить до збільшення тривалості періодів спеки й подовження літнього періоду. В роботі Балабух В. О. (Balabukh et al., 2017) підкреслюється зміна не лише середньої, а й максимальної та мінімальної середньої багаторічної за сезон та рік температури повітря впродовж останніх десятиріч. Кількість днів з високою температурою зростає з півночі, північного заходу на південь, південний схід. Проте темпи зміни температури на території країни неоднакові.

Дослідження хвиль тепла (ХТ) у роботах Шевченко О. та ін. (Shevchenko et al., 2012, 2018) конкретизує підходи до вивчення спекотної погоди. Вказується, що для України найзручнішим для дослідження хвиль тепла є визначення, запропоноване ВМО: хвиля тепла – це період, коли максимальна добова температура повітря 5 або більше послідовних днів перевищує середню максимальну температуру для даного дня за нормальний період більш ніж на 5 °С або на 9 °F.

Будь-які тривалі аномалії погоди є наслідком виникнення аномальних режимів загальної циркуляції атмосфери. У роботі Осадчого В. І. та ін. (Osadchyi et al., 2013) вказано, що абсолютний максимум температури повітря формується внаслідок аномального розвитку циркуляційних процесів в атмосфері, як у теплий, так і в холодний періоди року, які посилюються місцевими умовами. Восени спостерігаються періоди повернення тепла, коли максимальна температура повітря у жовтні може сягати у північно-східних районах 26–28 °С, а в південно-західних – 30–34 °С. Рекордні абсолютні максимуми встановлюються за умов малорухомих термічних депресій, що формуються внаслідок

тривалого інтенсивного прогрівання повітря. В публікаціях Базалєєвої Ю. О. (Bazaleieva et al., 2016) та Балабух В. О. (Balabukh et al., 2016) зазначається збільшення блокувальних процесів на території першого природно-синоптичного району за переваги атлантичних блоків узимку та восени. Зростання меридіональної складової циркуляції зумовлює збільшення кількості та інтенсивності екстремальних явищ погоди. Встановлено, що блокувальні процеси впливають на величину аномалії максимальної та мінімальної приземної температури, кількість днів та максимальну тривалість періоду зі спекою, сильним морозом, атмосферою посухою в Україні. Дослідження блоків Самчуком Є. В. (Samchuk, 2017) за 40-річний період формулює висновки загального зменшення тривалості блокуючого антициклогенезу на 1–3 доби.

## 2. Матеріали і методи

Вихідні дані: синоптична та метеорологічна інформація; бюлетені погоди; кліматичний кадастр України 1991–2020 рр. (відсутні поточні дані по Луганській, Донецькій, Херсонській, Запорізькій областях та АР Крим). Об'єкт дослідження – приземна температура повітря. Предмет дослідження – аномалії температури повітря. Методи дослідження: синоптико-кліматичний аналіз, просторово-часове узагальнення даних. Завдання дослідження – встановлення причин та умов формування високих додатних аномалій температури повітря.

## 3. Результати та обговорення

У жовтні 2023 р. на території України було встановлено ряд температурних рекордів, зокрема абсолютних максимумів температури повітря. Зазначимо, що за даними (Copernicus. Surface air...) жовтень 2023 р. виявився найтеплішим за всю історію спостережень: середня температура повітря склала 15,30 °С, що на 0,85 °С вище середнього показника за період 1991–2020 рр. Для Європи жовтень 2023 р. став четвертим найтеплішим жовтнем за всю історію спостережень – на 1,30 °С вище норми. Таким чином, аномальний розподіл температури в Україні не був локальним проявом регіональних змін клімату.

Хоча температурний режим для України виявився вкрай неоднорідним впродовж місяця, середні місячні показники по всій країні показали додатні аномалії. Проаналізовано осереднені по областях декадні аномалії температури повітря, які показали підвищення температури до кінця місяця з екстремальними відмітками у третій декаді (табл. 1).

Осереднення за областями задовільно відображає загальний хід зміни температури, оскільки розбіжність декадних аномалій за метеостанціями більшості областей, в середньому, не перевищувала 2 °С і мала однаковий знак.

На початку місяця максимуми температури повітря сягали 27–28 °С на півдні, сході та у центрі країни, на 07 жовтня збереглися показники до 18...24 °С



**Таблиця 1.** Середня по області декадна температура повітря жовтня 2023 р. та кліматологічна норма 1991-2020 рр.  
**Table 1.** The average ten-day air temperature in the regions of Ukraine in October 2023 and the climatological normal for 1991-2020.

Область	Середня декадна температура повітря жовтня, °С					
	I декада		II декада		III декада	
	1991-2020 рр.	2023 р.	1991-2020 рр.	2023 р.	1991-2020 рр.	2023 р.
Чернігівська	9,8	10,2	7,6	8,9	5,1	9,2
Сумська	9,8	9,7	7,5	8,2	4,8	8,6
Волинська	10,3	11,2	8,2	9,8	6,4	11,7
Рівненська	10,3	11,1	8,2	9,9	6,3	12,3
Житомирська	10,0	10,8	7,9	9,8	5,8	11,3
Київська	10,6	11,1	8,4	9,9	6,0	11,7
Львівська	10,7	11,2	8,7	10,7	7,0	13,6
Хмельницька	10,5	11,0	8,4	9,9	6,2	13,5
Полтавська	11,0	11,2	8,6	9,6	5,8	11,6
Харківська	10,8	10,7	8,5	8,7	5,5	10,6
Тернопільська	10,5	11,3	8,5	10,3	6,5	13,5
Черкаська	10,9	11,5	8,7	10,3	6,2	13,4
Вінницька	10,8	11,1	8,6	10,1	6,4	13,9
Івано-Франківська	10,5	11,2	8,4	10,4	6,6	13,8
Кіровоградська	11,5	12,2	9,1	10,6	6,6	14,2
Дніпропетровська	11,9	12,1	9,5	9,5	6,7	13,5
Закарпатська	12,3	12,0	10,0	10,8	8,1	14,4
Чернівецька	11,4	12,4	9,3	10,7	7,0	15,0
Одеська	13,3	14,5	11,0	12,7	8,6	17,5
Миколаївська	13,2	14,4	10,8	12,4	8,2	16,6

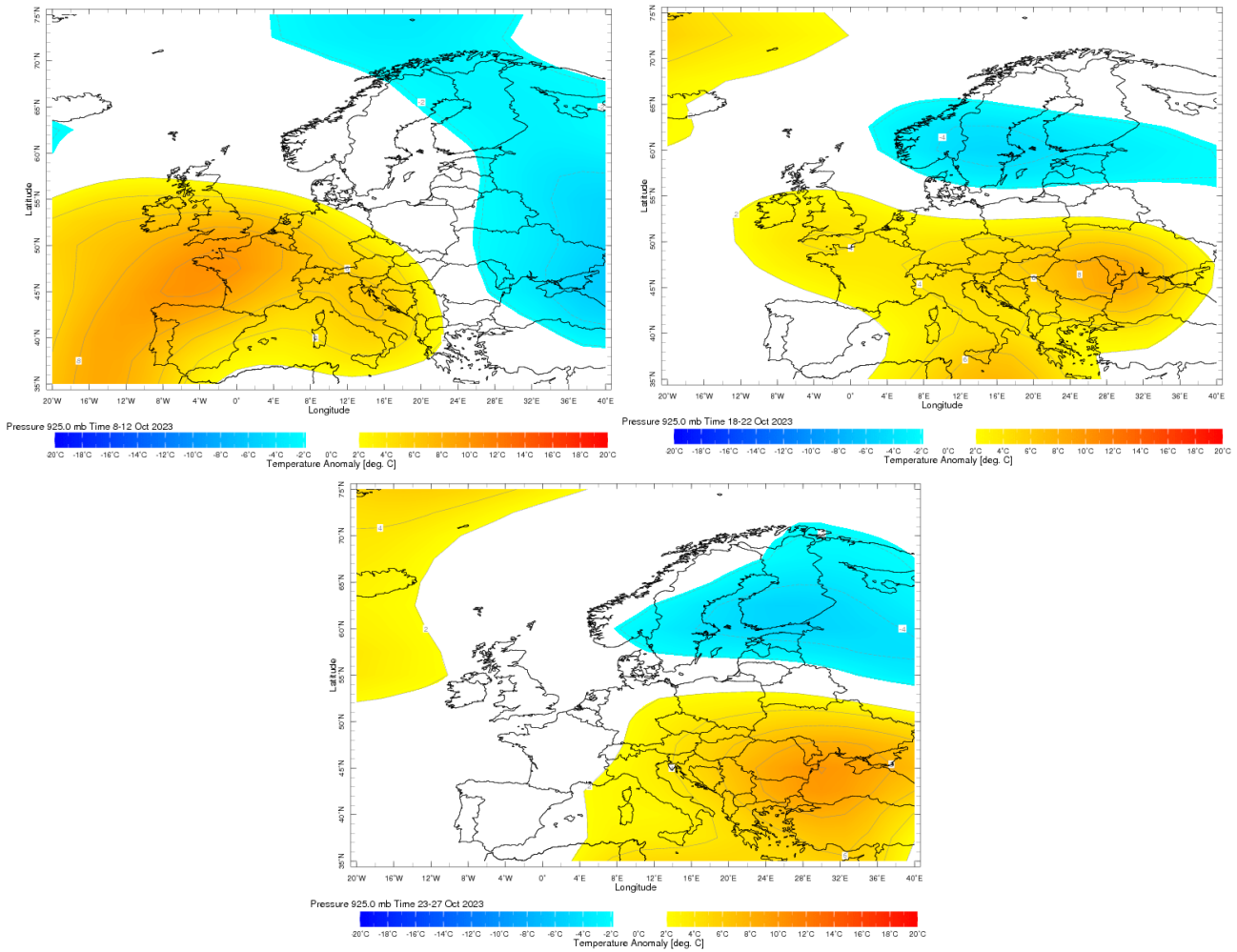
зі значним добовим ходом (місцями 15...20 °С). Хвиля тепла була нетривалою, на переважній території до 4-5 днів. В результаті, середня температура I декади в Україні виявилася вище за норму, незважаючи на низькі мінімуми за рахунок радіаційного вихолодження у полі підвищеного тиску. У період 7-12 жовтня спостерігалися заморозки (найсильніші 11 числа), що охоплювали весь простір країни. Мінімальна температура знизилася до -6...-4 °С на півночі, у центрі та на сході країни. Проте, вже з 12 жовтня температура стрімко зросла і максимумами перевищували 20 °С у більшості областей. Надалі падіння температури відмічалася з 16 до 19 числа зі слабкими заморозками уночі, а у третій декаді повсюдно температура повітря підвищилася і мінімуми не опускалися нижче 0 °С до кінця місяця. Таким чином, найхолоднішою виявилася перша декада місяця з незначними відхиленнями середньої декадної температури повітря від норми. На Закарпатті, Сумщині та Харківщині відмічалися температури дещо нижче норми ( $\Delta t \leq 0,3$  °С). В решті областей температура перевищувала норму з максимальним відхиленням 1,4 °С на Миколаївщині. Друга декада відмітилася значним ростом відхилень температури повітря у бік перевищення за всіма метеостанціями, окрім Дніпропетровщини, де середні декадні показники відповідали кліматологічній нормі. Найвищі аномалії декадної температури реєструвалися на півдні та заході, за винятком Закарпаття. Найбільше перевищення норми спостерігалася на Львівщині та Івано-Франківщині –

до 2 °С (максимум на МС Долина в 3 °С). Дуже високі аномалії температури повітря спостерігалися у третій декаді місяця, просторовий розподіл відхилень температури вказує на поширення хвилі тепла з півдня на захід та північний захід.

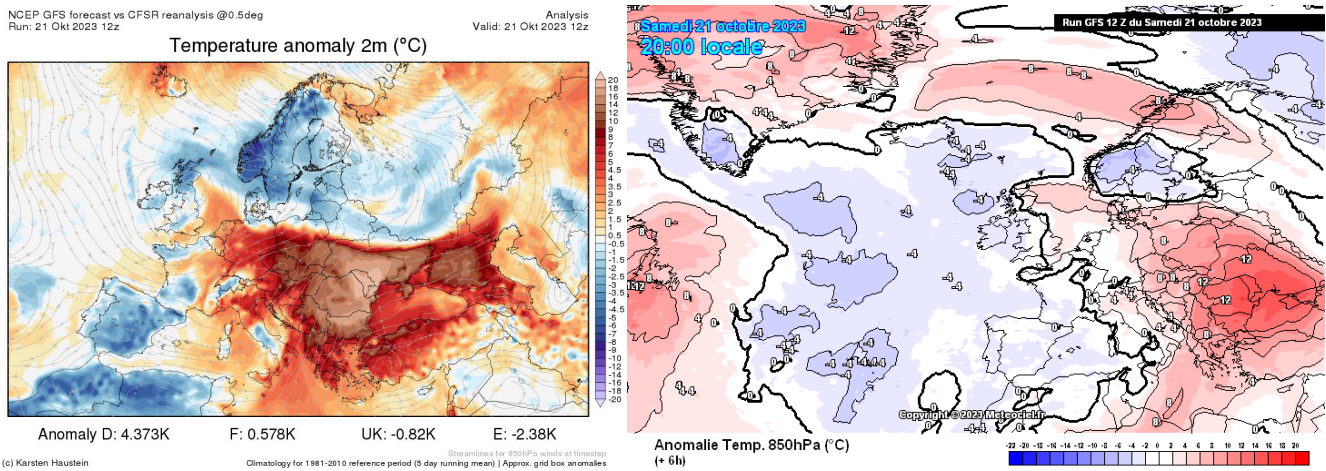
Найменша додатна аномалія температури повітря за III декаду відмічалася на Сумщині (3,8 °С), а у більшості областей перевищення норми становило 6-8 °С. Найвищі аномалії фіксувалися в Одеській, Миколаївській та Чернівецькій областях. Максимальне відхилення припадає на Одещину – середня декадна температура на 8,9 °С вище норми. Зокрема, на МС Болград декадна температура перевищувала норму на 9,6 °С, МС Затишся на 9,4 °С, МС Ізмаїл на 9,3 °С, МС Роздільна на 9,1 °С. Також висока додатна аномалія спостерігалася на МС Очаків – 9,2 °С. Станом на кінець жовтня на Одещині ще тривало метеорологічне літо.

На рис. 1 проілюстровані приклади пентадних аномалій температури на рівні 925 гПа, які узгоджуються з приземними показниками. Від 18 жовтня додатна аномалія охоплювала всю територію країни, з найвищими відмітками на півдні та південному заході до 8 °С.

Екстремальний температурний режим відмічався 21-22 жовтня на заході та південному заході країни – середні добові показники перевищували норму на 10-12 °С, при цьому добовий хід температури становив 15...17 °С (рис. 2а). За рахунок сильного денного прогріву реєструвалися надзвичайно високі температури повітря



**Рис. 1.** Аномалії пентадної температури повітря на рівні 925 гПа відносно кліматологічної норми 1991-2020 рр.: а – 08-12.10.2023 р.; б – 18-22.10.2023 р.; с – 23-27.10.2023 р.  
**Fig. 1.** Anomalies of pentad air temperature at the level of 925 hPa relative to the climatological normal of 1991-2020: a – 08-12.10.2023; б – 18-22.10.2023; с – 23-27.10.2023.



**Рис. 2.** Аномалія приземної температури повітря (а) та температури на рівні 850 гПа (б) 21.10.2023 р.  
**Fig. 2.** Anomaly of surface air temperature (a) and temperature at 850 hPa (b) on 21.10.2023.

при встановленні ряду температурних рекордів на багатьох метеостанціях. Хвиля тепла поширювалася у системі потужного висотного субтропічного гребеня над Південною, Східною і частково Центральною Європою. Додатні аномалії температури повітря на рівні 850 гПа сягали 12...14 °С, тепло накачувалося з Малоазійського сектору у південно-західних потоках (рис. 2b).

Крім цього, спостерігався надзвичайно великий температурний градієнт біля поверхні землі у широтному напрямку між північними і північно-східним регіоном та рештою території країни (лінія поділу близько 50-51° пн.ш.). Наприклад, розкид максимальної температури 21 жовтня між північчю та півднем місцями сягав 25 °С. На Сумщині та Чернігівщині спостерігалася найнижча максимальна температура повітря – лише 6...12 °С, ця територія перебувала під впливом висотної улоговини.

На ряді метеостанцій було перебито абсолютні максимуми температури повітря. При цьому, максимальні температури 21 жовтня у Вінницькій, Кіровоградській, Миколаївській та Одеській областях місцями перевищували 30 °С, при збереженні цих показників і 22 числа на Одещині. Зокрема, для 31 метеостанцій Одеської області 21 жовтня встановлено новий абсолютний максимум на восьми метеостанціях. Екстремум температури за жовтень 2023 р. зафіксовано на МС Сарата в 34,0 °С, що на 2,2 °С вище попереднього

рекорду 1923 р. Мінімуми на деяких станціях області сягали 18-19 °С, не досягнувши критерію тропічної ночі. Цей день виявився для області найтеплішим днем жовтня за всю історію метеоспостережень.

Наприкінці місяця на ряді метеостанцій також встановлено нові температурні рекорди середньої добової, максимальної та мінімальної температури повітря. Так, температура повітря піднялася 30-31 жовтня до 20...24 °С на переважній території країни. Загалом по країні показники перевищували кліматологічну норму. Середня місячна температура жовтня мала найвищі відмітки до 14...16 °С на Одещині (додатна аномалія 3,4...4,9 °С) та найнижчі на Сумщині – близько 8...10 °С (додатна аномалія 0,9...2,0 °С).

Неоднорідність температурного режиму впродовж місяця узгоджується з формою циркуляції тропосфери при зміні знаку баричного поля біля поверхні землі (рис. 3). Формування заморозків 9-12 жовтня відбулося при вторгненні холоду в системі ультраполярної улоговини з віссю від Карського моря (рис. 3b). Приземне баричне поле 11 жовтня характеризувалося масштабним антициклоном, що охоплював європейський сектор за винятком північних районів (рис. 3a). Екстремальні температури на початку третьої декади виникли у розширеному теплому секторі поглибленого циклону з основним центром над Англією і Уельсом (рис. 3c). Висотне баричне поле визначалося потужним гребнем,

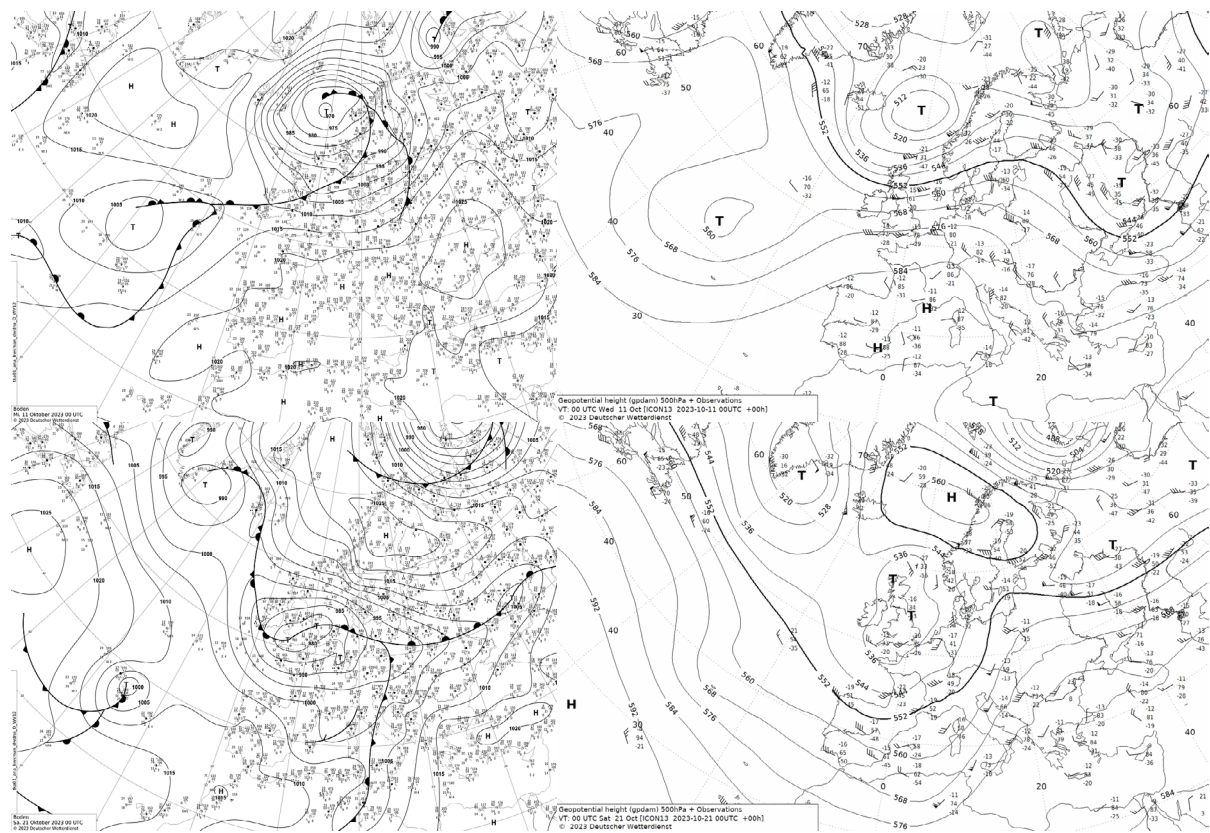


Рис. 3. Приземні карти погоди і карти 500 гПа: а, б – 11.10.2023 р.; с, д – 21.10.2023 р.  
 Fig. 3. Surface weather maps and 500 hPa maps: а, б – 11.10.2023; с, д – 21.10.2023.

який поширювався з Малої Азії через Туреччину, Східну Європу, Скандинавію до Гренландського моря (рис. 3d). Форма циркуляції (за типізацією макропроцесів Вангенгейма) трансформувалася від меридіональної *C* при розміщенні висотної улоговини над Європою до східної *E* при формуванні потужного гребеня над Європою і двох сполучених висотних улоговин – над Атлантикою і Західною Європою та Західним Сибіром.

Хвиля тепла поширилася далеко у північні широти за типу баричного поля, що відповідає формі блокуючому процесу «омегаподібний гребінь», який від 18 числа охоплював Західну Європу, зміщуючись на схід. 20-21 числа гребінь посилюється, виділяючи замкнену циркуляцію антициклону на рівні 300 гПа в арктичних широтах, на 23 жовтня висотний гребінь послаблюється, а за добу (на 24-те число) знову посилюється у високих широтах й існує до кінця місяця. В окремі дні структура висотного баричного поля мала форму блокуючого процесу «диполь» у смузі, вище 60° пн.ш., а у помірних широтах переважало зональне перенесення в основі гребеня. Встановлення гребеня над материком є типовим для літнього періоду, така форма циркуляції може зберігатися тривалий час. Для другої половини жовтня цей тип циркуляції є відхиленням від середніх баричних полів – практично на місці локалізації Ісландського мінімуму встановився потужний антициклон. Додатна аномалія  $H_{500}$  21 жовтня у смузі від Гренландії до Скандинавії перевищувала 20 дам, над Україною – до 10-12 дам, аномалія  $H_{250}$  становила до 30 дам у цьому ж районі. Значимо, що навіть на рівні 700 гПа над Україною 21-22 жовтня температура повітря була додатною (до 4...6 °C).

Таким чином, структура висотного термобаричного поля відповідала якісним критеріям блокування за тривалістю та конфігурацією. Для ідентифікації процесів блокування за об'єктивними ознаками використано індекс

блокування Лейєнаса і Оклада  $I(\lambda)$ , заснований на аналізі відхилення геопотенціалу  $H_{500}$  у вузлах координатної сітки від його середніх зональних значень. Розподіл індексу  $I(\lambda)$  21 жовтня визначає значущі відмітки над Європою в області 10° зх.д. - 20° сх.д. помірних широт та іншу область у високих широтах на півночі Східноєвропейської рівнини (рис. 4а).

Формуванню аномалії циркуляційного поля сприяли ряд додаткових факторів, зокрема, океанічні параметри. Так, впродовж жовтня 2023 р. середня температура поверхні моря у поясі 60° пд.ш. - в 60° пн.ш. складала 20,79°C, що стало найвищим показником за жовтень в історії спостережень. Спостерігалася, так звана, хвиля морської спеки MHW – вздовж узбережжя Атлантики, охоплюючи велику територію від Піренейського півострова до Ла-Маншу, а також, посилена, – у західній частині Середземномор'я. Тижневі температурні аномалії коливалися від 1,5 °C до понад 3 °C (рис. 4б).

Опосередкованим фактором до утворення високих аномалій температурно-вологісного режиму у Північній півкулі став розвиток Ель-Ніньо, яке нагріває води у південній частині Тихого океану та сприяє більш спекотній погоді за його межами. Умови Ель-Ніньо почали встановлюватися навесні 2023 р. та швидко розвивалися влітку, досягнувши рівня помірного індексу до вересня 2023 р., а вже у жовтні в центральній-східній екваторіальній частині Тихого океану досягли плато ( $NINO3,4 = 1,5$ ).

#### 4. Висновки

Впродовж жовтня 2023 р. на території України спостерігалися кілька хвиль тепла в різних регіонах, перша – на початку місяця, тривалістю до 4-5 днів, а більш потужна – у другій половині місяця, тривалістю 5-7 днів, в основному, на півдні, заході та південному заході. Також у

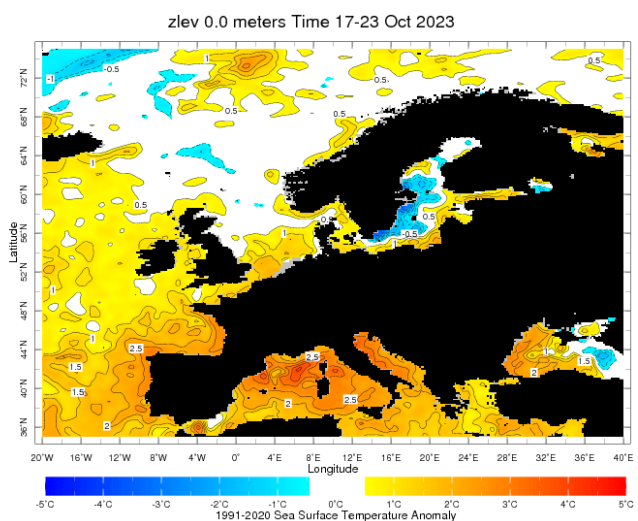
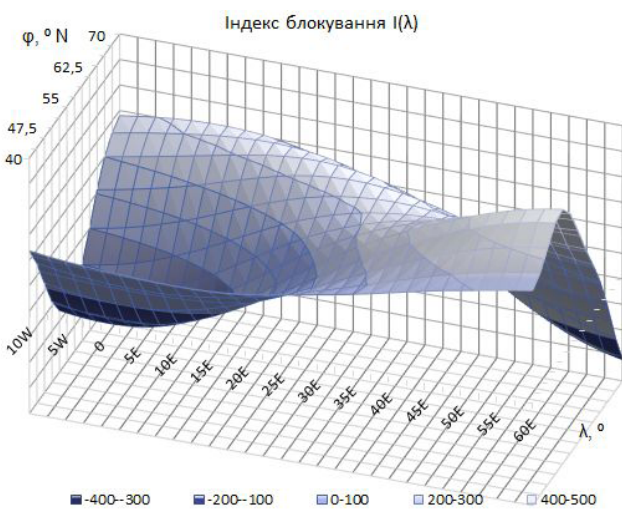


Рис. 4. Схема індексу блокування Лейєнаса і Оклада  $I(\lambda)$  21.10.2023 р. – а; тижнева аномалія температури поверхні моря 17-23.10.2023 р. – б.  
Fig. 4. Scheme of the Lejenas and Okland blocking index  $I(\lambda)$  21.10.2023 – a; weekly sea surface temperature anomaly 17-23.10.2023 – b.

другій декаді 12-14 числа та наприкінці місяця відмічалися короткі ХТ до 3 днів, які часто визначають, як «хвилю підкачки» до акумуляції тепла у послідуєчий період. На багатьох станціях встановлено нові температурні рекорди як середньої місячної і середньої добової, так і мінімальної та максимальної (абсолютної максимальної) температури повітря. Екстремальні показники температури реєструвалися на півдні та південному заході країни. Високі додатні аномалії температури сформувалися за умов блокуючого процесу в тропосфері форми омегаподібний гребінь. Додатково аномаліям циркуляції атмосфери сприяли океанічні фактори, зокрема рекордно висока температура Середземного моря.

## ORCID iD

Helena N. Nazhmudinova  <https://orcid.org/0000-0002-7988-603X>

## Список посилань

- Balabukh, V. O., Bazaleieva, Yu. O., Yagodnyets, S. M. (2016). Vplyv blokuvalnykh protsesiv na povtorivaniist ta intensyvniist anomalnykh umov pohody v Ukraini, poviazanykh z temperaturoiu povitria [Impact of blocking processes on repeatability and intensity of anomalous weather conditions in Ukraine, connected with air temperature]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia ta hidroekolohiia*, 3, 85-94. (In Ukrainian). [Балабукх, В. О., Базалєєва, Ю. О., Ягодинець, С. М. (2016). Вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря. *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія*, 3, 85-94].
- Balabukh, V. O., Malyska, L. V. (2017). Otsiniuvannia suchasnykh zmin termichnoho rezhymu Ukrainy. [Assessment of the current changes in the thermal regime of Ukraine]. *Neoinformatyka*, 4(64), 34-49. (In Ukrainian). [Балабукх, В. О., Малицька, Л. В. (2017). Оцінювання сучасних змін термічного режиму України. *Геоінформатика*, 4 (64), 34-49].
- Basok, B. I., Bazeev, E. T. (2020). Hlobalne poteplinnia: problemy, dyskussii ta prohnozy. [Global warming: problems, discussions and forecasts]. *Svitohliad*, 6 (86), 4-15. (In Ukrainian). [Басок, Б. І., Базєєв, Є. Т. (2020). Глобальне потепління: проблеми, дискусії та прогнози. *Світгляд*, 6 (86), 4-15].
- Bazaleieva, Yu. O., Balabukh, V. O. (2016). Povtorivaniist, tryvalist ta intensyvniist blokuvalnykh protsesiv, shcho zumovliuiut anomalni pohodni umovy v Ukraini. [Frequency, duration and intensity of the blocking processes, which causes anomalous weather conditions in Ukraine]. *Nauk. Pr. UkrNDGMI*, 268, 44-51. (In Ukrainian). [Базалєєва, Ю. О., Балабукх, В. О. (2016). Повторюваність, тривалість та інтенсивність блокувальних процесів, що зумовлюють аномальні погодні умови в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*, 268, 44-51].
- Copernicus. *Surface air temperature for October 2023*. URL: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-october-2023>.
- Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. URL: <https://www.facebook.com/EnvironmentalofUkraine/posts/pfbid0rAYzbUN5LhXXJe9aHC8W7xwgvp1LiqCrRMtYUPoHcYAm71Dk1cVLq3hh2KDCfJCv1>.
- Osadchyi, V. I., Babichenko, V. M., Nabyvanets, Y. B., Skrynyk, O. Y. (2013). *Dynamika temperatury povitria v Ukraini za period instrumentalnykh meteorolohichnykh sposterezhen*. [Dynamics of Air Temperature in Ukraine over Instrumental Observation Period]. Monohrafiia. Kyiv: Nika-Centre, 257. (In Ukrainian). [Осадчий, В. І., Бабіченко, В. М., Набиванець, Ю. Б., Скринник, О. Я. (2013). *Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень*. Монографія. Київ: Ніка-Центр, 257].
- Samchuk E. V. (2017). Prostorovo-chasova minlyvist atmosfernoho blokuvannia na terytorii Yevroatlantychnoho sektoru Pivnichnoi pivkuli za period 1976-2015 roku. [Spatiotemporal variability of atmospheric blocking within Northern hemisphere of Euro-Atlantic sector during 1976-2015]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 47, 160-168. (In Ukrainian). [Самчук, Є. В. (2017). Просторово-часова мінливість атмосферного блокування на території Євроатлантичного сектору Північної півкулі за період 1976-2015 роки. *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 47, 160-168].
- Shevchenko, O., Snizhko, S. (2012). Khvyli tepla ta osnovni metodolohichni problemy, shcho vynykaiut pry yikh doslidzhenni [The heat waves main methodological problems, which appears during the research]. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 11, 101-108. (In Ukrainian). [Шевченко, О., Сніжко, С. (2012). Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні. *Український гідрометеорологічний журнал*, 11, 101-108].
- Shevchenko, O., Snizhko, S., R. Oliynyk, P., Kostyrko, I. (2018). Indykatory temperaturnykh anomalii rehionalnoho klimatu. [Indicators of temperature anomalies of regional climate]. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography*, 1 (73), 15-19. (In Ukrainian). [Шевченко, О., Сніжко, С., Олійник, Р., Костирко, І. (2018). Індикатори температурних аномалій регіонального клімату. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Географія*, 1 (73), 15-19].
- Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). *Climate Change Impacts for Ukraine*. Met Office, 34.

# Режимні характеристики туманів і суцільної низької хмарності в аеропорту «Львів» за даними наземних спостережень

Олексій С. Густенко , Інна А. Хоменко 

Одеський державний екологічний університет, вулиця Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

## Реферат

Тумани та низька суцільна хмарність є небезпечними погодними явищами, які дуже часто призводять до втрати часу, грошей і навіть людських життів під час авіаційних перевезень. Вони становлять значну небезпеку для авіації, особливо під час зльоту та посадки літаків, а також при польоті повітряних суден на низьких висотах через суттєве обмеження видимості. Прогноз низької суцільної хмарності і туманів є одним із найскладніших питань авіаційної метеорології через схожість механізмів утворення цих явищ, складність і недетермінованість процесів в межовому шарі атмосфери, а також сильну залежність появи туманів і низької хмарності від місцевих умов. Через наведені обставини дані аеродромних спостережень, які саме і є одним з основних джерел інформації щодо локальних метеорологічних умов, є необхідною основою для встановлення локальних статистичних залежностей, які дозволять розмежувати обидва явища і прогнозувати їхні характеристики. Для отримання режимних характеристик низької суцільної хмарності і туманів та встановлення локальних залежностей, які дозволили б удосконалити методи прогнозу туманів і низької суцільної хмарності в аеропорту «Львів», використано дані тригодинних наземних метеорологічних спостережень в коді METAR за період 2010–2020 рр. На основі створеної бази даних METAR отримано річний, сезонний і добовий розподіл туманів і низької суцільної хмарності, а також розподіл повторюваностей різних метеорологічних величин при туманах і суцільній низькій хмарності. Застосовуючи статистичний підхід, виявлено емпіричні залежності наявності туману/суцільної низької хмарності від комплексу потенціальних локальних предикторів – відносної вологості і температури повітря на рівні двох метрів. Отримані результати можуть бути використані для забезпечення моделей прогнозу погоди архівними даними та удосконалення статистичних прогнозів туманів і суцільної низької хмарності.

## Ключові слова

Суцільна низька хмарність, туман, дані наземних спостережень, METAR, Львів

Надійшла до редакції: 29 грудня 2023 / Прийнята: 14 березня 2024 / Опублікована онлайн: 20 березня 2024

## Fog and overcast low-level stratiform cloud characteristics at the airport of Lviv from surface observations

Oleksii S. Hustenko, Inna A. Khomenko

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine

## Abstract

Fog and low-level stratiform clouds have been identified as hazardous weather phenomena, resulting in various losses, including time, money, and, most importantly, human lives in aviation transportation. Fog and low-level stratus pose substantial risks to aviation, especially during takeoff, landing, and low-level flying, due to conditions of reduced visibility. Forecasting low-level stratiform clouds and fog is a challenging aspect of aviation meteorology due to the similarity in the mechanisms of their formation, complex and non-deterministic processes in the atmospheric boundary layer, and their high dependence on local conditions. Given these challenges, weather observations, a primary source of information on local meteorological conditions, can be utilized to establish statistical dependencies of fog/low-level stratus characteristics, enabling the differentiation of both phenomena and the improvement of their forecast accuracy. To find the characteristics of fog and low-level stratiform clouds and identify local dependencies for enhancing the forecast of these phenomena at Lviv Airport, Ukraine, three-hourly METARs information from the airport's Meteorological Station for the period 2010–2020 were analyzed. Employing a statistical approach, the annual, seasonal, and diurnal distribution of fog and low-level stratiform clouds, along with their frequency distribution associated with various meteorological parameters, were determined. Applying a statistical approach, the empirical relationship between the occurrence of fog/overcast low-level stratus and a set of potential local predictors, namely 2 m air temperature and relative humidity, was identified. The results obtained can be instrumental in providing historical data to weather forecast models and improving the accuracy of forecasts for fogs and low-level stratus.

## Keywords

Overcast low-level stratiform clouds, fog, surface observational weather data, METAR, Lviv

Received: 29 December 2023 / Accepted: 14 March 2024 / Published online: 20 March 2024

## 1. Вступ

Низька хмарність і туман, які обмежують дальність видимості, є основними факторами, які ускладнюють зліт і приземлення повітряних суден та їх польоти на малих висотах. Саме поєднання мінімальних значень

дальності видимості і верхньої межі хмарності визначають можливість безпечного приземлення або зльоту літака, або мінімум погоди (Наказ Державної авіаційної служби України від 05 вересня 2017 р.). Оскільки точний і своєчасний прогноз низької хмарності та туманів практично повністю визначає

безпеку польотів, безперервність і вчасність авіаційних перевезень, а також відсутність фінансових втрат, то розуміння фізичних механізмів і комплексного характеру цих явищ, а також вдосконалення існуючих та пошук нових методів їх прогнозу, є однією з основних завдань авіаційної метеорології (Gultere, 2019; Michaelides, 2008).

Завдання прогнозування висоти нижньої межі хмарності (ВНМХ) і туману є надзвичайно складним з декількох причин. Хоча сучасні моделі з високим розділенням в низці випадків передобчислюють кількість хмарності і наявність туману, але дуже часто якість прогнозу цих параметрів є незадовільною (Gultere 2019). Окрім того, параметри туманів і низької хмарності, зокрема ВНМХ, надзвичайно мінливі як в просторі, так і в часі, і сильно залежать від місцевих умов (Gultere 2007; Pauli 2020; Stolaki 2009). Тому дуже часто до прогнозу низької хмарності та туману застосовується комбінований фізико-статистичний прогноз (Gultere 2019), при якому на основі вихідних даних моделі за допомогою вбудованих в модель схем постпроцесінгу надається прогноз параметрів туману та низької хмарності (Herzogh 2015). Застосування такого підходу веде до необхідності встановлення локальних зв'язків між вихідними даними чисельних моделей і характеристиками низької хмарності.

В силу зазначених обставин, дані аеродромних спостережень є необхідною основою для встановлення локальних залежностей, які дозволять розмежувати обидва явища і прогнозувати їхні характеристики.

## 2. Матеріали і методи

Для метеорологічного забезпечення авіації значущою для польотів вважається хмарність з нижньою межею до 1500 м або купчасті, купчасто-дощові чи потужні купчасті хмари на будь-якій висоті. Оскільки фізичні механізми формування конвективноподібної і шарувато-подібної хмарності кардинально відрізняються, то розглядати їх має сенс окремо. Водночас туман можна розглядати як хмарну систему, яка належить до загального класу низьких шарувато-подібних хмар (Cotton 1989). З огляду на це в даній роботі в якості об'єкту дослідження було обрано тумани і суцільну низьку неконвективну хмарність з нижньою межею не вище 1500 м, для вивчення режиму яких в міжнародному аеропорту «Львів» ім. Данила Галицького було залучено дані стандартних метеорологічних спостережень біля поверхні землі в коді METAR за період 2010–2020 рр. (Архів метеорологічних даних спостережень в коді METAR).

Хоча при утворенні туманів і суцільної низької неконвективної хмарності провідну роль відіграють мікрофізичні процеси, проте реалізація того чи іншого механізму утворення явища залежить від властивостей повітряних мас, перш за все від вертикального розподілу температури і характеристик вологості.

Таким чином, магістральним напрямом прогнозування наявності явища – туману чи низької суцільної хмарності – є прогнозування полів метеорологічних величин за допомогою чисельних моделей, а потім, за допомогою вбудованих в модель схем постпроцесінгу, реалізація того або іншого алгоритму визначення характеристик туману або суцільної низької хмарності (Andersen, 2020).

Отже, для отримання нових методів прогнозу туманів і суцільної низької хмарності, а також для уточнення методів, що вже використовуються на практиці, необхідно продовжувати дослідження у напрямку встановлення діапазонів для мінливості різних метеорологічних параметрів, що визначають властивості повітряних мас, за різних фізико-географічних умов.

## 3. Результати

### 3.1. Особливості річного і добового ходу туманів і суцільної низької хмарності.

За весь розглядуваний період було зареєстровано усього 5109 випадки суцільної низької хмарності та 741 випадків туманів в аеропорті «Львів». Випадок визначався як метеорологічний строк, в якій спостерігалось явище (суцільна низька хмарність або туман).

В періоди 2010–2020 рр. суцільна хмарність з нижньою межею не вище 1500 м реєструється найчастіше взимку – 44,14 % загальної кількості випадків, а найрідше влітку, коли її повторюваність становить лише 8,30 %. Високу появу низької суцільної хмарності взимку можна пояснити активізацією циклонічної активності взимку, а також значною повторюваністю умов, які сприяють виникненню підінверсійної хмарності (шаруваті і шарувато-купчасті хмари).

Низька суцільна хмарність найчастіше спостерігається взимку з максимумом повторюваності між 3-ю і 6-ю годиною ранку (6,0 %) та мінімумом о 12 год. (4,9 %) (рис. 1).

Восени найбільша повторюваність суцільної хмарності припадає на передранкові і ранкові години і коливається в межах від 4,3 % (06 год.) до 4,0 % (03 і 09 год.), а найменші ймовірності появи низької хмарності реєструються від 15 год. (2,8 %) до 18 год. (3,0 %). Восени суцільна хмарність може спостерігатись дещо рідше, ніж взимку, оскільки в цю пору року більш послаблена циклонічна діяльність.

Навесні повторюваність суцільної хмарності менша, ніж восени, і має мінімум о 18 годині (1,7 %), а максимум з повторюваністю припадає на ранкові години з 6 год. по 9 год. (2,8 %).

Влітку низька суцільна хмарність реєструється найрідше: її повторюваність коливається в межах від 0,3 % о 21 год. до 1,9 % о 6 год.

Повторюваність туманів, на відміну від низької суцільної хмарності, найчастіше має місце в осінній сезон року – 39,81 % від загальної кількості випадків (рис. 2), а мінімум також реєструється влітку –

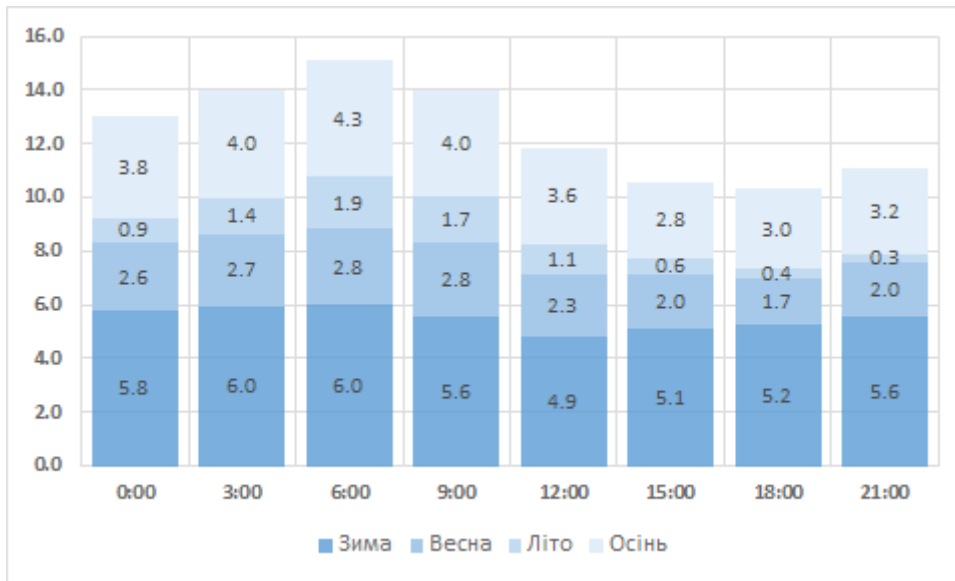


Рис. 1. Добовий хід повторюваності суцільної низької хмарності за даними стандартних метеорологічних спостережень в різні сезони року.  
 Fig. 1. Occurrence of low-level stratus as dependent on the hour of the day in the seasons of the year.

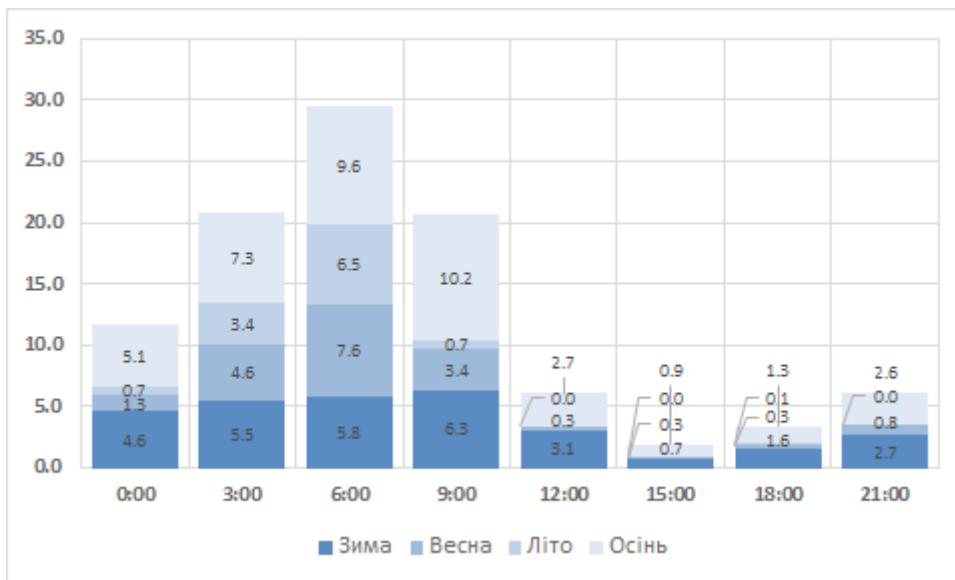


Рис. 2. Добовий хід повторюваності туманів за даними стандартних метеорологічних спостережень в різні сезони року.  
 Fig. 2. Occurrence of fog as dependent on the hour of the day in the seasons of the year.

11,33 %. Взимку тумани можуть спостерігатись практично в третині всіх строків спостережень (30,36 %).

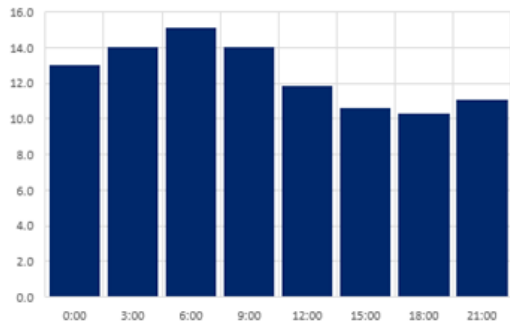
Добовий хід туманів чітко виражено в усі сезони року. Максимум повторюваності туманів восени припадає на ранкові години о 6 год. (9,6 %) і о 9 год. (10,2 %). Найрідше восени тумани реєструються вдень з 12 по 18 год. з мінімумом повторюваності о 15 год. (0,9 %).

Схожий добовий хід туманів спостерігається і в інші сезони року: ймовірність появи туману є менша у післяполудневі та вечірні часи, а більшою – у нічні та ранкові часи, що вказує на те, що найбільшу роль при формуванні туманів відіграє радіаційне вихолодження. Влітку тумани, як і суцільна низька хмарність, реєструється вкрай рідко. Туман влітку спостерігається частіше в момент сходу Сонця (6,5 % о 6 год.), а вдень (12 та 15 години) і у ввечері (21 год.) туман взагалі відсутній.

На рис. 3 і 4 представлено розподіл повторюваності низької суцільної хмарності і туманів як функції години доби і місяця року. З рис. 3 можна бачити, що суцільна низька хмарність найчастіше реєструється з жовтня по березень – на цей період припадає 79 % всіх випадків, а максимальна повторюваність низької хмарності у 16,3 % і 16,4 % має місце в листопаді і січні відповідно. Найчастіше низька суцільна хмарність формується в листопаді і січні з 3 по 6 год. ранку – двовимірна ймовірність її появи в цей час становить 2,2 %, найрідше вона реєструється з червня по вересень у післяобідні і вечірні години – 0,0-0,1%, але навіть в літні місяці ймовірність утворення суцільної низької хмарності в ранкові години не знижується до нуля.

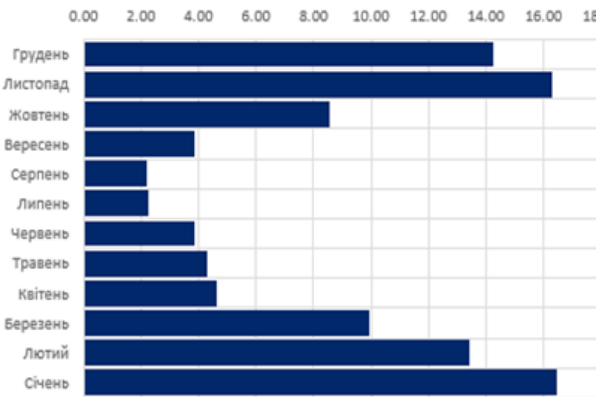
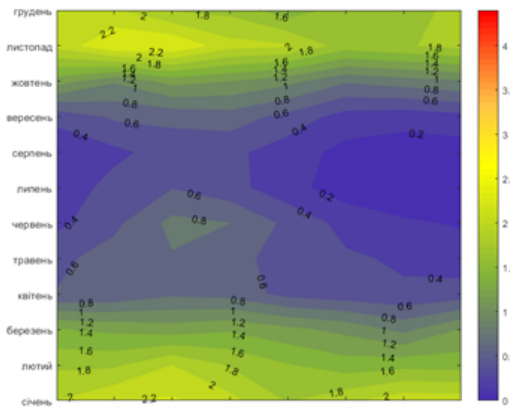
Тумани мають найбільшу повторюваність в осінні місяці – 40% усіх випадків (рис. 4), для зимових місяців повторюваність туманів становить вже 30%. Найбільш





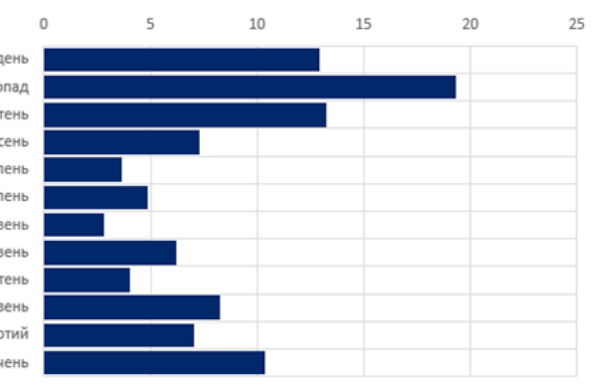
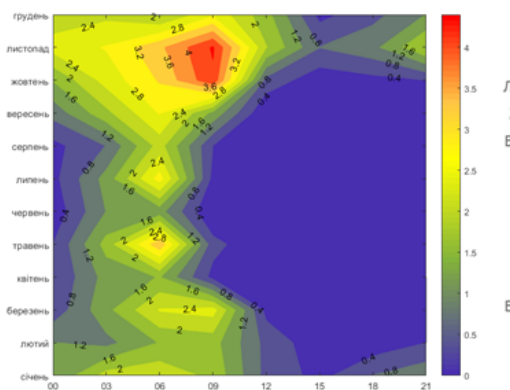
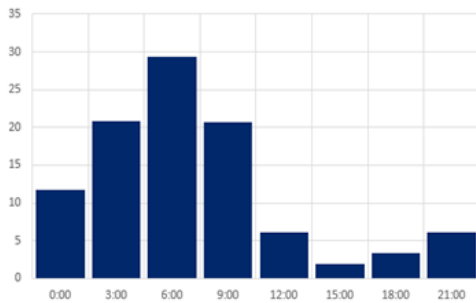
**Рис. 3.** Повторюваність суцільної хмарності з ВНМХ  $\leq 1500$  м як функція часу доби і місяця року. Відповідний розподіл суцільної низької хмарності за місяцем показано праворуч знизу, а розподіл повторюваності за часом надано у лівій частині рисунку.

**Fig. 3.** Frequency distributions of low-level stratiform cloud, as a function of the time of the day and the month of the year. The corresponding monthly distribution of low-level stratus frequencies is shown on the right, and the frequency distribution with respect to the time of day is shown in the top panel of the figure.



**Рис. 4.** Повторюваність туманів як функція часу доби і місяця року. Відповідний розподіл туманів за місяцем показано праворуч знизу, а розподіл повторюваності за часом надано у лівій частині рисунку.

**Fig. 4.** Frequency distributions of fog as a function of the time of the day and the month of the year. The corresponding monthly distribution of fog event frequencies is shown on the right, and the frequency distribution with respect to the time of day is shown in the top panel of the figure.



сприятливі умови для формування туману створюються в жовтні і листопаді в ранкові години – їх повторюваність сягає максимуму (двовимірна ймовірність їх появи сягає 3,6-4,0 %). Причому в ранкові години і навіть влітку двовимірна ймовірність туманів становить 2,4-2,8 %. З лютого по жовтень в післяобідні і вечірні години ймовірність утворення туманів падає до нуля. Порівнюючи розподіли туманів і низької суцільної хмарності, можна бачити, що в місяці, на які припадає 79 % випадків низької хмарності, тумани реєструються в 71 % випадків, що вказує на схожість фізичних механізмів формування туманів і суцільної низької хмарності в Львівському регіоні.

### 3.2. Інформативність температури і відносної вологості повітря як індикаторів (!) низької хмарності і туманів.

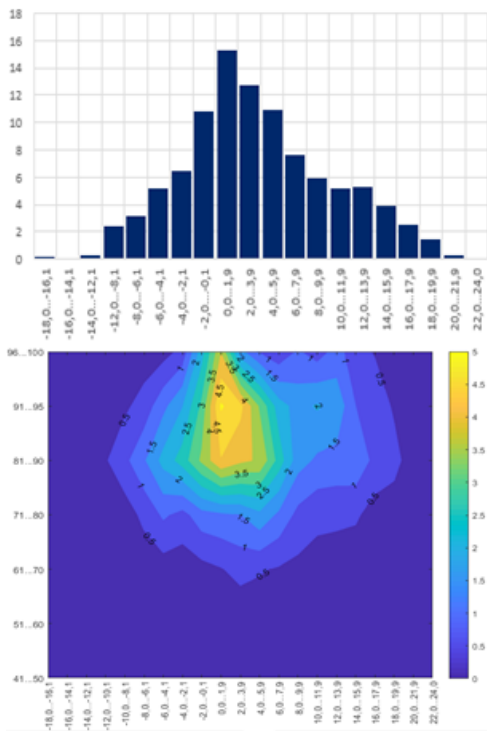
Утворення суцільної низької хмарності і туману значною мірою визначається температурою повітря і насиченістю повітря водяною парою, і, таким чином, за особливостями розподілу температури і вологості повітря можуть бути визначені області в яких формування низької хмарності і туману є найбільш ймовірним, знайдені порогові значення для їх розмежування.

Для визначення найбільш сприятливих для формування туману/суцільної низької хмарності температурно-вологісних умов було обчислено

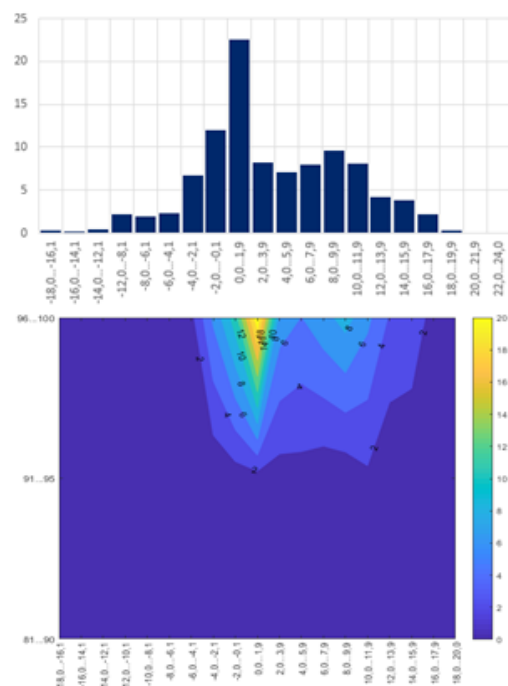
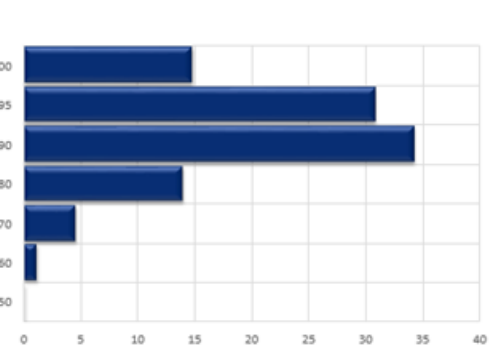
двовимірні повторюваності комплексу таких метеорологічних величин як температура і відносна вологість повітря на рівні 2 м при цих явищах (рис. 5, 6).

Формування суцільної низької хмарності не відбувається при відносній вологості меншій за 40 % та температурах вищих за 24 °С та нижчих за 18 °С (рис. 5). Але при низьких значеннях відносної вологості (41-50 %) суцільна низька хмарність реєструється вкрай рідко – менше, ніж в одному відсотку випадків (0,14 %). Більше, ніж в половині всіх випадків (65,3 %), суцільна низька хмарність спостерігається при досить високих значеннях вологості повітря – від 81 до 95 %.

Найбільші двовимірні повторюваності суцільної низької хмарності припадають на область, окреслену ізотермами -2,0 та 5,9 °С і ізолініями відносної вологості у 81 та 95 % – 32,3 % всіх випадків, з яких 56,5 % випадків спостерігаються при відносній вологості 81-95 % та температурі повітря 0-1,9 °С. Слід зауважити, що при високій відносній вологості 91-100 % суцільна низька хмарність не спостерігається при досить низьких та високих температурах. Наприклад, при відносній вологості 96-100 % суцільна низька хмарність не реєструється при температурах повітря нижчих за -10 та вищих за 20 °С.

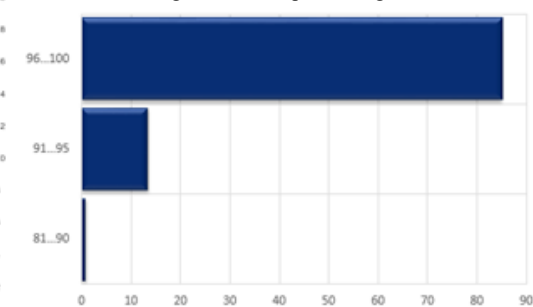


**Рис. 5.** Повторюваність низької суцільної хмарності як функція температури і відносної вологості, виміряних на висоті 2 м. Відповідний розподіл суцільної низької хмарності за відносною вологістю показано праворуч, а розподіл повторюваності за температурою надано у верхній частині рисунку.



**Рис. 6.** Повторюваність туманів як функція температури і відносної вологості, виміряних на висоті 2 м. Відповідний розподіл туманів за відносною вологістю показано праворуч, а розподіл повторюваності за температурою надано у верхній частині рисунку.

**Fig. 6.** Frequency distribution of fog events as a function of air temperature and relative humidity near the surface. The corresponding distribution of fog events with respect to relative humidity is shown on the right, and the frequency distribution with respect to temperature is given at the top of the figure.



Між відносною вологістю та появою туманів (рис. 6) спостерігається тісніший зв'язок: відносна вологість змінюється в межах 80-100 %, причому 99 % всіх випадків реєструються в діапазоні 91-100 %, з яких 85 % припадає на інтервал 96-100 %.

Зміна температури повітря біля поверхні землі під час туманів відбувається в тих самих межах, що і для низької суцільної хмарності. Найбільші двовимірні ймовірності виникнення туманів спостерігаються в межах від -2,0 до 2,0 °C при відносній вологості 96-100 % (32,5 % всіх випадків).

Такий розподіл повторюваності туманів і низької хмарності залежно від температури і відносної вологості вказує на спорідненість цих явищ і може викликати деякі складності з ідентифікацією цих явищ при прогнозуванні, особливо при високих значеннях відносної вологості.

### 3.3. Висота нижньої межі низької суцільної хмарності.

Суцільна низька хмарність визначається перш за все висотою нижньої межі хмарності, тому найважливішою характеристикою є повторюваність висоти нижньої межі хмарності за різними градаціями.

Найбільша кількість випадків суцільної низької хмарності в аеропорту Львів в усі сезони припадає на градацію 100-200 м (рис. 7). Особливо часто суцільна низька хмарність з нижньою межею 100-200 м реєструється влітку (28,77 %) і восени (24,57 %). Хоча взимку і навесні вона має також значну повторюваність – 18,54-18,55 %.

Наступна за повторюваністю є градація у 300-600 м. Найчастіше така хмарність спостерігається взимку (25,7 %). За своїм походженням така хмарність взимку є фронтальною. Слід відзначити, що у градації 0-50 м навесні і влітку низька суцільна хмарність відсутня, взимку цей показник становить лише 0,27 %, а восени – 0,20 %. Проте для Львова є досить характерною дуже низька суцільна хмарність – в більшості випадків висота нижньої межі низької суцільної хмарності нижча за 600 м: 58,9 % випадків навесні і 76,4 % влітку, що вказує на досить небезпечні умови для польотів навіть влітку.

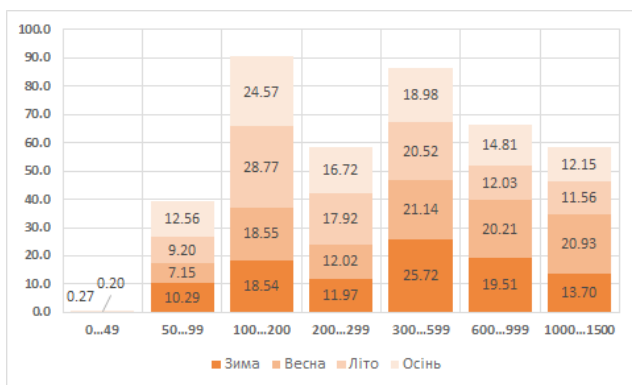


Рис. 7. Повторюваність ВНМХ при суцільній низькій хмарності в різні сезони року.

Fig. 7. Frequency distribution (%) of low-level stratus as dependent on the height of the cloud base in the seasons of the year.

### 3.4. Метеорологічна дальність видимості при тумані.

Інтенсивність туману визначається його тривалістю і ступенем щільності туману (Stolaki, 2009). За метеорологічною дальністю видимості (МДВ), яка визначає ступінь щільності туману, тумани можна поділити на слабкі (з видимістю 500-1000 м), помірні (з видимістю 200-500 м), сильні (видимість становить 50-100 м) і дуже сильні (з видимістю меншою від 50 м).

Максимум повторюваності туману за рік і в усі сезони року припадає на градацію 0-100 м, тобто найчастіше спостерігаються сильні і дуже сильні тумани: ймовірність появи таких туманів найменша навесні (23,36 %), а найбільша восени (31,86 %) (рис. 8).

В усі сезони в 65 % і більше усіх випадків туманів реєструється мінімум видимості 400 м або нижче, що відповідає помірним, сильним і дуже сильним туманам. Найчастіше такі тумани трапляються навесні (72,99 % від усіх випадків туманів навесні), а найрідше – взимку (65,33 % від усіх випадків туманів взимку).

Тумани, дальність видимості в яких становить 901-1000 м спостерігаються вкрай рідко, в 0,79 % всіх випадків. Отримані результати є досить важливими, оскільки демонструють серйозність проблеми в аеропорту Львів, оскільки незважаючи на сезон і тип туману, тумани, які спостерігаються, зазвичай, є дуже щільними.

### 3.5. Швидкість та напрямок вітру.

Напрямок і швидкість вітру, які визначаються циркуляційними умовами і пов'язані з характером адвекції, можуть тією чи іншою мірою асоціюватися з підвищеною або зниженою повторюваністю туману/низької суцільної хмарності.

Залежність повторюваності шаруватоподібної хмарності з ВНМХ  $\leq 1500$  м від швидкості вітру в більшості випадків суттєво змінюється залежно від сезону року (рис. 9). Протягом року найбільша повторюваність такої хмарності припадає на градацію швидкості вітру 3...4 мс<sup>-1</sup>.

В усі сезони більше ніж 80 % всіх випадків низької суцільної хмарності спостерігається при швидкості вітру

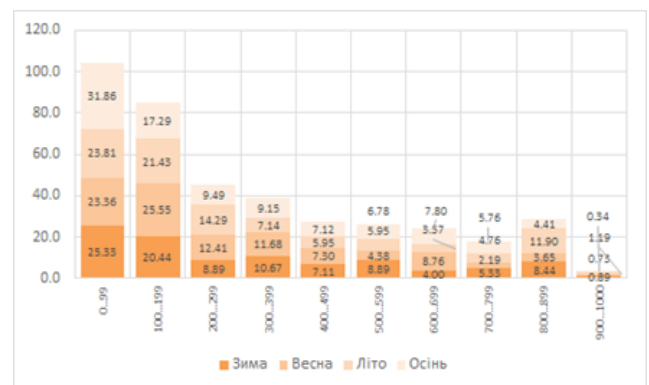


Рис. 8. Повторюваність метеорологічної дальності видимості під час туману в різні сезони року.

Fig. 8. Frequency distribution of fog as dependent on meteorological visibility in the seasons of the year.

4 м/с і нижче: влітку має місце найбільша кількість таких випадків – 93,87 %, взимку такі випадки реєструються рідше, аніж в інші сезони – у 81,93 %.

Тільки взимку при суцільній хмарності з нижньою межею  $\leq 1500$  м спостерігаються швидкості вітру понад 10 м/с, восени і навесні цей показник не перевищує 10 м/с, влітку максимальна швидкість вітру при низькій суцільній хмарності становить 6 м/с. На відміну від багатьох аеродромів, для яких є характерною висока повторюваність низької хмарності з ВНМХ  $\leq 1500$  м для швидкостей вітру  $> 8$  м/с, у Львові, навпаки, при цих швидкостях спостерігається суттєве зниження повторюваності.

При штилях і швидкостях вітру  $\leq 2$  м/с суцільна низька хмарність спостерігається приблизно в половині всіх випадків: частка таких випадків коливається від 54,25 % влітку до 45,99 % взимку.

Зовсім інший характер має розподіл повторюваності швидкості вітру при туманах (рис. 10). Тумани формуються при менших швидкостях вітру: швидкість вітру не перевищує 6 м/с взимку і восени, 4 м/с – навесні і 2 м/с – влітку. В усі сезони року найчастіше при туманах

реєструються штилі з максимумом повторюваності влітку (77,38 %) і мінімумом повторюваності взимку – 37,33 %. В середньому за рік майже половина (53,52 %) всіх випадків туманів реєструються при штилі.

Взимку і восени також мають місце два локальних максимуми повторюваності туманів: при швидкостях 2 і 3...4 мс<sup>-1</sup>.

Залежність для туманів і суцільної низької хмарності простежується не тільки від швидкості вітру, але і від напрямку вітру (рис. 11).

Восени і взимку переважає перенесення низької шаруватоподібної хмарності із західного і межуючого з ним західно-північно-західного напрямку, на які припадає 22, 3% всіх випадків взимку і 24,9 % всіх випадків восени, та з протилежних до них напрямків – південно-східного і південно-південно-східного, що вказує на формування низької суцільної хмарності при перенесенні теплого повітря – 23,6 % взимку і 26,9 % восени. Висока повторюваність суцільної низької хмарності навесні і влітку спостерігається при напрямках вітру від західного до північного: 68,6 % всіх випадків влітку і 46,8 % навесні.

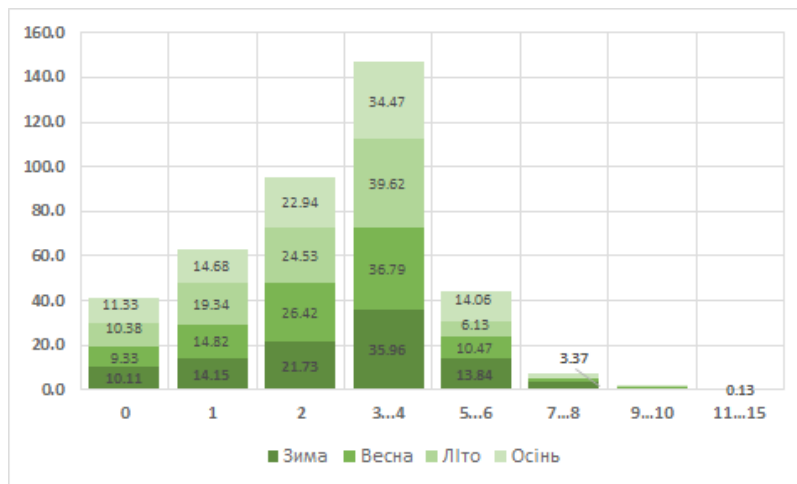


Рис. 9. Повторюваність швидкості вітру при суцільній низькій хмарності в різні сезони року.  
 Fig. 9. Frequency distribution of wind speeds, m/s, associated with low-level stratiform clouds in the seasons of the year.

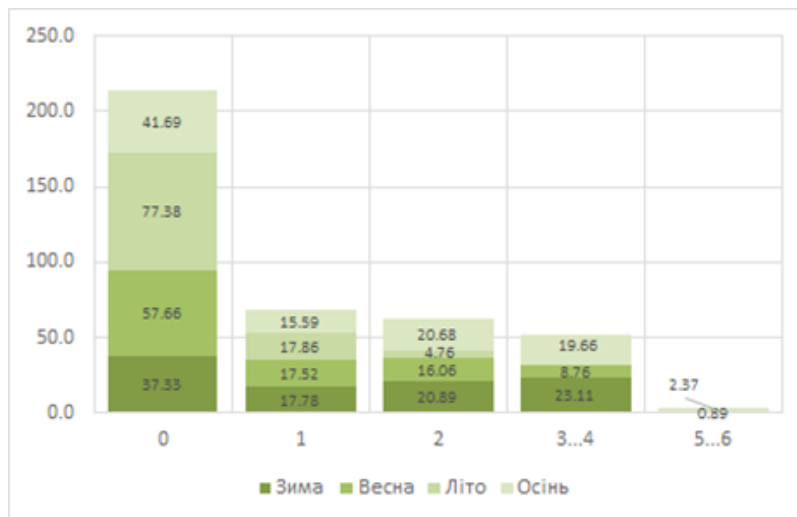
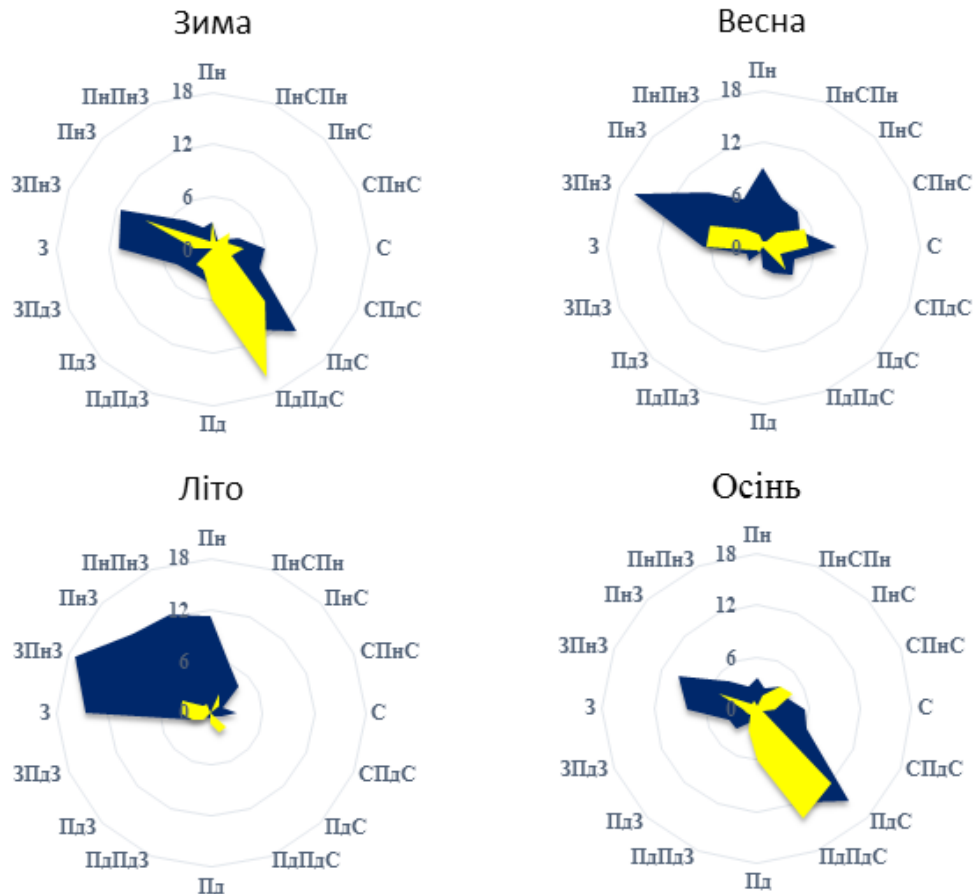


Рис. 10. Повторюваність швидкості вітру при туманах в різні сезони року.  
 Fig. 10. Frequency distribution of wind speeds associated with fogs in the seasons of the year.



**Рис. 11.** Повторюваність (%) напрямків вітру при суцільній низькій хмарності і туманах в різні сезони року. Синій колір відповідає суцільній низькій хмарності, жовтий – туманам.

**Fig. 11.** Frequency distribution (%) of wind directions associated with low-level stratiform clouds and fogs in the seasons of the year. The blue color corresponds to low-level stratiform clouds, while yellow represents fog.

Тумани найчастіше мають місце в зимовий і осінній періоди при південно-східних і південно-південно-східних вітрах, на які припадає практично чверть всіх випадків – 24,4 % взимку і 26,1 % восени, що відповідає адвекції теплого повітря, яке рухаючись на північ поступово охолоджується і його температура сягає температури точки роси. Влітку більшість випадків туманів має місце при перенесенні повітря із заходу і межуючих з ним напрямків – західно-північно-західного і західно-південно-західного – 9,52 % всіх випадків туманів літку. 4,8 % всіх випадків туманів літку реєструються також при південно-східному і південно-південно-східному вітру. Навесні тумани зазвичай спостерігаються при західному-північно-західному і західному напрямках – 13,1 % всіх випадків та східному і східно-північно-східному напрямках – 10,2 % всіх випадків.

#### 4. Висновки

Особливості річного та добового ходу низької хмарності в аеропорту м. Львів виявили найбільшу повторюваність низької хмарності в листопаді і січні;

з максимумом повторюваності в нічні і передранкові години, а мінімумом – в післяполудневі години. Влітку суцільна низька хмарність реєструється вкрай рідко – максимум двовимірної ймовірності становить 0,86 % в червні і припадає на ранкові години.

Річний хід туманів показав найбільшу повторюваність в жовтні і листопаді і яскраво виражений добовий хід, характерний для всіх сезонів року, з максимальною появою туману у передранкові і ранкові години.

Ймовірність появи низької суцільної хмарності виявляє досить тісну статистичну залежність від температури і вологості біля поверхні землі: найбільші двовимірні ймовірності припадають на область, окреслену ізотермами  $-2,0$  та  $5,9$  °C і ізолініями відносної вологості у 81 та 95 %.



Між відносною вологістю та появою туманів спостерігається більш тісний зв'язок: найбільші двовимірні ймовірності появи туману отримано в діапазоні 96-100 % для відносної вологості і 0-2 °C з а температурою повітря.

Більше, ніж у 65 % усіх випадків туманів реєструється мінімум видимості 400 м або нижче, що свідчить про серйозність проблеми, оскільки незважаючи на сезон і тип туману, вони, зазвичай, є досить інтенсивні і щільні.

Аналіз виявив наявність статистичних зв'язків низької хмарності і туманів з напрямком і швидкістю вітру. У всі сезони року найбільша повторюваність низької хмарності припадає на градацію швидкості вітру 3...4 м/с. Найбільша кількість випадків суцільної низької хмарності навесні й влітку реєструється при напрямках вітру від північного до західного, а взимку і восени – при південно-східному і також переважає вітер західного напрямку.

Тумани, навпаки, в усі сезони найчастіше утворюються під час штилів. Найбільш часто спостерігаються тумани взимку і восени при південно-південно-східних напрямках вітру, а навесні і влітку тумани найчастіше утворюються при західному напрямку вітру, але також часто мають місце вітри східних напрямків.

## ORCID iD

Oleksii S. Hustenko  <https://orcid.org/0009-0006-1289-3354>  
 Inna A. Khomenko  <https://orcid.org/0000-0002-8982-5417>

## Список посилань

Andersen, H., Cermak, J., Fuchs, J., Knippertz, P., Gaetani, M., Quinting, J., Sippel, S., and Vogt, R.: Synoptic-scale controls of fog and low-cloud variability in the Namib Desert, *Atmos. Chem. Phys.*, 20, 3415–3438, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-20-3415-2020>.

- Cotton, W. R., and R. A. Anthes, 1989: Storm and Cloud Dynamics. *Academic Press*, 883 pp.
- Gultepe, I., Sharman, R., Williams, P.D. et al. A Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology. *Pure Appl. Geophys.* 176, 1869–1921 (2019). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02168-6>.
- Gultepe, I., Tardif, R., Michaelides, S., Cermak, J., Bott, A., Bendix, J., Muller, M.D., Pagowski, M., Hansen, B., Ellrod, G., Jacobs, W., Toth, G. and Cober, S.G. (2007). Fog research: a review of past achievements and future perspectives. *Pure and Applied Geophysics*, 164(6-7), 1121–1159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-007-0211-x>.
- Herzogh, P., Wiener, G., Bateman, R., Cowie, J., & Black, J. (2015). Data fusion enables better recognition of ceiling and visibility hazards in aviation. *Bulletin American Meteorology Society*, 96, 526–532. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00111.1>.
- Michaelides, S. and Gultepe, I. (Eds.): Short range forecasting methods for fog, visibility and low clouds, *Office for Official Publications of the European Communities*, Luxembourg, 2008.
- Pauli, E., Andersen, H., Bendix, J., Cermak, J., & Egli, S. (2020). Determinants of fog and low stratus occurrence in continental central Europe - a quantitative satellite-based evaluation. *Journal of Hydrology*, 125451. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125451>.
- Stolaki, S.N., Kazadzis S.A., Foris D.V., and Karacostas Th.S. (2009). Fog characteristics at the airport of Thessaloniki, Greece. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, pp. 1541–1549. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1541-2009>.
- Archived METAR/SPECI Observations. <http://rp5.ua/>.
- Order of State Aviation Administration of Ukraine on the Approval of the Flight Rules of Aviation in the Airspace of Ukraine “Meteorological Services for Civil Aviation. <https://ips.ligazakon.net/document/RE30960?an=5045>.

# Метеорологічні умови утворення туманів на півдні України

Лариса В. Недострелова 

Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

## Реферат

В роботі проведено аналіз метеорологічних умов утворення туманів – температурно-вологісного, вітрового режимів, видимості при різних видах туманів на території півдня України за період 2011–2020 рр. В якості вхідної інформації при дослідженні процесів туманоутворення використовуються дані щоденних метеорологічних спостережень за атмосферними явищами на станціях півдня України – Одеса, Миколаїв, Херсон. Мета роботи – встановлення метеорологічних умов утворення туманів на півдні України. В температурному режимі має місце суттєва відмінність у мінімумах температур для Херсона, Миколаєва і Одеси. Виникнення туманів в Херсоні і Миколаєві виявлено при температурах  $-20,0$  і  $-18,0$  °C відповідно на відміну від Одеси, де процеси туманоутворення зафіксовано при мінімальних температурах  $-10,0$  °C. Максимальні температури процесів формування даного явища в Одесі і Херсоні входять в градацію з максимумом  $20,0$  °C, для Миколаєва цей показник становить  $22,0$  °C. Можна зробити висновок, що в Одесі процеси утворення туманів відбуваються при більш високих температурах при від'ємних значеннях, ніж в Миколаєві і Херсоні. Аналіз вологісного режиму свідчить, що найбільша кількість туманів на півдні України утворюється при відносній вологості 100 %. При значеннях вологості від 97 до 99 % також у всіх досліджених пунктах виникають тумани, хоча їх кількісні показники суттєво менші, ніж для попередньої градації. В Одесі процеси туманоутворення відбуваються при більшій вологості повітря (починаючи з 96 %), ніж в Миколаєві і Херсоні, де тумани було зафіксовано уже при вологості 85 і 88 % відповідно. Аналіз просторового розподілу видимості на території трьох станцій півдня свідчить про суттєві відмінності її режиму в Одесі у порівнянні з її змінами в Миколаєві і Херсоні. Розподіл швидкості вітру дає змогу зробити висновок, що найбільшу повторюваність при утворенні туманів на півдні України мають швидкості вітру 1–2 м/с, що становить майже половину випадків – 49 %. Другий максимум повторюваності зафіксовано для градації вітру 3–4 м/с – 27 % від загальної кількості випадків. На штилі припадає 13 % випадків утворення туманів на досліджуваній території за період 2011–2020 рр. Аналіз роз вітрів показує, що найбільшу повторюваність має східний напрямок вітру і пануючим він є для Миколаєва і Херсона. Для Одеси пануючим вітром виявлено південний напрямок, який має велику повторюваність і для інших станцій. Загалом, можна зробити висновок, що при утворенні туманів на півдні України переважними є вітри квадранту схід-південь.

## Ключові слова

Туман, температурно-вологісний режим, видимість при тумані, вітровий режим

Надійшла до редакції: 6 березня 2023 / Прийнята: 29 квітня 2024 / Опублікована онлайн: 30 травня 2024

## Meteorological conditions for the formation of fog in the South part of Ukraine

Larysa V. Nedostrelova

Odesa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

## Abstract

In the article you can find the analyze of the meteorological conditions of fog formation – temperature and humidity, wind regimes, visibility during different types of fog on the territory of the southern part of Ukraine for the period of 2011–2020 yrs. Data from daily meteorological observations of atmospheric occurrences at the stations of the southern part of Ukraine (Odesa, Mykolaiv, Kherson) are used as input information in the investigation of the fog formation processes. The purpose of the work is to establish the meteorological conditions for the formation of fog in the southern part of Ukraine. In the temperature regime there is a significant difference in minimum temperatures for Kherson, Mykolaiv and Odesa. The appearance of fogs in Kherson and Mykolaiv was detected at temperatures of  $-20.0$  and  $-18.0$  °C accordingly in contrast to Odesa, where fog formation processes were recorded at minimum temperatures of  $-10.0$  °C. The maximum temperatures of the formation processes of this occurrence in Odesa and Kherson are included in the gradation with a maximum of  $20.0$  °C, for Mykolaiv this indicator is  $22.0$  °C. It can be concluded that fog formation processes occur in Odesa at higher temperatures with negative values than in Mykolaiv and Kherson. Analysis of the humidity regime shows that the largest amount of fog in the southern part of Ukraine is formed at a relative humidity of 100%. At humidity values from 97 to 99%, fog also occurs in all investigated points, although their quantitative indicators are significantly lower than for the previous gradation. In Odesa the processes of fog formation occur at a higher air humidity (starting from 96 %) than in Mykolaiv and Kherson, where fogs are already recorded at humidity levels of 85 and 88 % accordingly. The analysis of the spatial distribution of visibility on the territory of three stations of the South indicates significant differences in its regime in Odesa compared to its changes in Mykolaiv and Kherson. The distribution of wind speed makes it possible to conclude that wind speeds of 1–2 m/s are most frequent in the formation of fog in the southern part of Ukraine, which happens to be almost half of the cases – 49%. The second maximum of repeatability was recorded for wind gradation of 3–4 m/s – 27% of the total number of cases. The calm has 13% of the cases of fog formation on the investigated territory for the period 2011–2020 yrs. The analysis of wind roses shows that the eastern wind direction has the highest repeatability and is the dominant one for Mykolaiv and Kherson. For Odesa the prevailing wind was found to be in a southerly direction, which is highly repeatable for other stations as well. In general, it can be concluded that during the formation of fogs in the southern part of Ukraine, winds of the East-South quadrant prevail.

## Keywords

Fog, temperature and humidity regime, visibility in fog, wind regime

Received: 6 March 2023 / Accepted: 29 April 2024 / Published online: 30 May 2024

## Corresponding author:

Larysa V. Nedostrelova, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, 65016, Ukraine  
Email: nedostrelova@ukr.net

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. Вступ

Тумани відносяться до явищ погоди, що є небезпечними для руху всіх видів транспорту. Спостереження за дорогою під час туману має бути посилене. Туман може ускладнити чи зробити неможливими зліт та посадку літаків, ускладнює роботу повітряного та автомобільного транспорту, збільшує небезпеку руху на дорогах. Окрім транспорту, особливу зацікавленість до прогнозу туманів проявляють і будівельники. Для галузі будівництва тумани, особливо сильні, обмежують можливість проведення будівельних і монтажних робіт. Тумани можуть справляти негативний вплив на самопочуття, працездатність і здоров'я населення. Зазвичай, безперервна тривалість туманів може спостерігатися від кількох годин (іноді півгодини-годину) до декількох діб. Аналіз просторового розподілу туманів, їх сезонна мінливість, особливості температурно-вологісного і вітрового режимів при туманоутвореннях є актуальним питанням сьогодення внаслідок тісного зв'язку з безпекою людей.

Туман виникає як результат конденсації водяної пари, скупчення продуктів конденсації у повітрі над земною поверхнею в приземному шарі атмосфери і погіршує дальність видимості до 1 км і менше, як зазначено в роботі Школьного Є. П. (Shkolnyu, 2007), Настанові (Nastanova..., 2011), і в публікації Нажмудиної О. М. (Nazhmudinova, 2016). Вміст вологи в повітрі може зростати під впливом вертикального і горизонтального переміщення повітряних мас, випаровування води з підстильної поверхні. Зменшення температури повітря відбувається в результаті турбулентного і молекулярного обміну теплом з навколишніми масами повітря і земною поверхнею, адиабатичного розширення об'єму повітря при його висхідному русі, радіаційного вихолодження, що зазначено в роботах (Shkolnyu, 2007; Vrublevska et al., 2012; Lipinsky et al., 2003). Водночас з переліченими процесами у фіксованій точці простору на зміну вмісту вологи і температури повітря впливають горизонтальний рух, тобто адвекція повітря, і вертикальні рухи. У відповідності до цих процесів тумани поділяють на тумани змішування, тумани випаровування і тумани охолодження (Shkolnyu, 2007). За висновками (Ivus, 2007, 2010) тумани можуть виникати і на атмосферних фронтах. Час існування такого туману визначається за допомогою швидкості руху фронту. Зазвичай, виникнення фронтального туману фіксується через 0,5-1,0 години після проходження атмосферного фронту. До того ж для визначення години руйнування такого туману враховують місцеві особливості, турбулентне перемішування, характеристику адвекції і загалом синоптичну ситуацію і її зміну.

Основними мікрофізичними характеристиками всіх видів туманів є агрегатний стан, водність, відносна вологість, розміри крапель і кристалів і їх концентрація тощо. Водність туману залежить від його інтенсивності – чим більша інтенсивність туману, тим більша його водність. Концентрація крапель і кристалів в туманах коливається в широких межах в залежності від типу туману. Розміри частинок також змінюються в широкому

діапазоні, але переважна кількість має радіус 2-18 мкм. Відносна вологість при туманах сягає майже 100 %, хоча при низьких температурах над морями й океанами може дорівнювати 80 % (Shkolnyu, 2007; Nedostrelova et al., 2021). При температурах повітря  $-30,0^{\circ}\text{C}$  і нижче можуть виникати тумани льодяні чи морозні. Це відбувається в результаті перемішування атмосферного холодного повітря з вологим і теплим повітрям паливних і вихлопних газів. За умови слабкого вітру й існування інверсії в приземному шарі атмосфери продукти згоряння палива залишаються на невеликій площі. Якщо при цьому відносна вологість в повітрі вище критичного значення за даної температури, відбувається пересичення повітря у відповідності до льоду, краплі води замерзають і збільшують свої розміри – це сприяє формуванню льодяного туману. При температурах нижче  $-39,0^{\circ}\text{C}$  утворюються тільки такі тумани. В такому випадку за (Ivus, 2007, 2010), краплі води замерзають незалежно від вологості повітря і збільшуються в результаті вологи продуктів згоряння палива чи атмосферного повітря.

Однією з характеристик мікроструктури туману є дальність видимості. Вона залежить від інтенсивності розсіяння світла Сонця аерозольними частинками, з яких складаються тумани. Інтенсивність розсіяння насамперед залежить від концентрації кристалів чи крапель, а також від їхніх розмірів (Shkolnyu, 2007). Видимість тісно пов'язана з метеорологічними величинами. Вона залежить від температури повітря, швидкості вітру, вологості повітря і перерозподілу температури повітря в підхмарному шарі, стратифікації атмосфери. Залежність видимості від метеорологічних умов різниться у відповідності до типу туману. Наприклад, в радіаційному тумані вплив здійснює мінімальна температура повітря, тобто її нічне пониження. В адвективному тумані видимість більшою мірою буде залежати від процесів насичення і пересичення більш теплого і вологого повітря, що переміщується до певного пункту. У фронтальних і адвективних туманах водність збільшується з висотою і максимум спостерігається біля їх верхньої межі. В радіаційному тумані найгірша видимість фіксується в нижньому шарі атмосфери. За даними (Ivus, 2007, 2010) тумани охолодження характеризуються мінімумом видимості через 2-3 години після сходу Сонця.

## 2. Матеріали і методи

В якості вхідної інформації при аналізі процесів туманоутворення використано дані щоденних метеорологічних спостережень за атмосферними явищами на станціях півдня України (Одеса, Миколаїв, Херсон) за період 2011-2020 рр. Об'єкт дослідження – туман, предмет дослідження – метеорологічні умови туманоутворення, методи дослідження – просторово-часове узагальнення даних, фізико-статистичний аналіз. Основне завдання роботи – встановлення метеорологічних умов утворення туманів на півдні України.



### 3. Результати та обговорення

#### 3.1. Температура повітря

Одним із основних факторів утворення туману є температура. За результатами обробки даних щоденних спостережень за атмосферними явищами на півдні України побудовано гістограми температурних коливань для трьох станцій – Одеса, Миколаїв і Херсон, також надано загальний розподіл температури при туманах на всій досліджуваній території (рис. 1).

На рис. 1а представлено розподіл температури повітря для станції Одеса. За період дослідження метеорологічна величина коливається в межах від  $-10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найбільшу кількість випадків зафіксовано в градації від  $2,1$  до  $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  – це 50 випадків, що становить 20 % від загального показника. Суттєві значення кількості також характерні для градацій  $0,1$ - $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $4,1$ - $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в яких виявлено 45 та 34 значення температур. Можна стверджувати, що розкид температур від  $0,1$  до  $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  складає 52 % від загальної кількості значень температури при туманах в Одесі. Мінімальні і максимальні значення даного розподілу температури становлять всього 3 випадки, при яких відбулося туманоутворення. Також слід відмітити, що при від'ємних температурах туман в Одесі формується тільки в 15 % випадків.

На рис. 1б надано коливання температури повітря при процесах утворення туманів для станції Миколаїв. За період аналізу значення температури змінюється в

межах від  $-18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+22,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найбільшу кількість випадків зафіксовано в градації від  $0,1$  до  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  – це 53 випадки, що становить 17 % від загальної кількості. Суттєві показники розподілу також характерні для градацій в межах  $-1,9$ - $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $2,1$ - $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в яких виявлено 46, 43 та 42 значення температур. Можна стверджувати, що розкид температур від  $-1,9$  до  $6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  становить більше половини, а саме 58 %, від загальної кількості значень температури при туманах в Миколаєві. Мінімальні і максимальні значення даного розподілу температури становлять всього 2 випадки, при яких відбулося туманоутворення. При температурах від  $-15,9$  до  $-14,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  виникнення туманів на станції не виявлено. Також слід відмітити, що при від'ємних температурах тумани в Миколаєві формується в третині (31 %) випадків.

На рис. 1с наведено результати аналізу температурного режиму повітря при виникненні туманів для станції Херсон. За період дослідження значення температури коливаються в межах від  $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найбільшу кількість випадків зафіксовано в градації від  $0,1$  до  $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тобто 53 випадки, що становить 17 % від загального показника. Суттєві значення кількості також характерні для градацій в межах  $-1,9$ - $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $2,1$ - $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в яких виявлено 41 та 49 значень температур. Можна стверджувати, що розкид температур від  $-1,9$  до  $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  становить 47 % від загальної кількості значень температури при туманах в Херсоні. Мінімальні і максимальні значення даного розподілу температури становлять всього 2 випадки, при

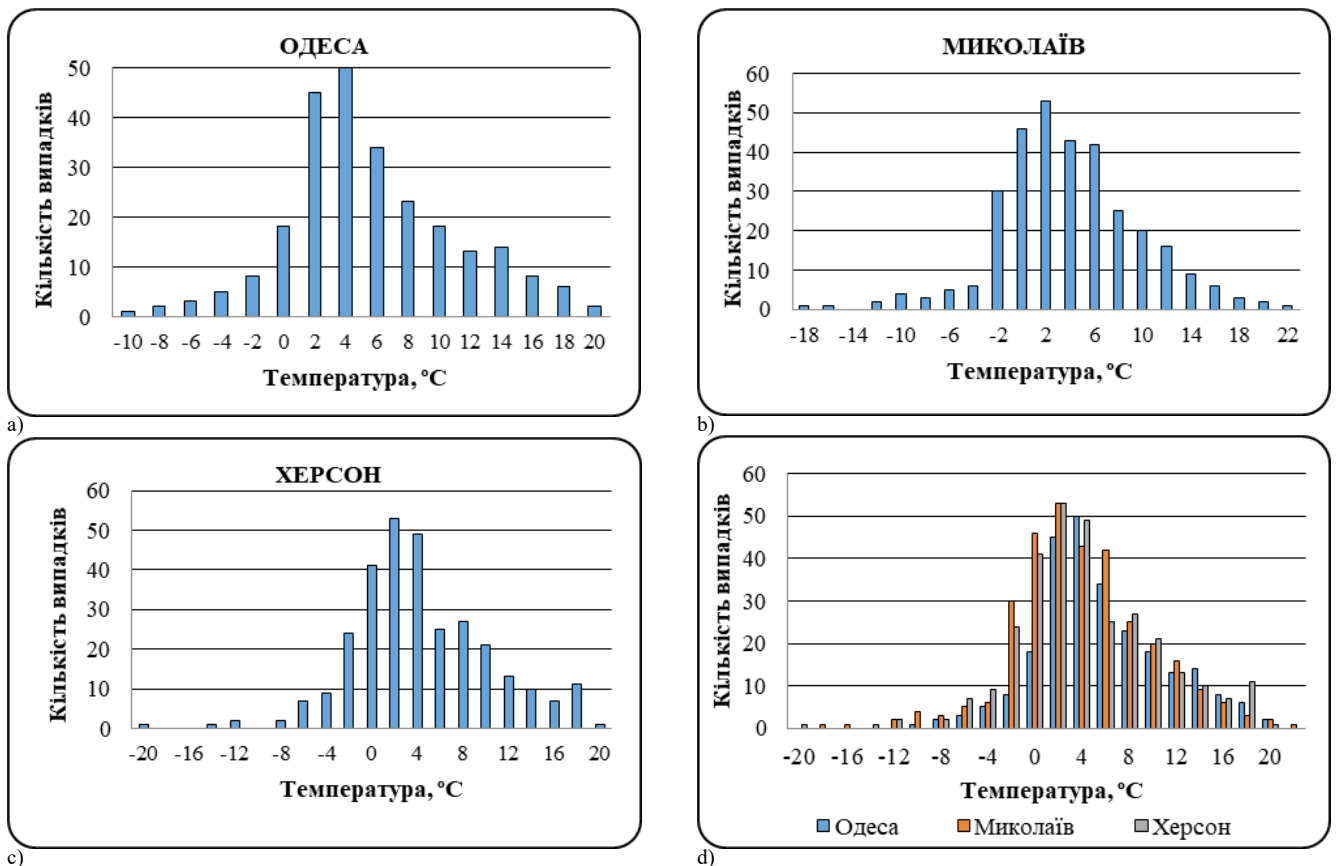


Рис. 1. Гістограми розподілу температури повітря при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, г – південь України.

Fig. 1. Histograms of air temperature distribution during fogs in the southern part of Ukraine for the period of 2011-2020 yrs.: а – Odesa, б – Mykolaiv, в – Kherson, г – the southern part of Ukraine.

яких відбулося туманоутворення. При температурах від  $-19,9$  до  $-16,0$  °C та при  $-11,9$  до  $-10,0$  °C виникнення туманів на станції не виявлено. Також слід відмітити, що при від'ємних температурах тумани в Херсоні утворюються в 27 % випадків.

На рис. 1d представлено межі зміни температури повітря при процесах туманоутворення на півдні України, а саме на станціях Одеса, Миколаїв, Херсон. З загальної гістограми видно, що має місце суттєва відмінність у мінімумах температур для Херсона, Миколаєва і Одеси. Виникнення туманів в Херсоні і Миколаєві виявлено при температурах  $-20,0$  і  $-18,0$  °C відповідно на відміну від Одеси, де процеси туманоутворення зафіксовано при мінімальних температурах  $-10,0$  °C. Максимальні температури процесів формування даного явища в Одесі і Херсоні входять в градацію з максимумом  $20,0$  °C, а для Миколаєва цей показник становить  $22,0$  °C. На станціях Миколаїв і Херсон максимальна кількість становить 53 випадки і фіксується в градації  $0,1-2,0$  °C. Для Одеси максимум значень температури становить 50 випадків і виявлено його в більш теплій градації, тобто від  $2,1$  до  $4,0$  °C. Можна зробити висновок, що в Одесі процеси утворення туманів відбуваються при більш високих температурах (особливо у від'ємній частині шкали), ніж в Миколаєві і Херсоні.

### 3.2. Відносна вологість повітря

Наступною мікрофізичною характеристикою туманів, що було проаналізовано в ході виконання роботи,

є відносна вологість повітря. На рис. 2 наведено результати аналізу вологісного режиму на окремих станціях і на півдні України. З рис. 2a видно, що на станції Одеса значення відносної вологості повітря при процесах туманоутворення коливаються в межах 94 до 100 %. Максимум зафіксовано для вологості 100 % – це 206 випадків, що становить більше ніж 82 % від загальної кількості випадків. В градації 97-99 % зафіксовано 29 випадків, а найменшу кількість значень вологості припадає на градацію 94-96 % – 15 випадків.

На станції Миколаїв значення відносної вологості змінюються в межах від 85 до 100 % (рис. 2b). Як і на станції Одеса, в Миколаєві найбільшу кількість випадків виявлено для значення вологості 100 %. Цей максимум становить 304 випадки, що відповідає 96 % загальної кількості випадків. В градації вологості 97-99 % виявлено 8 випадків, в градації 94-96 % – 4, у градаціях 91-93 і 85-87 % – по одному значенню, а при відносній вологості від 88 до 90 % в Миколаєві в період з 2011 до 2020 рр. тумани взагалі не утворювалися.

На рис. 2c наведено інформацію щодо змін вологісного режиму на станції Херсон. Видно з рисунку, що процеси туманоутворення в Херсоні відбуваються при мінімальній вологості повітря 88 %, в градації від 88 до 90 % виявлено тільки один випадок виникнення туману. При вологості від 91 до 96 % процеси утворення туману не відбуваються. В градації 97-99 % зафіксовано 15 випадків. Максимум випадків (288) характеризується максимальною вологістю, що становить 95 % від загального показника.

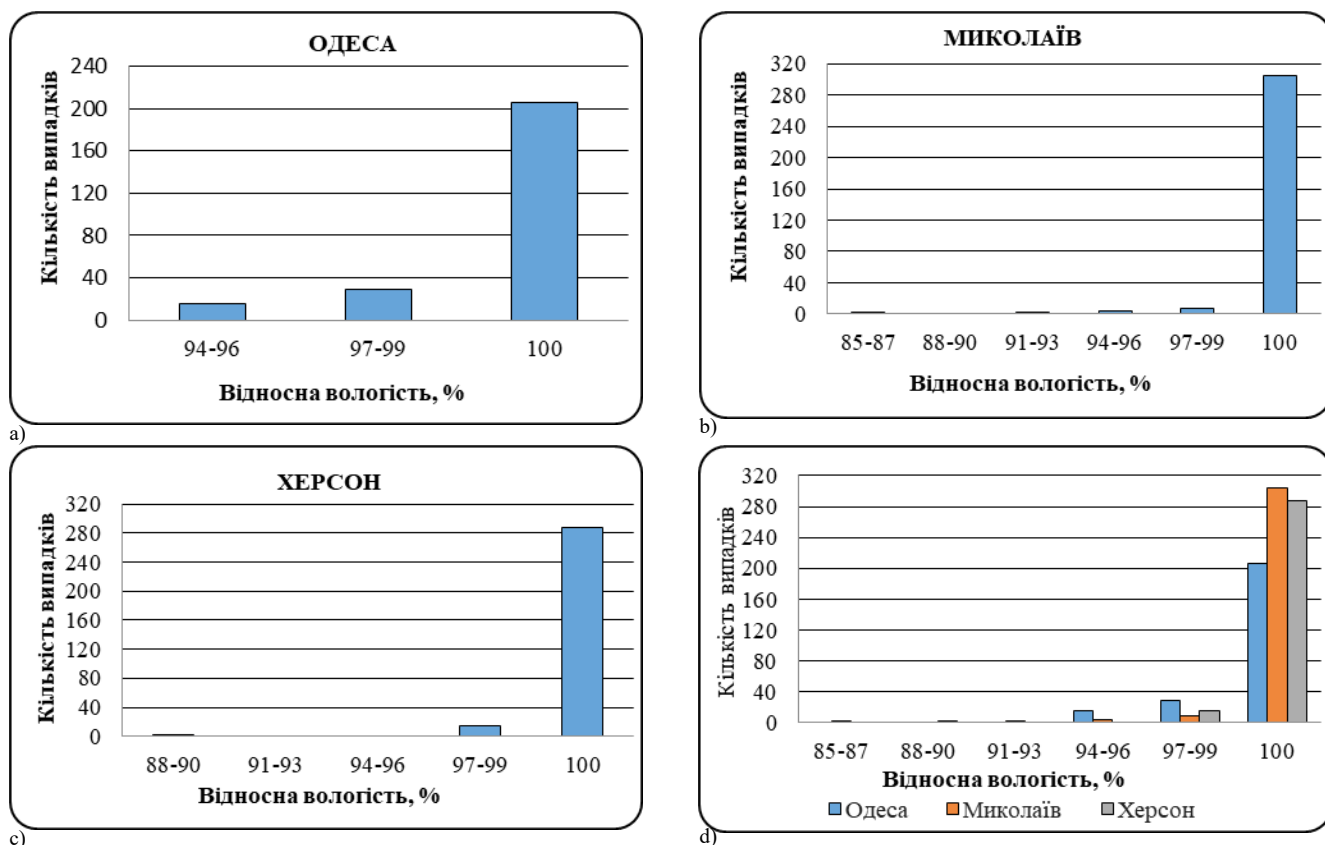


Рис. 2. Гістограми розподілу відносної вологості повітря при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, д – південь України.

Fig. 2. Histograms of the distribution of relative air humidity during fogs in the southern part of Ukraine for the period of 2011-2020 yrs.: a – Odessa, b – Mykolaiv, c – Kherson, d – the southern part of Ukraine.

На рис. 2d представлено гістограму коливань відносної вологості повітря при процесах утворення туманів на півдні України за період 2011-2020 рр. Найбільша кількість туманів на півдні України утворюється при відносній вологості 100 %. При значеннях вологості від 97 до 99 % також у всіх досліджених пунктах виникають тумани, хоча їх кількісні показники суттєво менші, ніж для попередньої вологості. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що в Одесі процеси туманоутворення відбуваються при більшій вологості повітря (починаючи з 96 %), ніж в Миколаєві і Херсоні, де тумани було зафіксовано уже при вологості 85 і 88 % відповідно.

### 3.3. Видимість

Суттєвою відмінністю туманів від явищ, таких як серпанок чи імла (котрі погіршують видимість), є значення вологості і показник видимості. Розподіл відносної вологості при туманах на півдні України розглянуто у попередньому підрозділі. Наразі проведемо аналіз зміни метеорологічної дальності видимості при цьому явищі в досліджуваному регіоні. На рис. 3 наведено розподіл видимості на окремих станціях і зміни видимості в цілому по півдню України.

Як відомо, при туманах дальність видимості коливається від 1 км і менше. З рис. 3а видно, що розподіл видимості в Одесі має певний коливальний характер. Найбільшу кількість випадків зафіксовано при показниках видимості 0,2 і 0,3 км, що становить 41 епізод і для першої, і для другої відстані. Також суттєві кількісні

показники має видимість 0,8 км і 0,1 км, які складають 37 і 32 випадки відповідно. Цікавим є факт, що видимість 0,5 км має найменшу кількість – всього 3 випадки за період дослідження. Якщо розглядати зміни видимості у відповідності до інтенсивності туманів, то сильні тумани виявлено в 13 %, помірні – в 45 %, слабкі – в 42 % випадків. Тож, можемо зробити висновок, що для Одеси характерними є тумани помірної і слабкої інтенсивності.

На рис. 3b представлено розподіл видимості при туманах на станції Миколаїв. За результатами аналізу можемо робити висновок, що максимум випадків спостерігається для видимості 0,2 км – це 115 епізодів, що становить 36 % від загальної кількості випадків. Видимість 0,5 км також має велику кількість випадків у порівнянні з іншими показниками видимості. Це 60 випадків, що складає 19 % від загальної кількості. Мінімум випадків зафіксовано для видимості 0,7 км – 7 епізодів, що дорівнює 2 % від загалу. Якщо розглядати зміни видимості у відповідності до інтенсивності туманів, то сильні тумани виявлено в 7 %, помірні – в 67 %, слабкі – в 26 % випадків. Тож, можемо зробити висновок, що для Миколаєва характерними є тумани помірної інтенсивності.

Розподіл дальності видимості на станції Херсон за період дослідження 10 років наведено на рис. 3с. Тут найбільшу кількість випадків виявлено для показника видимості 0,5 км. Ця характеристика суттєво відрізняється від інших показників видимості і дорівнює 131 випадок, що становить 43 % від загальної кількості. Другий максимум набагато менший, його зафіксовано для видимості

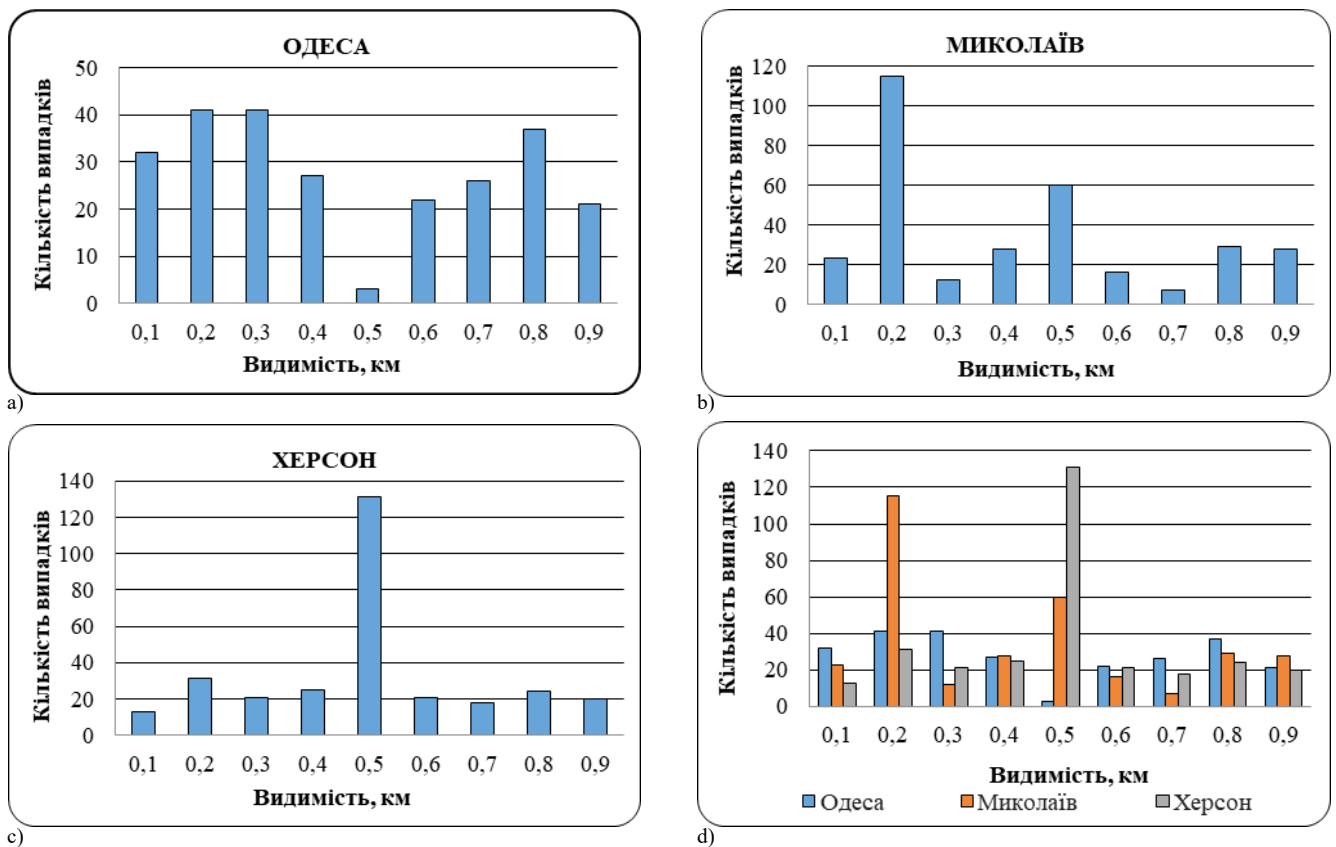


Рис. 3. Гістограми розподілу видимості при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, с – Херсон, д – південь України.

Fig. 3. Histograms of visibility distribution during fog in the southern part of Ukraine for the period of 2011-2020 yrs.: a – Odesa, b – Mykolaiv, c – Kherson, d – the southern part of Ukraine.

0,2 км – це 31 епізод, що дорівнює трохи більше 10 % від загальних даних по цій станції. Найменшу кількість спостерігаємо для видимості 0,1 км – 13 випадків, що становить 4 % від загальної кількості. При аналізі зміни видимості у відповідності до інтенсивності туманів зроблено наступні висновки: сильні тумани виявлено в 4 %, помірні – в 68 %, а слабкі – в 28 % випадків. Отже, можемо зробити висновок, що для Херсона, як і для Миколаєва, характерними є тумани помірної інтенсивності.

На рис. 3д представлено просторовий розподіл зміни видимості на досліджуваних станціях півдня України за період дослідження 2011-2020 рр. В просторовому розподілі видимості при туманах виявлено суттєві розбіжності між показниками видимості для досліджуваних станцій. Наприклад, видимість 0,5 км має мінімум випадків в Одесі (3), для Миколаєва – це другий максимум, що складає 60 епізодів, а для Херсона кількість випадків становить 131, що є максимумом, який однозначно відрізняється від інших показників видимості для цієї станції. Також необхідно відмітити, що розкид кількості випадків фіксуємо найменший в Одесі – від 3 (0,5 км) до 41 (0,2 і 0,3 км), в Миколаєві – від 7 (0,7 км) до 115 (0,2 км), і в Херсоні – від 13 (0,1 км) до 131 (0,5 км). При цьому звертаємо увагу на певну схожість у показниках видимості при різній інтенсивності туманів. Найменший ваговий коефіцієнт мають сильні тумани на всіх станціях аналізу. Помірні тумани мають

найбільший відсоток від загальної кількості туманів на досліджуваних станціях, хоча в Миколаєві (67 %) і Херсоні (68 %) цей показник на третину більший, ніж в Одесі (45%). Слабкі тумани мають найбільшу повторюваність в Одесі – це 42 %, на відміну від Миколаєва і Херсона, де слабка інтенсивність туманів становить 28 і 26 % відповідно.

Аналіз просторового розподілу видимості на території трьох станцій півдня свідчить про суттєві відмінності її режиму в Одесі у порівнянні з її змінами в Миколаєві і Херсоні.

### 3.4. Вітровий режим

Розглянемо вітровий режим при процесах утворення туманів на досліджуваній території. Як відомо, вітровий режим характеризується швидкістю і напрямком вітру. Проаналізуємо спочатку режим швидкостей вітру. На рис. 4 представлено гістограми розподілу швидкості вітру окремо для кожної станції і загальні показники для досліджуваної території.

На станції Одеса (рис. 4а) швидкість вітру при туманах коливається в межах від 0 до 11 м/с. Слід відзначити, що великі швидкості вітру при процесах туманоутворення фіксуються досить рідко: в градації 11-12 м/с – 1 випадок (0,4 % від загальної кількості випадків), в градації 9-10 м/с – 2 випадки (0,8 %), в градації 7-8 м/с – 4 випадки (1,6 %). Найбільшу повторюваність в Одесі при туманах мають швидкості вітру в градації 1-2 м/с –

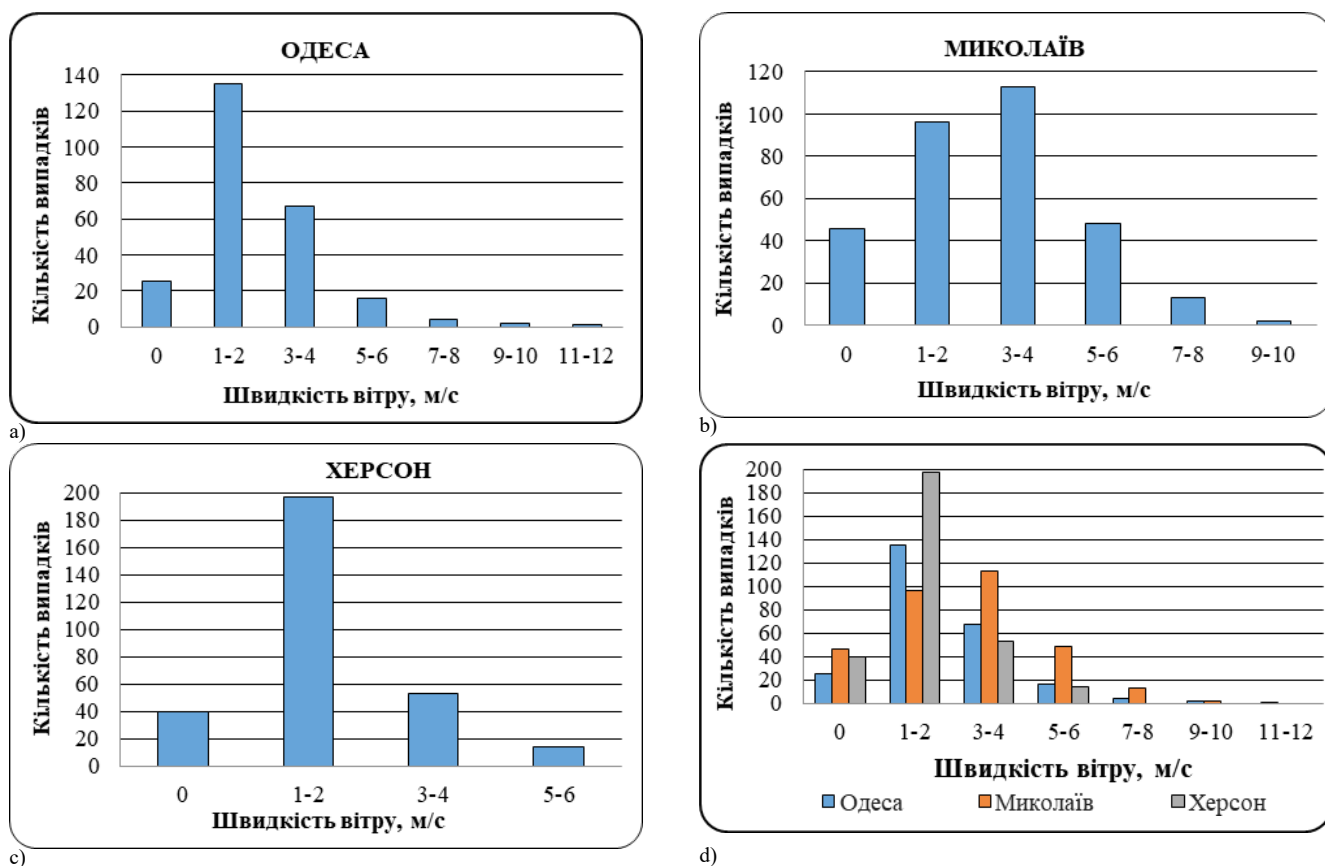


Рис. 4. Гістограми розподілу швидкості вітру при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, в – Херсон, г – південь України.

Fig. 4. Histograms of wind speed distribution during fogs in the southern part of Ukraine for the period 2011-2020: a – Odesa, b – Mykolaiv, c – Kherson, d – the southern part of Ukraine.

54 % (135 випадків). Другий максимум повторюваності виявлено для градації 3-4 м/с – 27 % (67 випадків). Штиль при туманах зафіксовано в 25 випадках, що становить 10 % від загальної кількості випадків. Градація вітру 5-6 м/с має повторюваність 6,4 %, що становить 16 випадків.

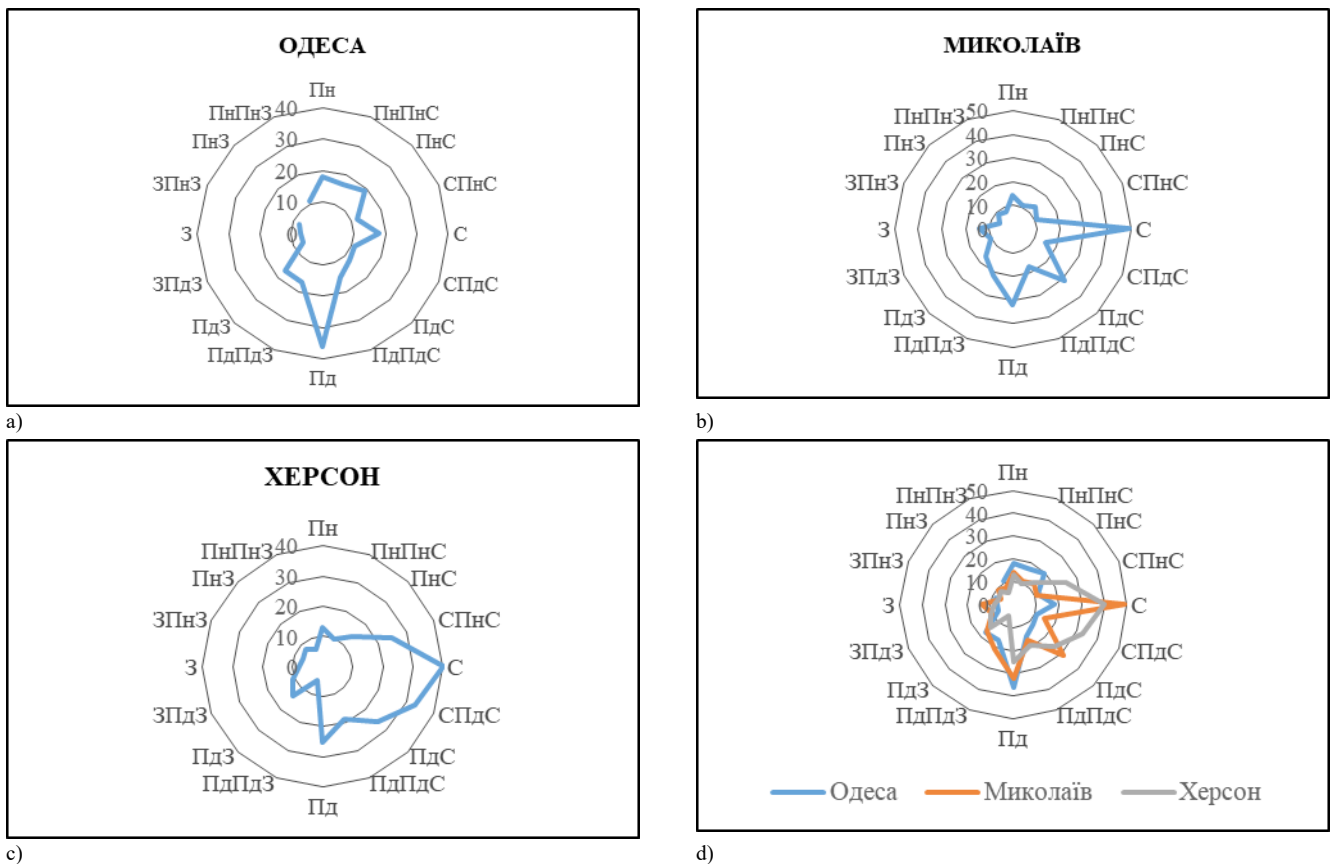
На станції Миколаїв (рис. 4b) швидкість вітру при туманоутворенні змінюється в межах від 0 до 10 м/с. Найбільшу повторюваність при туманах мають швидкості вітру в градації 3-4 м/с – 36 % (113 випадків). Другий максимум повторюваності виявлено для градації 1-2 м/с – 30 % (96 випадків). Градація вітру 5-6 м/с фіксується в 48 випадках, що становить 15 % від загальної кількості випадків. Майже стільки епізодів виявлено для штиля – 46 випадків. Слід відзначити, що великі швидкості вітру при процесах туманоутворення фіксуються досить рідко: в градації 9-10 м/с – 2 випадки (0,6 %), в градації 7-8 м/с – 13 випадків, що становить 4 % від загальної кількості.

На станції Херсон (рис. 4c) швидкість вітру при процесах утворення туманів коливається в межах від 0 до 6 м/с. Найбільшу повторюваність в Херсоні при туманах мають швидкості вітру в градації 1-2 м/с – 65 % (197 випадків). Другий максимум повторюваності виявлено для градації 3-4 м/с – 17 % (53 випадки). Штиль при туманах зафіксовано в 40 випадках, що становить 13 % від загальної кількості випадків. Градація вітру 5-6 м/с має повторюваність 4,6 %, що становить 14 випадків.

Розподіл швидкості вітру дає змогу зробити висновок, що найбільшу повторюваність при утворенні туманів на півдні України (рис. 4d) мають швидкості вітру 1-2 м/с, що становить майже половину випадків – 49 %. Другий максимум повторюваності зафіксовано для градації вітру 3-4 м/с – 27 % від загальної кількості випадків. На штилі припадає 13 % випадків утворення туманів на досліджуваній території за період 2011-2020 рр. Максимальні швидкості вітру при туманах виявлено в Одесі – це 11 м/с. Слід відмітити, що такі великі швидкості вітру при утвореннях туманів зафіксовано тільки в Одесі. В Миколаєві максимальні показники швидкості визначено в градації 9-10 м/с, а в Херсоні, взагалі, максимуми спостерігалися в градації 5-6 м/с.

Друга характеристика вітрового режиму – це напрямок вітру. В роботі проведено аналіз напрямків вітру окремо для кожної станції і загалом для території дослідження і побудовано рози вітрів (рис. 5).

Аналіз напрямків вітру при процесах туманоутворення в Одесі (рис. 4a) показує, що найбільшу повторюваність має південний напрямок вітру – це 36 випадків, що становить 14,4 % від загальної кількості. Наступний максимум у 19 випадків припадає на північно-східний напрямок (7,6 %). Північний і східний напрямки вітру при утворенні туману спостерігаються у 18 випадках кожний і по 17 випадків припадає на ПнПнС, ПдПдЗ і ПдЗ. Мінімальна кількість характерна для напрямків 3 і ЗПдЗ (по 7 випадків). Необхідно відмітити,



**Рис. 5.** Рози вітрів при туманах на півдні України за період 2011-2020 рр.: а – Одеса, б – Миколаїв, с – Херсон, d – південь України.  
**Fig. 5.** Wind roses during fog in the southern part of Ukraine for the period of 2011-2020 yrs.: a – Odesa, b – Mykolaiv, c – Kherson, d – the southern part of Ukraine.

що при північно-західному напрямку вітру в Одесі за період дослідження утворення туманів не виявлено.

На рис. 4b представлено розу вітрів для станції Миколаїв при утворенні туманів. Тут з повторюваністю 15,4% (49 випадків) панує східний напрямок вітру. Другий максимум ділять напрямки південний (32 випадки – 10 %) і південно-східний (31 випадок – 9,7 %). Невеликі повторюваності зафіксовано для ПнЗ – 2,8 % (9 випадків), ПнПнЗ – 2,5 % (8 випадків) і мінімум визначено для напрямку ЗПнЗ – 1,9 % (6 випадків).

Для станції Херсон наведено розу вітрів на рис. 4c. Тут маємо пануючий напрямок вітру східний з повторюваністю 13 %, що становить 40 випадків. Другий максимум у кількості 33 випадки зафіксовано для напрямку СПдС, що становить майже 11 % від загальної кількості випадків. Суттєву повторюваність мають напрямки ПдС – 8,6 % (26 випадків), СПнС і Пд – по 8,2 % (по 25 випадків). Невеликі повторюваності виявлено для напрямку вітру ЗПнЗ – 2,3 % (7 випадків), ПнПнЗ – 2 % (6 випадків) і мінімумом характеризується напрямком ПдПдЗ – 1,6 % (5 випадків).

На рис. 4d представлено розу вітрів при туманах, що утворилися на півдні України за період 2011–2020 рр. З рози вітрів видно, що найбільшу повторюваність має східний вітер і пануючим він є для Миколаєва і Херсона. Для Одеси пануючим вітром виявлено південний напрямок, який має велику повторюваність і для інших станцій. Загалом, можна зробити висновок, що при утворенні туманів на півдні України переважними є вітри квадранту схід-південь.

#### 4. Висновки

В статті проведено аналіз метеорологічних умов утворення туманів – температурно-вологісного і вітрового режимів, видимості при різних видах туманів на території півдня України за період 2011–2020 рр. В температурному режимі має місце суттєва відмінність у мінімумах температур для Херсона, Миколаєва і Одеси. Виникнення туманів в Херсоні і Миколаєві виявлено при температурах -20,0 і -18,0 °С відповідно на відміну від Одеси, де процеси туманоутворення зафіксовано при мінімальних температурах -10,0 °С. Максимальні температури процесів формування даного явища в Одесі і Херсоні входять в градацію з максимумом 20,0 °С, а для Миколаєва цей показник становить 22,0 °С. На станціях Миколаїв і Херсон максимальна кількість становить 53 випадки і фіксується в градації 0,1–2,0 °С. Для Одеси максимум значень температури становить 50 випадків і виявлено його в більш «теплій» градації, тобто від 2,1 до 4,0 °С. Можна зробити висновок, що в Одесі процеси утворення туманів відбуваються при більш високих температурах при їх від'ємних значеннях, аніж в Миколаєві і Херсоні.


Аналіз вологісного режиму свідчить, що найбільша кількість туманів на півдні України утворюється при відносній вологості 100 %. При значеннях вологості від 97 до 99 % також у всіх досліджених пунктах

виникають тумани, хоча їх кількісні показники суттєво менші, ніж для попередньої градації. В Одесі процеси туманоутворення відбуваються при більшій вологості повітря (починаючи з 96 %), ніж в Миколаєві і Херсоні, де тумани було зафіксовано уже при вологості 85 і 88 % відповідно.

Аналіз просторового розподілу видимості на території трьох станцій півдня свідчить про суттєві відмінності її режиму в Одесі у порівнянні з її змінами в Миколаєві і Херсоні.

Розподіл швидкості вітру дає змогу зробити висновок, що найбільшу повторюваність при утворенні туманів на півдні України мають швидкості вітру 1–2 м/с, що становить майже половину випадків – 49 %. Другий максимум повторюваності зафіксовано для градації вітру 3–4 м/с – 27 % від загальної кількості випадків. На штилі припадає 13 % випадків утворення туманів на досліджуваній території за період 2011–2020 рр. Аналіз роз вітрів показує, що найбільшу повторюваність має східний напрямок вітру і пануючим він є для Миколаєва і Херсона. Для Одеси пануючим вітром виявлено південний напрямок, який має велику повторюваність і для інших станцій. Загалом, можна зробити висновок, що при утворенні туманів на півдні України переважними є вітри квадранту схід-південь.

#### ORCID iD

Larysa V. Nedostrelava  <https://orcid.org/0000-0001-8532-0481>

#### Список посилань

- Vrublevska, O. O. & Katerusha, H. P. (2012). *Klimat Ukrayiny ta prykladni aspekty yoho vykorystannya* [The climate of Ukraine and applied aspects of its use]. Odesa: Publ. TES, 180. [Врублевська О. О., Катеруша Г. П. *Клімат України та прикладні аспекти його використання. Навчальний посібник*. Одеса: ТЭС, 180]. (In Ukrainian).
- Ivus H. P. (2007). *Praktykum zi spetsializovanykh prohnoziv pohody* [Workshop on specialized weather forecasts]. Odesa: Ekoloziya, 322. [Івус Г. П. *Практикум зі спеціалізованих прогнозів погоди*. Одеса: Екологія, 322]. (In Ukrainian).
- Ivus H. P. (2010). *Spetsializovani prohnozy pohody* [Specialized weather forecasts]. Odesa, 407. (In Ukrainian). [Івус Г. П. *Спеціалізовані прогнози погоди*. Одеса, 407].
- Lipinskyi, V. M., Dyachuk, V. O., Babichenko, V. M. (2003). *Klimat Ukrayiny* [Climate of Ukraine]. Kyiv, Ukraine: Publ. Rayevskoho, 343. [Клімат України / За ред. Ліпінського В. М., Дячука В. А., Бабіченко В. М. Київ: Видавництво Раєвського, 343]. (In Ukrainian).
- Nazhmutdinova O. M. (2016). *Protsesey tumanoutvorenniya na AMSTS Mykolayiv* [Processes of fog formation at the Mykolaiv AMSC]. *Fizychna heohrafiya i heomorfolohiya*, 3(83), 88–94. [Нажмутдінова О. М. Процеси туманоутворення на АМСЦ Миколаїв. *Фізична географія і геоморфологія*, 3(83), 88–94. ISSN 0868-6939]. (In Ukrainian).
- Nastanova hidrometeorolohichnym stantsiyam ta postam. Vypusk 3. Chastyna I. *Meteorolohichni sposterezheniya na stantsiyakh* [Installation of hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part I. Meteorological warnings at stations] (2011). UkrNDHMI,

TSHO. Kyiv, Ukraine: Derzhavna hidrometeorolohichna sluzhba, 280. [*Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина I. Метеорологічні спостереження на станціях*. Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 280]. (In Ukrainian).

Nedostrelova L., Chalenko V. (2021). Bahatorichnyy rozpodil dnev z tumanamy na pivdni Ukrayiny. [Long-term distribution of the number of days with fog in the South of Ukraine]. *Polish Science Journal*. Issue 11(44). Warsaw: Sp. z o. o. "iScience", 56-61. [Недострелова Л., Чаленко В. Багаторічний розподіл кількості днів з туманами на півдні України. *Polish Science Journal*. Issue 11(44). Warsaw: Sp. z o. o. "iScience", 56-61. ISBN 978-83-949403-4-8]. (In Ukrainian).


Nedostrelova L. V., Chalenko V. V. (2021). Rozpodil kilkosti dnev z tumanamy po sezonakh na pivdni Ukrayiny [Distribution of the number of days with fog by season in southern Ukraine]. *Visnyk HMTS SHAM*, № 1(25), 3-10. [Недострелова Л. В., Чаленко

В. В. Розподіл кількості днів з туманами по сезонах на півдні України. *Вісник ГМЦ ШАМ*, № 1(25), 3-10]. (In Ukrainian).

Nedostrelova L. V., Chumachenko V. V., Chalenko V. V. (2021). Suchasni tendentsiyi u formuvanni nebezpechnykh yavlyshch na Pivdnni Ukrayiny [Modern trends in the formation of dangerous phenomena in the South of Ukraine]. *Druhyy Vseukrayinskyy hidrometeorolohichnyy zvyid: tezy dopovidey*. Odesa: Odeskyy derzhavnyy ekolohichnyy universytet. 7-9 zhovtnya 2021. 174-175. [Недострелова Л. В., Чумаченко В. В., Чаленко В. В. Сучасні тенденції у формуванні небезпечних явищ на Півдні України. *Другий Всеукраїнський гідрометеорологічний з'їзд: тези доповідей*. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 7-9 жовтня 2021, 174-175. ISBN 978-966-186-163-2]. (In Ukrainian).

Shkolnyy Ye. P. (2007)s. Fyzyka atmosfery [*Physics of the atmosphere*]. Kyiv: KNT, 508. [Школьніий Є. П. *Фізика атмосфери*. Київ: КНТ, 508]. (In Ukrainian).

# Характеристика та просторовий розподіл атмосферних опадів у літній сезон на території України та можливості їх довгострокового прогнозу

Владислав Є. Тимофєєв<sup>1</sup> , Ольга Г. Татарчук<sup>1</sup>, Оксана В. Мазєпа<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Український гідрометеорологічний інститут, проспект Науки 37, Київ, 03028, Україна

<sup>2</sup> Львівський регіональний центр з гідрометеорології, вулиця генерала Чупринки 58А, Львів, 79057, Україна

## Реферат

Досліджено багаторічну мінливість атмосферних опадів в літньому сезоні на території України, з характеристикою сильних дощів та деталізацією за даними станцій північного кластера. Загалом для літнього сезону відзначається найбільший дефіцит опадів у серпні разом із зменшенням добових максимумів та кількості днів з опадами, а найменше зниження кількості опадів фіксується на початку літа у червні разом із збільшенням інтенсивності добових опадів. Виявлена внутрішньосезонна мінливість значних опадів, причому їх внесок у загальну кількість зростає тільки у червні. Кількість випадків сильного дощу досягла максимуму у 2001-2010 рр., при цьому найбільша повторюваність явищ характерна для липня. У останньому десятиріччі їх кількість дещо знизилась, причому територія охоплення також зменшилась. Кожного року сильні дощі охоплюють в середньому 20 областей, найбільш характерні для півдня, включаючи Одеську обл. та АР Крим. За даними реаналізу виявлено збереження вологовмісту атмосфери на фоні дефіциту атмосферних опадів, що свідчить про збереження потенціалу опадів для України, особливо за рахунок південних циклонів. Незважаючи на зростаючий ступінь посушливості у теплий період та світову тенденцію до скорочення врожаю зернових, в останні десятиріччя Україні вдається збирати хороші врожаї, що важливо для сталого розвитку сільського господарства та продовольчої безпеки. Проведений аналіз мінливості регіональних атмосферних індексів продемонстрував наявність певних значущих тенденцій, стійкої трендової складової, зокрема посилення Північно-Атлантичного коливання та його східного аналога, Середземноморського та Східно-Європейського коливання, а також асинхронних крос-кореляційних зв'язків. Найкращі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці знайдені для індексів з часовим зсувом 3-5 місяців.

## Ключові слова

Атмосферні опади, сильні дощі, вологовміст, небезпечні метеорологічні явища, атмосферна циркуляція, індекси циркуляції, довгостроковий прогноз

Надійшла до редакції: 12 грудня 2023 / Прийнята: 20 березня 2024 / Опублікована онлайн: 25 травня 2024

## Characteristics and spatial distribution of the atmospheric precipitation in the summer season on the territory of Ukraine and the possibilities of their long-term forecast

Vladyslav Ye. Tymofeiev<sup>1</sup>, Olha G. Tatarchuk<sup>1</sup>, Oksana V. Mazepa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37, Nauky Ave., Odesa, 03028, Ukraine

<sup>2</sup> Lviv Regional Center for Hydrometeorology, 58A, General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine

## Abstract

The long-term variability of atmospheric precipitation in the summer season on the territory of Ukraine was studied with the characteristics of extreme rains and detailing according to the data of the stations of the northern cluster. In general, for the summer season the largest deficit of precipitation is recorded in August (along with a decrease in daily maximums and the number of days with precipitation), and the smallest decrease in precipitation has been registered in June along with an increase in the intensity of daily precipitation. Intraseasonal variability of significant precipitation is detected, and their contribution to the total precipitation amount increased only in June. The number of occurrences of very heavy rain has reached a maximum during 2001-2010 with the highest occurrence in July. In the last decade their number has slightly deteriorated, and the area of coverage has also decreased. Very heavy rains cover an average of 20 regions every year, most characteristic to the south, including the Odesa region and Crimea. The preservation of the moisture content of the atmosphere at the background of a deficit of atmospheric precipitation was revealed. It indicates the preservation of the potential of precipitation for Ukraine, especially due to the southern cyclones. The conducted analysis of the variability of regional atmospheric indices demonstrated the presence of the certain significant trends; a stable trend component, in particular the strengthening of the North Atlantic Oscillation and its Eastern counterpart (the Mediterranean and Eastern European Oscillation,); as well as asynchronous cross-correlation relationships. The best asynchronous relationships with precipitation anomalies in the summer months are found for indices with a time lag of 3-5 months.

## Keywords

Atmospheric precipitation, heavy rains, water content, extreme meteorological phenomena, atmospheric circulation, circulation indices, long-range forecast

Received: 12 December 2023 / Accepted: 20 March 2024 / Published online: 25 May 2024

## Corresponding author:

Vladyslav Ye. Tymofeiev, Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37, Nauky Ave., Odesa, 03028, Ukraine  
Email: tvladys@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



## 1. Вступ

Атмосферні опади є одним з найважливіших метеорологічних явищ – показників мінливості клімату та характеристикою зволоження території, що має визначати сталий розвиток сільського господарства, головною метою якого, як відомо, є забезпечення продовольчої безпеки у короткостроковій та довгостроковій перспективі.

У зв'язку зі змінами клімату, а саме інтенсивним потеплінням, відбуваються зміни в характеристиках опадів, особливо значних, що неодноразово відзначалось різними авторами (IPCC, 2022; Tymofeiev, 2017; The Polish Climate, 2013; Zabolotska, 2012; Varabash, 2010; Klimat Ukrainy, 2003). Небезпечні метеорологічні явища посіли перше місце в списку глобальних ризиків, класифікованих за ймовірністю (World Economic Forum 2017), і вже більше десяти років світова статистика показує, що 90 % найбільших економічних втрат викликані небезпечними метеорологічними явищами (НМЯ), такими як зливи, град, повені, посухи, штормові вітри. Про зростаюче значення гідрометеорологічного чинника в сталому розвитку суспільства свідчить виступ генерального секретаря Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) професора Пітера Тааласа на Першій водній конференції ООН: «...майже 75 % усіх природних катаклізмів за останні 20 років були пов'язані з водою або її нестачею, принаймні 1,6 млрд. людей постраждали від повеней і 1,4 млрд. від посух з економічними збитками майже в 700 мільярдів доларів». Повені були найчастішими серед усіх екстремальних подій, у Східній Європі у 2001 та 2005 рр., Індії у 2005 р., Африці у 2008 р., Азії (Пакистан) та Австралії у 2010 р. (Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Клімат України загалом є сприятливим для розвитку різних галузей господарства, зокрема землеробства та тваринництва, завдяки достатньому зволоженню та сприятливому рівню інсоляції (Rybchenko et al, 2022; Klimat Ukrainy, 2003; Varabash, 2010). Однак, певні поєднання агрокліматичних умов можуть спричинити несприятливі явища в літній сезон через посухи, сильні опади або їх сполучення, що негативно впливає на розвиток впродовж вегетаційного періоду та майбутній врожай (Tarariko, 2016; Shcherban, 1991).

Підтвердження цьому вищенаведеному – нерівномірне зволоження території України в останні десятиріччя, яке посилюється при зміні атмосферної циркуляції, коли більшість вологи отримують західні області, а східні і південні відчувають дефіцит опадів з підвищеним ризиком посушливості та загального ступеня кліматичної вразливості (Savchuk, 2018).

За даними мережі Гідрометслужби України, у 1986–2005 рр. відзначено зростання випадків НМЯ у вигляді дуже сильного дощу та зливи, хоча сезонний розподіл був дуже неоднорідний (Stykhujni, 2006). Максимальна кількість небезпечно сильних опадів на території України пов'язана з циклонічною діяльністю, причому найбільший внесок у загальну кількість значних опадів дають південні циклони, під час виходу яких сильні дощі

випадають перш за все у південних областях України і можуть охоплювати значні території.

Велика частка випадків сильних опадів влітку пов'язані з висотними ізольованими циклонами (відсічення), які зазвичай малорухомі і тривалий час впливають на територію дослідження за рахунок взаємодії з квазі-стаціонарним гребенем на сході Європи (Khomenko, 2012). Ефект антициклонального блокування руху циклонів також відзначається як причина тривалих сильних опадів та гроз на території України в окремі роки за рахунок інтенсифікації фронтальної діяльності (Zabolotska, 2012).

Прогноз сильних атмосферних опадів є дуже актуальним незалежно від завчасності: чи-то понад-короткостроковий, чи довгостроковий. Прогнози на місяць або сезон зазвичай використовують процеси-аналоги синоптичних ситуацій, або ансамблеві прогнози на основі даних чисельного моделювання, або враховують телеконекції, пов'язані зі станом Світового океану (Polonskyi, 2013; Muravev 2011; Syzov, 2010; Martazinova, 2007).

Відомо, що на сучасному рівні досліджень стан регіональної кліматичної системи оцінюється за допомогою індексів, які відображають взаємодію океан-атмосфера та стан центрів дії атмосфери (ЦДА). У планетарному масштабі найбільш сильний сигнал у системі океан-атмосфера вносить Ель-Ніньо-Південне коливання (ЕНПК) (Luo, 2019; Polonskyi, 2013). Незважаючи на те, що прояви ЕНПК у Північній Атлантиці та Європі залишаються дискусійними, численні дослідження явища показали значущий сигнал ЕНПК у Європі, незважаючи на велику мінливість окремих подій. Домінуючі варіації атмосферних опадів у 3–7 років пов'язані з ЕНПК, хоча існують значні регіональні відміни (Trenberth, 2011). Впродовж ХХ сторіччя у світі відзначалося коливання кількості опадів близько норми із зростанням у другій половині сторіччя до початку 1990-х рр., причому найбільша кількість опадів відзначалася на початку фази сучасного потепління (IPCC, 2022).

Основним джерелом міжрічної регіональної мінливості циркуляції атмосфери *Атлантико-Європейського сектору* (АЕС) є Північно-атлантичне коливання (ПАК), яке пов'язує ланцюгом західних хвиль Північну Атлантику та Європу (Hurrell, 1995). Впродовж періодів з високим значенням ПАК переважає західне перенесення, а в сезони з низьким значенням формується значне меридіональне перетворення у АЕС з утворенням висотної улоговини і значних контрастів у полях температури та опадів.

При розробленні методів прогнозу важливо оцінити синхронні та асинхронні зв'язки між аномаліями температури поверхневих вод (ТПВ) північної Атлантики, особливостями великомасштабної циркуляції атмосфери, як у роботі (Muravev, 2011). Відзначається, що при формуванні висотних гребенів і блокуючих ситуацій важлива роль у таких взаємодіях належить тропічній зоні Північної Атлантики, причому зв'язки ПАК з аномалією ТПВ виявилися значно слабші, ніж

аналогічні зв'язки із Східно-Атлантичним коливанням (САК), яке інтерпретують як східний аналог ПАК.

**Метою** роботи є проаналізувати особливості багаторічного ходу характеристик атмосферних опадів в літньому сезоні на території України, порівняти зі змінами вологовмісту, та показати внесок значних атмосферних опадів з деталізацією за даними окремих метеостанцій, а також визначити прогностичні можливості головних індексів – систем регіональної кліматичної мінливості.

## 2. Матеріали і методи

У статті використовувались визначення НМЯ згідно (Nastanova, 2003), оскільки розрахунки проведені ще до виходу в дію нової (Nastanova, 2009). Були розглянуті атмосферні опади категорій, що відповідають термінам «значні та сильні, з кількістю опадів більше 30, 50 мм за 12 год.» за період 1991-2020 рр., причому порогові кількості опадів залишилися ідентичними у новій настанові. Вибірка та статистична обробка випадків сильного дощу одержана шляхом аналізу «Оглядів погоди та стихійних метеорологічних явищ» складених в Укр. ГМЦ України та ЦГО.

Детальний аналіз мінливості атмосферних опадів проведений за даними Північного кластеру – станції ОГМС Київ, Біла Церква, Житомир. Для аналізу використані рекомендовані ВМО важливі показники мінливості атмосферних опадів, середня та максимальна добова інтенсивність, кількість днів з опадами та без них.

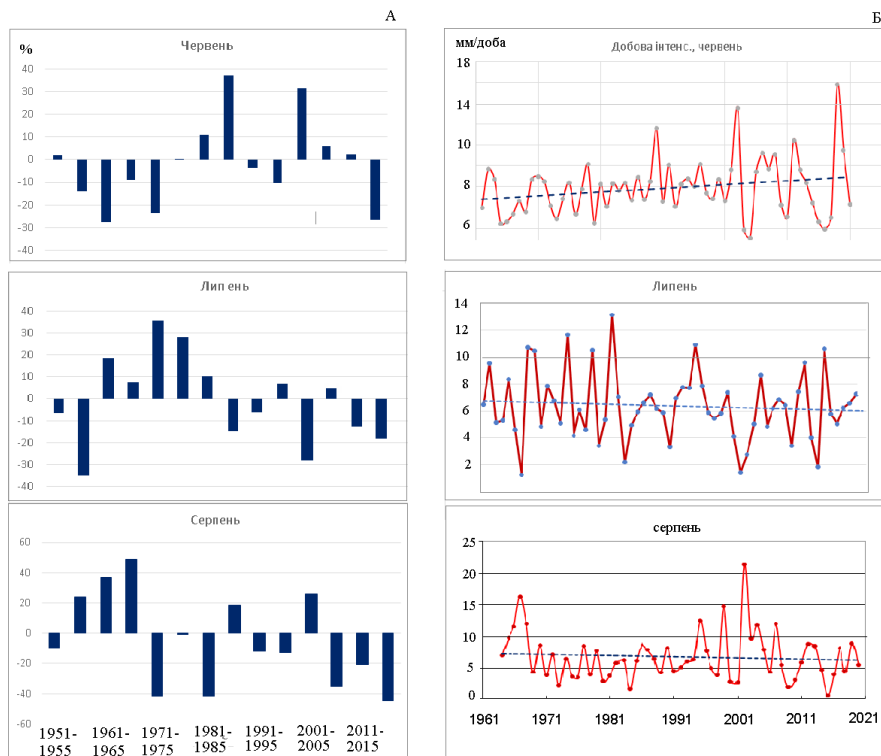
Багаторічна мінливість сезонних атмосферних опадів показані в межах базового періоду 1951-2020 рр., який охоплює період 1991-2020 рр.

Для просторового аналізу кількості опадів в Україні та вологовмісту в атмосфері використано дані реаналізу NCEP/NCAR (1951-2020 рр.), просторове розділення 1,5°. Джерело кліматичних індексів – Центр передбачення клімату, США (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/>). Індекси представлені у вигляді величин, нормованих на середнє квадратичне відхилення у кожному місяці. Для розрахунку коефіцієнту кореляції використовувалась методика рангової кореляції Спірмена на основі зіставлення градацій величин (Agbo, 2021).

## 3. Результати

Багаторічна зміна аномалії кількості атмосферних опадів в океані та на суші частково підтверджується даними середньої місячної кількості опадів півночі України, яка показує зміну додатного тренда на від'ємну аномалію з початку 2000-их рр., найбільш помітна в серпні (рис. 1А). В цілому, сезонна аномалія кількості опадів накопичується впродовж останніх 20 років і перевищила поріг у 30 %.

Зниження літньої кількості опадів підтверджується добовими показниками станцій півночі України. Середня добова інтенсивність опадів зменшується у серпні і липні, зростає тільки у червні на фоні значних міжрічних коливань у останні 20 років (рис. 1Б). Максимум добових опадів також зменшується у серпні і липні,



**Рис. 1.** Багаторічна зміна аномалії місячної кількості опадів (%) півночі України по 5-річчям (А); добова інтенсивність атмосферних опадів, мм/доба (Б), червень-серпень, 1951-2020 рр.

**Fig. 1.** Long-term change in the anomaly of the monthly amount of precipitation (%) in the north of Ukraine during five-years periods (A); daily intensity of atmospheric precipitation, mm/day (B), June-August, 1951-2020 yrs.

а у червні залишається без значних змін. Кількість днів з опадами у червні практично не змінюється, у липні дещо зменшується, а найбільше зменшення зафіксовано у серпні (практично в 2 рази).

Порівнюючи ці показники, отримаємо, що в процесі регіонального потепління внесок інтенсивних опадів у загальну кількість у червні найбільший, а у серпні – найменший, таким чином існує внутрішньосезонна мінливість характеристик опадів.

Аналогічні тенденції отримані для сильних дощів категорій НМЯ, кількість котрих знизилась. За період 1991-2015 рр. в Україні було зафіксовано 1599 випадки дуже сильного дощу, а за 2001-2015 рр. на третину менше – 1078. Кількість випадків з сильними дощами досягла максимуму впродовж 2001-2010 рр., ставши другим показником з 1901 р., а найбільш дощовими були перше та друге п'ятиріччя XXI ст., 390 і 377 випадків відповідно (рис. 2А). У 2011-2015 рр. їх кількість дещо зменшилася (311 випадок) і надалі спостерігається деяке зниження кількості випадків небезпечних

явищ (НЯ) та стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ) на фоні зменшення загальної кількості опадів.

Відповідно, у першій декаді XXI ст. сильними дощами було охоплено дещо більшу територію, ніж у інші роки. Кожного року сильні дощі охоплюють в середньому 20 областей (рис. 2Б). Сильні дощі найбільш характерні для півдня країни, включаючи Одеську обл. та АР Крим, де їх у середньому протягом року відмічається 15, а також і для Закарпатської обл. – 12 випадків. У 1994, 1996, 2001, 2009 та 2015 р. ними було охоплено найменше областей (16-18), а у 2005 р. – найбільше (24 області).

Далі проведемо зіставлення зміни кількості атмосферних опадів регіону України зі змінами вологовмісту в атмосфері влітку за допомогою даних реаналізу. Мінливість кількості атмосферних опадів загалом відповідає даним вимірювань, відображаючи зміну знака тренду у 1980 р. і показуючи зменшення у останні 30 років, рис. 3. Навпаки, вологовміст значно не змінюється протягом періоду дослідження, а в останні 10 років навіть збільшується.

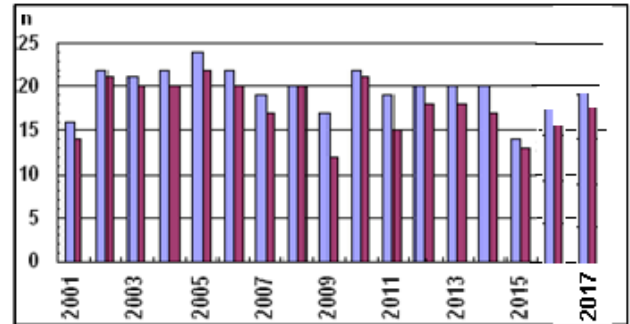
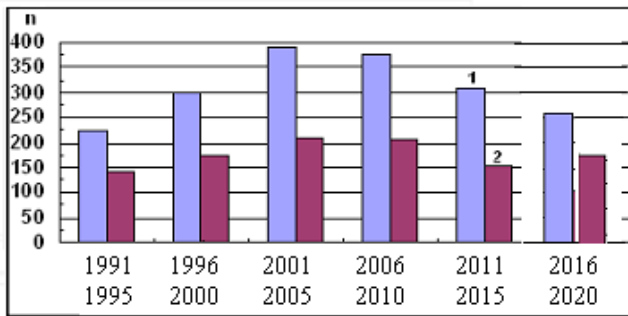


Рис. 2. Кількість випадків дуже сильного дощу в окремі п'ятиріччя 1991-2020 рр. (А); кількість областей та пунктів охоплених сильним дощем (Б).  
 Fig. 2. The number of occurrences with very heavy rain by five-years periods during 1991-2020 yrs. (A); the number of regions and stations with heavy rain (B).

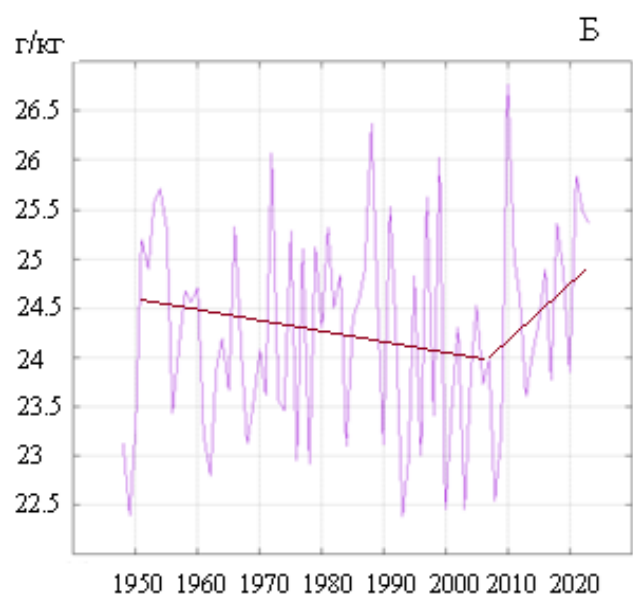
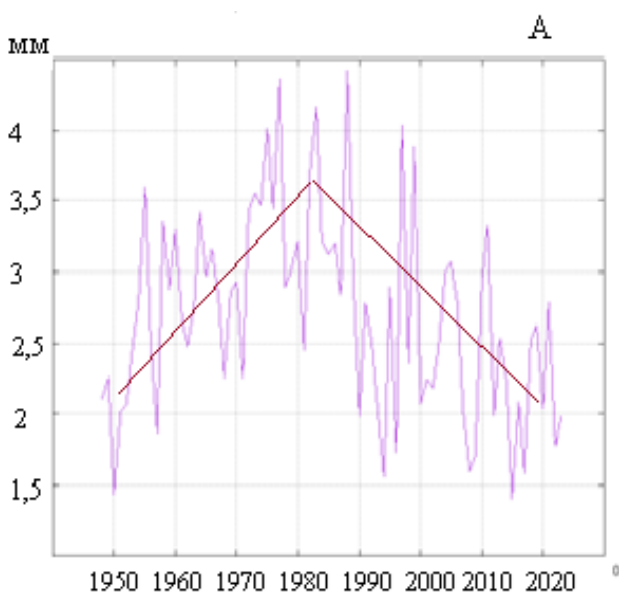


Рис. 3. Багаторічна зміна кількості атмосферних опадів та вологовмісту в атмосфері, 1951-2020 рр., червень-серпень, квадрат 40-50° пн. широти, 25-35° сх. довготи, реаналіз NCEP/NCAR.  
 Fig. 3. Long-term change in atmospheric precipitation and atmospheric moisture content, 1951-2020 yrs., June-August, 40-50° latitude and 25-35° longitude square, NCEP/NCAR reanalysis.

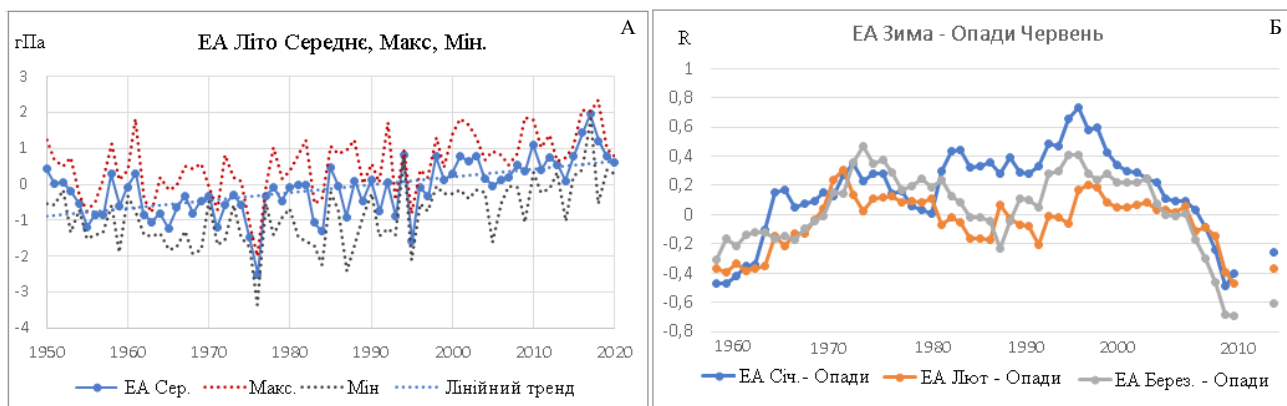
**Особливості атмосферної циркуляції, прогностичний потенціал.** Як вказано вище, стан регіональної кліматичної системи АЕС оцінюється за допомогою індексів, які відображають градієнти тиску в тропосфері та взаємодію ЦДА. Оскільки багаторічна зміна індексу ПАК показує значні міжрічні коливання, то з метою пошуку прогностичних зв'язків більш доцільно використовувати індекс Східно-Атлантичного коливання, який показує більш чітку багаторічну тенденцію впродовж літнього сезону (рис. 4). Цей індекс відображає посилення додатної аномалії, що відображає збільшення градієнтів тиску між субтропічним антициклоном та Ісландською депресією.

Для розробки прогнозу взято більший період, оскільки коефіцієнт кореляції ковзний з постійним вікном 15 років його зменшує. Прогностичні можливості на сезонному інтервалі завчасності показує ковзний асинхронний коефіцієнт кореляції індексу САК на початку року (січень-березень) з аномалією кількості опадів літніх місяців та з найкращим результатом у червні (часовий лаг 3-6 місяців), рис. 5а. Для інших літніх місяців також виявлено значущі зв'язки із

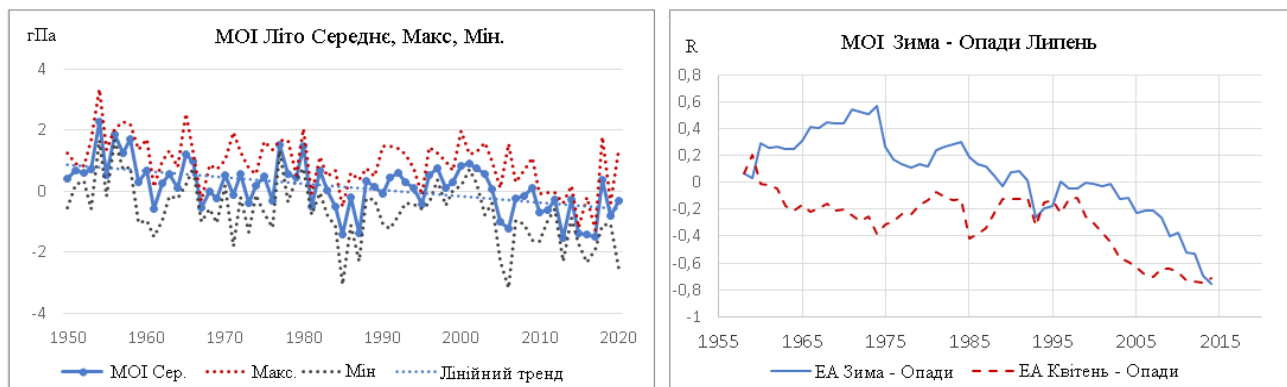
індексом САК з часовим лагом 2-5 місяці, зокрема для кількості опадів у серпні  $R = -0.50, -0.73$ , на 95 % рівні значущості. При цьому треба враховувати, що вікно значущої кореляції достатньо вузьке у часі (до 15 років) що вимагає постійного контролю мінливості.

На відміну від САК, індекс середземноморського коливання МОІ характеризується негативним трендом (рис. 5), що свідчить про поглиблення циклогенезу у Середземномор'ї у теплий сезон року та призводить до підвищеної частоти формування південних циклонів, що впливають перш за все на південь України (Martin-vide, 2006). Асинхронний коефіцієнт кореляції показує перехід від значущої додатної до негативної на початку 1990 рр., знаменуючи зміну кліматичних епох. Найкращі прогностичні результати отримані для кількості опадів у липні з часовим лагом 3-6 місяці із значущими кореляціями з індексом САК у січні та квітні ( $R = -0.6, -0.8$ ).

Інші індекси також показують збереження значущих трендів та крос-кореляційного зв'язку на різних часових масштабах, зокрема Західно-Європейський індекс показує відчутне зниження у тепле півріччя за період



**Рис. 4.** Багаторічна зміна аномалії індексу Східно-Атлантичного коливання (гПа), літні місяці, середнє, екстремуми (А); коефіцієнт кореляції (асинхронний, ковзний з постійним вікном 15 років) між середнім місячним індексом САК (січень-березень) та аномалією кількості опадів півночі України, червень 1951-2020 рр. (горизонтальна вісь – середина кореляційного вікна) (Б).  
**Fig. 4.** Long-term change in the East Atlantic Oscillation index anomaly (hPa), summer months, average, extremes (A); correlation coefficient (asynchronous, sliding with a constant window of 15 years) between the average monthly index (January-March) and the precipitation anomaly in the northern Ukraine, June 1951-2020 (horizontal axis – middle of the correlation window) (B).



**Рис. 5.** Багаторічна зміна аномалії індексу Середземноморського коливання у літні місяці, середнє, екстремуми, лінійний тренд (А); Коефіцієнт кореляції (асинхронний, ковзний з постійним вікном 15 років) між середнім місячним індексом (січень, квітень) та аномалією кількості опадів півночі України, липень 1951-2020 рр.  
**Fig. 5.** Long-term change in the anomaly of the Mediterranean Oscillation index in the summer months, average, extremes, linear trend (A); Correlation coefficient (asynchronous, sliding with a constant window of 15 years) between the average monthly index (January, April) and the anomaly of the amount of precipitation in the north of Ukraine, July 1951-2020 yrs.

2001–2020 рр, відбиваючи посилення антициклону над Східною Європою та інтенсивності блокування над північню Європи. Аналогічні зміни підтверджуються додатнім трендом Північноморсько-Каспійського індексу і Гренландського індексу блокування з посиленням меридиональності над східною Європою (Molavi-Arabshahi, 2016). Позитивна фаза цієї моделі пов'язана з температурою повітря нижчою за норму та значними атмосферними опадами над Скандинавією та східною Європою.

Наявність певних значущих тенденцій, стійкої трендової складової регіональних атмосферних індексів, а також значущі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці можуть бути використані для складання сезонних прогнозів. Зокрема, найкращі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці знайдені для індексів Східно-Атлантичного та Середземноморського коливання з часовим зсувом 3-5 місяці, тобто аномалії індексів у попередні сезони можуть бути враховані при побудові методів альтернативного прогнозу та використані для складання довгострокових прогнозів.

#### 4. Обговорення

На кінець ХХ-го ст. і на початку ХХІ-го відзначається значна нестійкість характеру опадів в часі та просторі, як в Україні, так і на більшості території Європи. Однак, незважаючи на складний плямистий характер літніх опадів через конвекцію, можливо визначити певні тенденції та внутрішньосезонні відмінності.

Якщо впродовж минулого століття найбільший приріст кількості опадів відзначався на початку фази сучасного потепління, то сучасна тенденція пов'язана з від'ємною аномалією, проте характер значних опадів має внутрішньосезонні відмінності.

У порівнянні із результатами, отриманими до 2005 р., кількість випадків сильного дощу та просторовий розподіл зростали і досягли максимуму у 2001–2010 рр. Сучасна тенденція дещо змінилась, узгоджуючись з негативним глобальним трендом, із деяким сезонним перерозподілом добових характеристик.

Враховуючи негативний тренд загальної та максимальної кількості опадів у літні місяці, зростання добової інтенсивності опадів у червні, і зменшення у липні-серпні, встановлено що внесок інтенсивних опадів у загальну кількість у червні найбільший, а у серпні найменший. Таким чином, на відміну від висновків роботи (Polonsky, 2013), в нашому дослідженні отримана внутрішньосезонна мінливість характеристик літніх опадів.

Іншим наслідком значних опадів є формування умов паводків в Українських Карпатах, які відзначаються регулярно протягом останніх 20-ти років: 2008 р. (липень), 2013 р. (вересень), 2020 р. (червень), причому у місяці, які характеризуються дефіцитом опадів. Це може призвести до підйому вод басейну Дністра та Південного Бугу та збільшення навантажень на гідротехнічні

споруди. Враховуючи поточну мінливість клімату з тенденцією до потепління та особливості атмосферних процесів, у найближчі роки на фоні підвищення ймовірності посушливих явищ залишається висока ймовірність сильних паводків і повеней у Карпатах, навіть за умови зменшення загальної кількості опадів.

Незважаючи на зростаючий ступінь посушливості у теплий період, в останні десятиріччя Україні вдається збирати хороші врожаї. Так, наприклад, у 2021 р. було зібрано рекордний урожай зернових, бобових та олійних – 106 млн. т (<https://interfax.com.ua/news/economic/787442.html>). Це сприяє сталому розвитку сільського господарства та продовольчої безпеки.

Відмінність тенденцій кількості атмосферних опадів та вологовмісту в атмосфері у останні 30 років пояснюється прямим впливом глобального потепління, оскільки нагрівання приземного шару призводить до більшого випаровування і висихання поверхні, тим самим збільшуючи інтенсивність і тривалість посухи (Trenberth, 2011). Однак, водоутримуюча здатність повітря збільшується приблизно на 7 % на 1°C потепління, що призводить до збільшення вмісту водяної пари в атмосфері і свідчить про збереження потенціалу опадів.

Сучасні тенденції атмосферних опадів відповідають зміні атмосферної циркуляції з підвищенням атмосферного тиску на більшій частині Європи, особливо після кліматичного зсуву у 1980-х рр. через перехід Ель-Ніньо у переважно теплу фазу (Luo et al, 2019; Hare Steven 2000). Для АЕС це відображає посилення антициклогенезу через розширення зони дії субтропічних максимумів і зміщення зони дії ПАК на північний схід (Hurrell, 2003).

Знайдені важливі у прогностичному плані значущі тренди та асинхронні кореляційні зв'язки атмосферних індексів можуть бути використані для діагнозу та прогнозу погодних умов у літньому сезоні. Найкращі приклади показані для САК, а також для Середньоземноморського коливання. Значні опади влітку, пов'язані із переміщення циклонів із заходу, найкращим чином діагностуються за допомогою ПАК і САК, а за активізації південних циклонів або Чорноморської депресії – за Середньоземноморським коливанням. Паралельно показано, що часова мінливість крос-кореляції обох індексів може бути використана для оцінки зміни кліматичних періодів.

#### 5. Висновки

Досліджено особливості багаторічних зміни характеристик атмосферних опадів та розподіл сильних дощів категорій НМЯ на території України у літньому сезоні впродовж сучасного періоду глобального потепління на основі порівняння із попередніми дослідженнями, проведеними до 2005 р.

Багаторічна зміна кількості атмосферних опадів у літній сезон, за даними реаналізу, загалом відповідає даним вимірювань, показуючи негативну динаміку

впродовж останніх десятиліть, відображаючи зміну фази головного внутрішнього кліматотворчого чинника Ель-Ніньо. Кількість випадків з опадами НМЯ досягла максимуму у 2001-2010 рр., водночас найбільша повторюваність явищ характерна саме для липня. У останньому десятиріччі їх кількість дещо знизилась, причому територія охоплення також скоротилась, аніж у інші роки.

Загалом для літнього сезону відзначається найбільший дефіцит атмосферних опадів у серпні разом із зменшенням добових максимумів та кількості днів з опадами, а найменше зниження кількості опадів фіксується на початку літа у червні разом із збільшенням інтенсивності добових опадів. Виявлено внутрішньосезонну мінливість значних опадів, причому їх внесок у загальну кількість зростає тільки у червні.

Збереження вологовмісту атмосфери на фоні дефіциту атмосферних опадів свідчить про утримання потенціалу опадів для України, а можливим наслідком цього може бути збереження ймовірності паводків та підйому рівня річок, особливо у гірських районах.

Проведений аналіз мінливості регіональних атмосферних індексів продемонстрував наявність певних значущих тенденцій, стійкої трендової складової, зокрема посилення Північно-Атлантичного коливання та його східного аналога – Середземноморського коливання. Найкращі асинхронні зв'язки з аномаліями кількості опадів у літні місяці знайдені для індексів з часовим зсувом 3-5 місяці. Серед інших індексів, що також мають прогностичний потенціал, зазначено індекс Східно-Європейського та Північноморсько-Каспійського коливання. Застосований статистичний апарат ковзної кореляції може бути використано для оцінки зміни кліматичних епох.

## ORCID iD

Vladyslav Ye. Tymofeyev  <https://orcid.org/0000-0001-7843-6419>

## Список посилань

- Agbo, E. P. (2021). The role of statistical methods and tools for weather forecasting and modeling. *Weather Forecasting*. IntechOpen, 3-22.
- Barabash, M. B., Tatarchuk O. H., Hrebenuk N. P., Korzh T. V. (2010). Osoblyvosti rezhymu opadiv na terytorii Ukrainy v umovakh suchasnoho klimatu. *Phys. Geogr. Ta Geomorph.*, 3 (60), 254. [Барабаш, М. Б., Татарчук, О. Г., Гребенюк, Н. П., Корж, Т. В. (2010). Особливості режиму опадів на території України в умовах сучасного клімату. *Фізична географія та геоморфологія*. Вип.3 (60), 254.].
- Hare, S. R., & Mantua, N. J. (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47(2-4), 103-145.
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., ... & Zougmore, R. B. (2018). Impacts of 1.5 °C global warming on natural and human systems. Global warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context

- of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 175-312.
- Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269(5224), 676-679.
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G., & Visbeck, M. (2003). An overview of the North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 134, 1-36.
- Khomenko, G. V., Sosmiy, E. V. (2017). Vysotni tsyklony ta yikh vplyv na pohodni umovy v Ukraini. *Physical geography and geomorphology*, 2(86), 85-89. [Хоменко, Г. В., Сосмії, Є. В. (2018) Висотні циклони та їх вплив на погодні умови в Україні, *Фізична Географія та геоморфологія*, 2(86), 85-89.].
- Klymat Ukrainy*. Eds.: M. V. Lypynsky, V. M. Babychenko, V. M. Diachuk. (2003). [Клімат України. Під ред. М. В. Липинського, В. М. Бабиченко, В. М. Дячука, Київ, 2003].
- Luo B. W. X, Young-Min Y., and Jian Liu. (2019). Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. *Earth, atmospheric, and planetary sciences*, 116, № 45, 22512-22517.
- Marsz, A. A., Matuszko, D., & Styszyńska, A. (2022). The thermal state of the North Atlantic and macro-circulation conditions in the Atlantic-European sector, and changes in sunshine duration in Central Europe. *International Journal of Climatology*, 42(2), 748-761.
- Martazinova, V. F., Ivanova, E. K., Chayka, D. U. (2007). Zmina atmosfernoi tsyrkuliatsii u Pivnichnii pivkuli protiahom periodu hlobalnoho poteplinna u 20 stolitti Ukr. Geogr. J., № 3, 10-20. [Мартазинова, В. Ф., Иванова, Е. К., Чайка, Д. Ю. (2007). Зміна атмосферної циркуляції у Північній півкулі протягом періоду глобального потепління у ХХ столітті, *Укр. геогр. журн.*, № 3, 10-20].
- Martin-Vide, J., & Lopez-Bustins, J. A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(11), 1455-1475.
- Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K., & Leroy, S. A. G. (2016). Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: Their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena. *International Journal of Climatology*, 36(5), 2156-2172.
- Muravev, A. V. (2011) Vzaymosviaz summarnykh osadkov nad Evrazyei s tsentramy deistviya atmosfery Severnogo polusharyia y glavnyimi modamy yzmenchivosty temperatury poverkhnosti Severnoi Atlantyky. *Meteorologiya y gidrologiya*, № 4, 5-16 [Муравьев, А. В. (2011). Взаимосвязь суммарных осадков над Евразией с центрами действия атмосферы Северного полушария и главными модами изменчивости температуры поверхности Северной Атлантики. *Метеорология и гидрология*, № 4, 5-16].
- Nastanova po sluzhbi prohoziv ta poperedzhen pro nebezpechni i stykhiini hidrometeorologichni yavushcha pohody* (2003), 30. [Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні гідрометеорологічні явища погоди. К : Укр ГМЦ, 2003, 30].
- Polonskyi, A. B., Voskresenskaia, E. N., Vyshkvarkova, E. V. (2013). Prostorovo-chasova minlyvist intensyvnykh opadiv na terytorii Ukrainy ta yikh zviazok iz zminamy klimatu / *Dop. Nat. Academy Sci.*, № 7, 102-107. [Полонский, А. Б., Воскресенская, Е. Н., & Вышкваркова, Е. В. (2013). Пространственно-временная изменчивость интенсивных осадков на территории

- України и их связь с изменениями климата. *Доносиді НАН України*. № 7, 102-107].
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegria, A., ... & Okem, A. (2022). *IPCC, 2022: Summary for policymakers*.
- Przybylak, R., Majorowicz, J., Brázdil, R., & Kejan, M. (Eds.). (2009). The Polish climate in the European context: an historical overview. *Springer Science & Business Media*.
- Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2022). Potencial helioenergetychnykh klimatychnykh resursiv soniachnoi radiatsii v Ukraini. *Ukr. Geogr. J.*, № 1, 16-23 [Рибченко, Л.С. (2022). Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. *Укр. Геогр. журнал*, № 1, 16-23].
- Savchuk, S. V., Tymofeiev, V. Ye., Yuvchenko, N. M. (2018). Synkhronni ta asynkhronni zviazky mizh anomaliiamy temperatury Raionuvannya Ukrainy po vplyvu ekstremalnykh znachen maksimalnoi temperatury povitria u teplyi ta kholodnyi periody roku. *Ukr. Hydromet. J.*, 22. 46-56. [Савчук, С. В. (2018). Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року. *Український гідрометеорологічний журнал*, 22, 46-56].
- Scherban, M. (1991). *Klimat ta vrozhai na Ukraini*. [Щербань, М. І. (1991). *Клімат і врожаї на Україні*. К.: Знання, 32].
- Stykhiini meteorolohichni yavushcha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia 1986-2005* (2006). Eds.: M. Lipinsky, V. Babichenko. 311. [Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя 1986-2005 рр. Під ред. М. В. Ліпінського, В. М. Бабіченко, К., Ніка центр, 311].
- Syzov, A. A., Chekhlan, A. E. (2010). Anomalii hidrometeorolohichnykh poliv u raioni Chornoho moria poviazani z hradientamy temperatury poverkhni vodu u Pivnichnii Atlantytsi. *Meteorolohiya i hydrolohyia*, № 3, 65-74. [Сизов, А. А. (2010). Аномалії гідрометеорологічних полів у районі Чорного моря пов'язані з градієнтами температури поверхні води у Північній Атлантиці. *Метеорологія і гідрологія*. № 3, 65-74].
- Tarariko, O. G., Ilyenko, T. V., Kuchma, T. L. (2016). Vplyv klimatychnykh zmin na produktyvnist ta valovi zbory zernovykh kultur: analis ta prognoz. *Ukr. geogr. J.*, 2016, (1),14-21. [Тараріко, О. Г. (2016). Вплив кліматичних змін на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. *Укр. Геогр. журнал*, 1, 14-22].
- Trenberth, K. E., Dai, G. van der Schrier, Jones P. D., Barichivich J., Briffa K. R., Sheffield, J. (2014): Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4, 17-22.
- Tymofeiev, V. Ye., Tatarchuk, O. H. (2017). Sylni zlyvy na terytorii Ukrainy na rubezhi 20 stolit. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ser: Geography*, 1(66), 89-93. [Тимофеев, В. Є., Татарчук, О. Г. (2017). Сильні зливи на території України на рубежі XX-XI століть. *Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка, Сер. Географія*, 1(66), 89-93].
- Vyazilova, N. (2012). Tsyklonichna aktyvnist ta kolyvannia tsyrkuliatsii v Pivnichnii Atlantytsi. *Meteorolohiya u hydrolohyia*, № 7, 5-14 [Вязилова, Н. А. (2012) Циклонічна активність та коливання циркуляції в Північній Атлантиці. *Метеорологія и гидрологія*, № 7, с. 5-14].
- Wang, B., Luo, X., Yang, Y. M., Sun, W., Cane, M. A., Cai, W., ... & Liu, J. (2019). Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (45), 22512-22517.
- Zabolotska, T. M., Shpytal, T. M. (2012). Kharakterystyka umov rozvytku tryvalykh zlyv ta hroz u rizni sezony 2012 roku. *Proc. UHMI*, 263, 44-65. [Заболоцька Т. М., Шпиталь, Т. М. (2012). Характеристика умов розвитку тривалих злив та гроз у різні сезони 2012 року. *Наук праці УкрНДІГМІ*, 263, 44-65].

# Історичні ландшафти української уранової промисловості

Юліан Тютюнник<sup>1</sup> , Наталія Писаревська<sup>1</sup> , Сергій Ярков<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Державний політехнічний музей імені Бориса Патона при Національному технічному університеті України «КПІ» ім. І. Сікорського, Берестейський проспект, 37, Київ, 04053, Україна

<sup>2</sup> Криворізький державний педагогічний університет, Університетський проспект, 54, Кривий Ріг, 50086, Україна

## Реферат

Історія створення ядерних технологій на території сучасної України сягає 1910 року. Протягом двадцятого століття вона вирізняється цілим рядом науково-технічних новацій та пріоритетів, котрі донедавна з політичних міркувань ретельно замовчувалися. В статті реконструйовано знакові події, що пов'язані з початком видобування і переробки в Україні уранової сировини в середині ХХ ст. Ці події створили передумови для виготовлення радянської атомної зброї. Їхня історія відбилася й закарбувалася у ландшафтах: промислових, гірничо-промислових, екстрактивних, урбанізованих. Деякі з ландшафтів, залишаючись техногенними, продовжують виконувати свої соціальні і технологічні функції, але більшість з них знаходиться у занедбаному, напівзруйнованому і зруйнованому стані, є пост-техногенними промисловими й урбанізованими ландшафтами районів і місць уранодобування, піро- і гідрометалургії урану. Оскільки такі ландшафти пов'язані з важливими подіями в галузях добування і переробки уранової сировини, їх слід вважати історичними і такими, що відносяться до індустріальної спадщини України. В роботі ідентифіковано техногенні і посттехногенні ландшафти української уранової спадщини, віднайдено їх на місцевості, охарактеризовано сучасний стан (почасти на рівні окремих техногенних і природних елементів). Це – виробничі ландшафти та техногенні ландшафтні елементи перших уранодобувних шахт і підприємств піро- та гідрометалургії урану України. Їх вивчення є ексклюзивним для антропогенного ландшафтознавства.

## Ключові слова

Історичний ландшафт, техногенний ландшафт, посттехногенний ландшафт, індустріальна спадщина, уранова промисловість

Надійшла до редакції: 26 лютого 2023 / Прийнята: 16 квітня 2024 / Опублікована онлайн: 31 травня 2024

## Historical landscapes of the Ukrainian uranium industry

Yulian Tyutyunnyk<sup>1</sup>, Natalia Pisarevska<sup>1</sup>, Serhiy Yarkov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Boris Paton State Polytechnic Museum at the National Technical University of Ukraine "KPI" named after I. Sikorskyi, 37, Beresteyskyi Ave., Kyiv, 04053, Ukraine

<sup>2</sup> Kryvyi Rih State Pedagogical University, 54, University Ave., Kryvyi Rih, 50086, Ukraine

## Abstract

The history of the creation of nuclear technologies on the territory of modern Ukraine dates to 1910. During the twentieth century, it was distinguished by several scientific and technical innovations and priorities, which until recently were carefully kept silent for political reasons. The article reconstructs landmark events related to the beginning of the mining and processing of uranium raw materials in Ukraine in the middle of the 20th century. These events created the prerequisites for the manufacture of Soviet atomic weapons. Their history was reflected and imprinted in the industrial, mining, extractive, and urbanized landscapes. Some landscapes continue to perform their social and technological functions, remaining technogenic. Still, most of them are in an abandoned, dilapidated, and destroyed state. They are post-technogenic industrial and urbanized landscapes of areas and places of uranium mining, pyro- and hydrometallurgy of uranium. Since such landscapes are associated with major events in the mining and processing of uranium raw materials, they should be considered historical and belong to the industrial heritage of Ukraine. In the work, technogenic and post-technogenic landscapes of the Ukrainian uranium heritage are identified, they were found on the ground, and the current state was characterized (partly at the level of individual technogenic and natural elements). These are the production landscapes and man-made landscape elements of the first uranium mines and uranium pyro- and hydrometallurgy enterprises of Ukraine. Their study is exclusive to anthropogenic landscape science.

## Keywords

Historical landscape, technogenic landscape, post-technogenic landscape, industrial heritage, uranium industry

Received: 26 February 2023 / Accepted: 16 April 2024 / Published online: 31 May 2024

*До 75-річчя уранопереробної  
промисловості України*

## 1. Вступ

У 2024 році виповнюється 75 років від початку промислового виготовлення в Україні продуктів піро- і гідрометалургійної переробки залізо-уранових руд. Весною 1949 року Дніпровський металургійний завод

(ДМЗ, сьогодні Каметсталь) і завод № 906 (згодом Придніпровський хімічний завод, ПХЗ), що розміщені у м. Дніпродзержинськ (нині м. Кам'янське), із залізо-уранових руд, видобутих у 1948-1949 рр. на руднику ім. 1-го Травня, що на Криворіжжі, виготовили сполуки урану (концентрат), котрі й стали вихідним матеріалом для напрацювання збройового плутонію-239 для першої радянської атомної бомби. З цими непересічними подіями, належним чином істориками ще не дослідженими,

## Corresponding author:

Yulian Tyutyunnyk, Boris Paton State Polytechnic Museum at the National Technical University of Ukraine «KPI» named after I. Sikorskyi, 37, Beresteyskyi Ave., Kyiv, 04053, Ukraine  
Email: yulian.tyutyunnyk@gmail.com

© 2024 The Authors. Published by Taras Shevchenko National University of Kyiv. This is an open-access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



були пов'язані ландшафти промислових майданчиків уранових шахт і їхні гірничо-промислові ландшафти (відвалів забалансових руд і порожньої породи), а також промландшафти металургійних заводів. Більша частина з них сьогодні знаходиться у занедбаному, зруйнованому стані і є за нашим визначенням (Tyutyunnyk, 2021). посттехногенними. Але в них записані неординарні події та факти з історії науки, техніки і промисловості України. Це означає, що і функціонуючі, і занедбано-зруйновані ландшафти уранових копалень та металургійних заводів, які були пов'язані з тими подіями, є *ландшафтами історичними – пам'ятками історії науки і техніки* (це нормативне поняття) і належать до своєрідної форми культурно-історичної спадщини – *індустріальної спадщини*. Ідентифікація та вивчення цих ландшафтів, хоча б на рівні окремих елементів і компонентів, складає основну мету статті.

## 2. Методи, методологія, термінологія

У дослідженні використовувалися наступні методи. 1. Історичні і соціологічні – робота з фондovими матеріалами музеїв та архівів; опитування ветеранів праці уранових шахт і металургійних заводів, краєзнавців, працівників культури на місцях (Кам'янське, Кривий Ріг). 2. Дистанційні – вивчення і порівняння космоснімків і карт різних років (починаючи з 1914 р.) на території досліджуваних об'єктів. Зокрема широко використовувалися космоснімки (КЗ) з сервісу <http://OldMaps.dp.ua>. 3. Польові ландшафтознавчі – пошук, ідентифікація, вивчення техногенних та посттехногенних ландшафтів, їхніх елементів на місцевості. 4. Польові методи вивчення морфології рельєфу та техногенних рельєфоутворюючих відкладів, утворених на них форм мезо- і мікрорельєфу. 5. Польові фітоценологічні методи вивчення особливостей рослинного покриву в межах територій, де розміщуються досліджувані об'єкти.

Щодо методології наукової роботи, то вона суттєво відрізняється від установок «постмілківського» антропогенного ландшафтознавства, яких притримується більшість українських дослідників ландшафтів індустріальних територій, в тому числі сформованих уранодобувною промисловістю (Denisyuk, Kozynska, 2015). Теоретичні погляди, на яких базувалася робота, повністю викладено в монографії (Tyutyunnyk, 2021). Докладно на них ми зупинитися не будемо, але щоб запобігти термінологічним непорозумінням, які можуть виникнути в процесі ознайомлення з цією статтею, вкажемо на деякі головні «антимілківські» аспекти нашої позиції. А) Техногенний ландшафт – це ландшафт, в якому провідним геокомпонентом є техногенний покрив, що складається з функціонуючих споруд, будівель, комунікацій, машин, апаратів, агрегатів, конструкцій тощо. Б) Ландшафти промислових майданчиків заводів, фабрик, шахт, гірничо-збагачувальних комбінатів, електростанцій є *промисловими ландшафтами*. В) Ландшафти, в яких об'єкти техногенного покриву

перестають функціонувати остаточно і безповоротно, вважаються *посттехногенними ландшафтами*.

Одразу після функціональної зупинки посттехногенні ландшафти зазнають впливу процесів ландшафтно-ї екологічної демутації. Класифікація фаз і підфаз демутаційних процесів посттехногенних промислових ландшафтів розроблена в роботі (Tyutyunnyk, 2021). Обґрунтовано виокремлення чотирьох, якщо включати і нульову, фаз демутації. В кожній з них, окрім нульової, розрізняється 3-4 підфази. Фаза 0: підприємство працює і промландшафт підтримується у функціональному стані. 1 – підприємство не функціонує, але й не є «повноцінною» руїною. У першій підфазі воно є зупиненим, але його функціональне відновлення можливе без зусиль. У четвертій підфазі технологічне обладнання пошкоджене безповоротно (зокрема розграбоване) і робота підприємства унеможливується. Упродовж всієї фази 1 промландшафт активно заселяється рослинністю, яка по відношенню до техногенних об'єктів поступово стає руйнуючим чинником. У фазі 2 промоб'єкт активно і безупинно перетворюється на руїну – руїний ландшафт. Тут також розрізняється чотири підфази – від початку активного формування руїного ландшафту до початку суцільного задерновування техногенних відкладів – *технолітів*, утворених при руйнуванні промоб'єктів. У фазі 3, що має три підфази, руїний ландшафт повністю освоюється природними процесами морфо-, педо- і фітоценогенезу, які на заключній підфазі обумовлюють формування стійкого і розвинутого ґрунтового-рослинного покриву з частковим витісненням рудералів зональними видами рослин.

В процесі проведення польових досліджень, котрі лягли в основу цієї статті, ми прийшли до висновку, що розроблену раніше класифікацію демутаційних фаз промислових пост-техногенних ландшафтів в окремих випадках слід доповнювати ще однією фазою – *індустріального сліду*, або фазою 4. Поняття індустріального сліду ми ввели і обґрунтували в статті (Tyutyunnyk, 2008), вивчаючи ландшафти в місцях розташування давніх гут Закарпаття. Виявляється, це поняття можна застосовувати і по відношенню до давніх промландшафтів інших виробництв. Фаза 4 індустріального сліду відрізняється від останніх підфаз фази 3 деякими важливими особливостями. Якої б глибокої демутації не зазнав посттехногенний ландшафт у фазі 3, його індикативні елементи (мікрорельєф, техноліти, рослини та ін.) залишаються автохтонними. У фазі ж 4 вони можуть бути переміщеними на ту чи іншу, але загалом невелику, відстань за межі території колишнього промландшафта. У фазі 3 посттехногенний ландшафт просто де мутує, тобто повертається до квазіприродного стану, а у фазі 4 він може перетворюватися у техногенний чи антропогенний ландшафт іншого типу (наприклад, територія колишнього промландшафта забудовується житловими будинками і перетворюється у селитебний ландшафт, або ж на ній виникає ландшафт садово-парковий). Зазвичай індустріальні сліди гарно приховані,

мало помітні, непрямі, можуть бути представленими ідеальними складовими ландшафту (топоніми, прізвища, виробничий сленг і фольклор тощо), інколи вимагають спеціальних методів вивчення (зокрема археологічного ґрунтознавства).

### 3. Результати

#### 3.1. Історія й історичні ландшафти

*Історичні ландшафти*, зокрема історичні техногенні і посттехногенні, що пов'язані із видатними історичними подіями, фактами, датами, іменами<sup>1</sup>. Історичні ландшафти можуть зчитуватися як тексти історичних подій і часу. Погляд на ландшафт як на текст сьогодні в ландшафтознавстві, особливо в культурно-ландшафтознавстві, набув великої популярності і залюбки вживається. Але тут є один нюанс. Образно кажучи, історичний ландшафт можна зчитувати як зліва направо, так і справа наліво, тобто або виявляючи той історичний запис, що міститься у ландшафті; або, навпаки, пов'язуючи з тими чи іншими історичними фактами такі-то і такі-то ландшафти. Обидва підходи плідні, не виключають, а доповнюють один одного, і переважне застосування першого або другого пов'язане швидше із зручністю методики в кожному окремому випадку, аніж з якимось принциповими методологічними моментами. В будь-якому випадку результат має бути дзеркально однаковим: ландшафт/подія – подія/ландшафт. Керуючись суто методичною зручністю, ми обираємо другий підхід. Отже, починати потрібно з дослідження відповідних історичних подій, а закінчувати виокремленням і характеристикою відповідних їм історичних ландшафтів, їхніх елементів і компонентів.

Уранову історію України, на наш погляд, слід починати з далекого 1910 року. Тоді Є. С. Бурксером **в Одесі була заснована перша в московській імперії радіологічна лабораторія**. В ній визначалася радіоактивність підземних вод, ґрунтів, мулу, гірських порід. В 1924 році радіологічна лабораторія була реорганізована в Хіміко-радіологічний інститут, а від 1932 року стала Українською філією Державного інституту рідкісних металів (УкрДІРІДМЕТ). В 1941 році УкрДІРІДМЕТ разом з дослідним заводом В був евакуйований в Таджикистан, в селище Табошар, біля якого знаходилося найбільше з відомих на той час в СРСР родовище уранових руд. **На базі українського підприємства і таджикських рудників у 1941-1942 рр. було засновано перше в СРСР уранодобувне і уранопереробне підприємство – комбінат № 6,**

<sup>1</sup> Таке трактування історичного ландшафту є зручним для даної роботи, але дещо звуженим. Історичний ландшафт може формуватися і у контексті тривіального історичного побутування – просто з огляду на поважний вік (наприклад, урбанізовані ландшафти історичних центрів міст). Нюансування поняття історичного ландшафту можна удосконалити, вводячи поняття меморіального ландшафту, але теоретизування на цю тему пов'язані зі ще більш складною проблемою історичного пам'яткознавства: з якого моменту старі об'єкти слід вважати пам'ятками історії? Заглиблюватись в історико-пам'яткознавчі дискусії в цій статті ми не маємо можливості.

в майбутньому Ленінабадський гірничо-хімічний комбінат, нині комбінат «Східрідмет» (Antonovich et al, 2024; Dorokhova, 2022; Building ..., 2024; Rakhimova, 2017; Uranium of Ukraine ..., 2006).

Після звільнення від німців європейської частини країни уранові розробки стали доступними ще на трьох, відомих з довоєнних часів, рудниках: сланцевому руднику біля естонського міста Сілламає і на залізорудних розробках Жовта Річка та ім. 1-го Травня. Останній спочатку звався Харінським рудником, потім Тернівським, а згодом отримав назву рудник ім. 1-го Травня (який місцеві мешканці називали Первомайкою). Розміщувалося родовище біля селища Веселі Терні на північ від Кривого Рогу (сьогодні це селище входить до складу міста). Залізорудні родовища Жовта Річка (біля міста Жовті Води – в майбутньому уранової столиці України) і Первомайка вже давно підозрювали в ураноносності. **Радіоактивність зразків залізних руд з Жовторіченського і Тернівського рудників у 1920-1922 рр. відкрив січесьлавський геолог Й. І. Танатар<sup>2</sup>**. Це дало привід геологам М. Г. Світальському (з 1932 р. віце-президент АН УРСР, у 1937 р. розстріляний) і С. П. Александрову розробити кошторис для опробування на уран залізистих кварцитів Первомайки і Жовтої Річки. Але пошук промислових запасів уранової сировини розпочався лише у травні 1944 р. **В 1945 р. роботами криворізьких геологинь Л. В. Іванової та А. К. Ліхтар наявність промислових запасів урану на руднику ім. 1-го Травня була доведена; а в 1946 році геологи Я. М. Белєвцев, І. Г. Усенко, П. Т. Масляков довели існування промислових запасів уранових руд на Жовтій Річці** (Bakarzhiev, Lysenko, 2018; Genetic types ..., 1995).

У 1946 р. на Первомайці почалися розвідувальні і підготовчі гірничі роботи. В тому ж році було прийнято урядову постанову про видобуток на руднику 5700 т залізної руди. У 1947 р. намічений обсяг руди видобувається<sup>3</sup> і вона постачається в Дніпродзержинськ на Дніпровський металургійний завод, де **в доменній печі № 6 (ДП-6) проводиться перша експериментальна плавка з метою виробити шлак із високим вмістом урану**. Та плавка дала 3200 т чавуну і 1500 т шлаку з вмістом урану 0,4 % (що в перерахунку на чистий метал склало 5,8 т урану)<sup>4</sup>. У 1948 р. на Первомайці було

<sup>2</sup> Наявність радіоактивних руд на Табошарському родовищі була відкрита в 1925 році, тоді рудник почали вважати перспективним для видобутку радію.

<sup>3</sup> Відставання Жовторіченського руднику від Первомайки в уранодобувній «гонці» пояснюється тим, що в 1947 році його копальні перебували в аварійному стані, були затоплені (Uranium of Ukraine ..., 2006).

<sup>4</sup> «На Первомайському родовищі уранова мінералізація повністю локалізована в промислових залізних рудах. Залізні руди карбонат-гематит-магнетитового складу з вкрапленнями мінералів урану водночас є урановими рудами. Уранові руди мають простий склад: залізорудні мінерали (30-75%), карбонати (20-50%) і силікати (лужні амфіболи, егірін, слюди). Оскільки вміст заліза в уранових рудах перевищує 45%, вони розроблялись як комплексні залізо-уранові» (Genetic types ..., 1995). Звідси випливає необхідність не лише гідрометалургійної переробки уранової руди, але й попередньої її пірометалургійної переробки, яку проводили на шостій домні ДМЗ і що є нехарактерним для уранопереробної промисловості.

заплановано видобути таку кількість залізної руди, яка б містила 85 т урану (Bakarchiev, Polovinkin, Tuktarova, 2015; Uranium of Ukraine ..., 2006).

Довоєнні залізорудні копальні Первомайки, на яких в 1947-1948 рр. постало українське уранодобування, звалися шахта «Д», шахта № 2-біс, шахта № 4-біс і шахта № 6 (рис. 2). Згодом другу і шосту шахти об'єднали в одну і дали їй чудернацьке ім'я «2/6». В літературі є дуже скупі вказівки про уранодобування на шахті 4-біс, але про неї навіть ветерани Первомайки мало що знають. Також в літературі можна зустріти твердження, що уранову сировину добували в копальні «Червоний Партизан», але це помилка, в ній залізо-уранові руди не розробляли. Помилковим є також твердження Г. І. Денисика, І. П. Козинської (Denisyk, Kozynska, 2015, р. 115) і Ю. Ткаченка (Tkachenko, 2020, р. 113), про те, що залізо-уранову руду видобували на шахті «Першотравнева» – там її також не добували. Ймовірно, автори просто сплутали шахту «Першотравнева» (котра дійсно існувала і донині закинута, існує) з рудником Першотравневим.

Точну дату побудови перших шахт Первомайки, на яких у 1946-1947 рр. почали видобувати залізо-уранову руду, тобто шахт Д, № 2-біс, № 4-біс і № 6, поки що встановити не вдалося, але, швидше за все, це були 1930-ті рр. На топокарті від 1928 р., яка зберігається в Тернівській філії Криворізького історико-краєзнавчого музею, гарно проглядається велика кількість шурфів,

позначених « $\times$ ». Вони були рясно закладені на околицях Тернівського рудника і непрямі свідчили про підготовку до шахтобудівних робіт. Перед війною копальні Первомайки видавали на гору залізну руду. Про це свідчить, зокрема, той факт, що німці під час окупації всю видобуту на Первомайці залізну руду вивезли до Німеччини (Melnyk, Steblina, 2019; Uranium of Ukraine ..., 2006). У 1950-х роках на руднику ім. 1-го Травня були закладені ще дві уранові копальні – шахта «Об'єднана» і шахта «Північна Вентиляційна». Разом з шахтами «Д» і № 2/6 вони склалися у підприємство «поштова скриня № 28», пізніше «п/с № 30», котре було виведене зі складу Первомайського рудоуправління і підпорядковане жовтоводському комбінату № 9 – майбутньому Східному ГЗК (заснованому в 1951 р.).

В 1968 р. промислові запаси уранової сировини на Первомайському родовищі були відпрацьовані, повоєнні копальні повернулися в Первомайське рудоуправління і деякий час працювали як залізорудні (Genetic types..., 1995), а на проммайданчиках шахт «Д» і № 2/6 організували невеличкі дробарки і збагачувальні лінії. Остаточо копальні колишнього уранового куца Первомайки зачинили і занедбали в другій пол. 1990-х рр.

Українська уранова сировина видобутку 1947-1948 рр. для радянського атомного проекту була надзвичайно важливою. Для запуску та функціонування



1а. 1920-ті рр.: будинок Технічної спілки в Одесі, де розмішувалися радіологічна лабораторія / Українська філія Державного інституту рідкісних металів (УкрДІРІДЕМ)  
1920s: the Technical Union building in Odesa, which housed the radiological laboratory / Ukrainian branch of the State Institute of Rare Metals (UkrDIRIDEM)



1б. Сучасні фото: залишки гірняцьких гуртожитків, де мешкали робітники комбінату – полонені німці.  
Modern photos: the remains of the mining dormitories, where workers of the plant (Germans PoW) lived.



залишки естакади і відвали порожньої гірської породи та забалансових руд уранових копалень  
the remains of the overpass and dumps of empty rock and off-balance ores of uranium mines

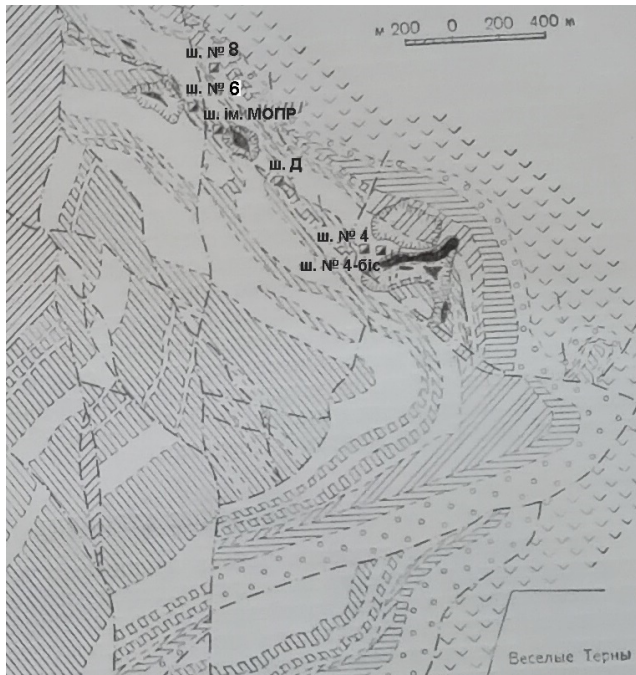
**Рис. 1.** 1а – лабораторія Бурксер на початку ХХ ст., зародок Табашарського комбінату №6 – первістка радянської уранової промисловості; 1б – залишки рудника комбінату № 6 в наші дні біля міста Істіклол (Республіка Таджикистан).

**Fig. 1.** 1a – Burkser's laboratory at the beginning of the 20th century, the embryo of Tabosharsk Kombintau No. 6 – the firstborn of the soviet uranium industry; 1b – the remains of the combine's mine No. 6 today near the city of Istiklol (Republic of Tajikistan).

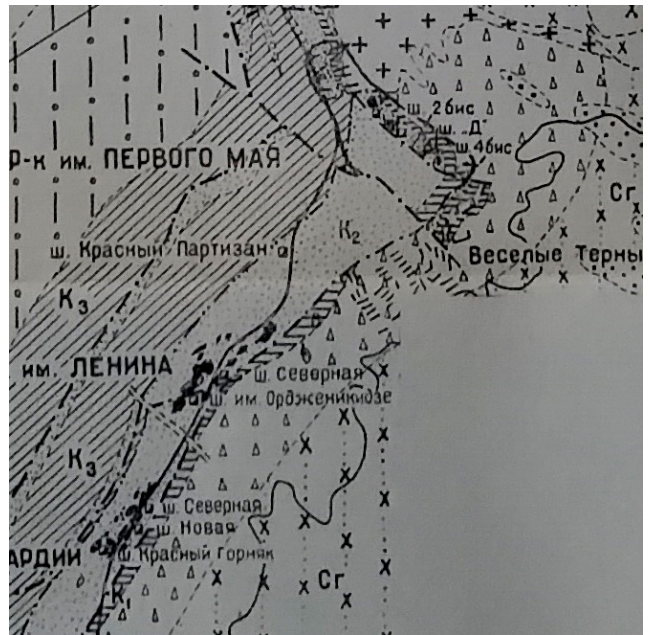
перших радянських атомних реакторів Ф-1 (експериментальний) і А-1 (промисловий) з наступним виробництвом плутонію-239 для атомної бомби використовувались уранові руди різних типів – з рудників Табшар (Таджикистан), Сілламяе (Естонія), ім. 1-го Травня (Україна), а також трофейні уранові матеріали, які забрали у німців (How young ..., 2015; Rakhimova, 2017; Uranium of Ukraine ..., 2006). Чимало уранової сировини надійшло також із рудників окупованої Німеччини, Чехословаччини і навіть Румунії. Якщо піднімати питання історичної справедливості, в яку

сьогодні так полюбляють бавитися ідеологи путінізму, то без українського, таджицького і естонського урану московії в 1949 році виготовити атомну бомбу було би – зась!

Переробка уранової сировини в Україні почалася, як вище зазначалося, з експериментальної плавки залізо-уранових руд на ДП-6 ДМЗ в 1947 р. Технологію відпрацювали і **75 років тому, в березні 1949 р. дали першу промислову плавку «первомайської» залізо-уранової руди.** Ураномісний шлак (0,5÷1,5 % U) було направлено в щойно (1948 р.) і недалеко від

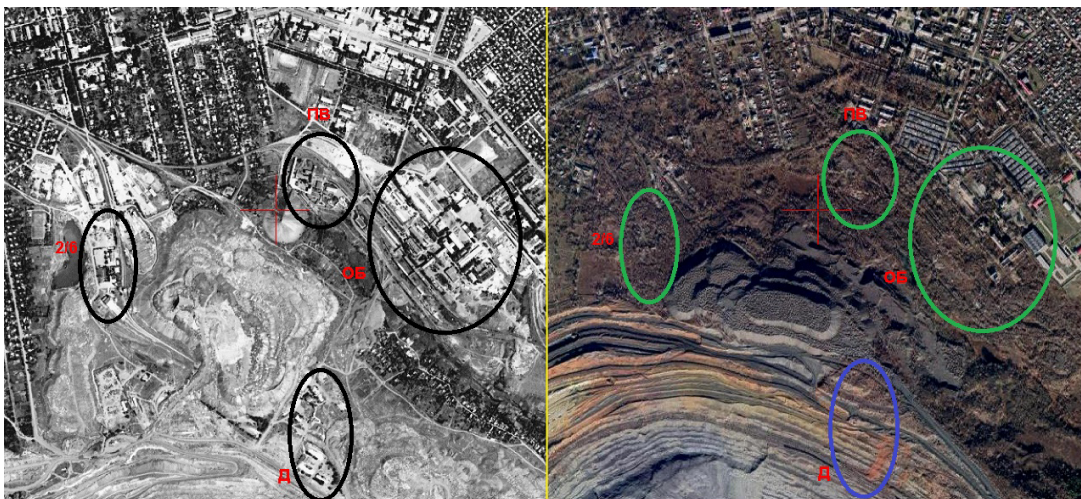


1951 р. (Belevtsev, 1951)



1955 р. (Belevtsev, 1955, р., врізка – рис. 48)

за Я. М. Бєлєвцевим  
according to Ya. M. Belevtsev



1972 р.

2021 р.

**Рис. 2.** Розташування колишніх уранових копалень і їхніх теперішніх руїн на руднику ім. 1-го Травня біля селища Веселі Терни в північній частині Кривого Рогу. На кресленнях вгорі шахта № 2/6 позначена як шахта № 6 у 1951 р. (схема ліворуч), і як шахта № 2-біс у 1955 р. (схема праворуч). На космоснімках внизу ПВ – шахта «Північна вентиляційна», ОБ – шахта «Об'єднана»; синім еліпсом показане місце колишнього розташування зритої Первомайським кар'єром копальні «Д».

**Fig. 2.** The location of the former uranium mines and their current ruins at the mine named after May 1 near the village of Veseli Terny in the northern part of Kryvyi Rih. In the drawings above, the mine № 2/6 marked as the mine № 6 in 1951 (diagram on the left), and as the mine № 2-bis in 1955 (scheme on the right). On the space photos below, ПВ – the “Northern ventilation” mine, ОБ – the “United” mine; The blue ellipse shows the former location of the mine “D”.

ДМЗ збудовані цехи заводу № 906 – майбутнього ПХЗ. Тут шлак подрібнювали, переробляли методами гідрометалургії і в кінцевому результаті виробляли діоксид урану (Korovin, 2017, р. 114) і діуранат амонію (Korovin, 2017, р. 112). **В грудні 1948 р. на ПХЗ отримали перші експериментальні зразки уранового концентрату, а промислове його виробництво запрацювало в березні 1949 р. – 75 років тому.** Далі шлях перетворення «інтернаціональної», але не російської, уранової продукції в ядерний заряд був таким: а) виготовлення з  $UO_2$  металевих урану на заводі № 12 (сьогодні з-д Елмаш) в підмосковному місті Електросталь; б) опромінення металевих брусків  $^{238}U$  нейтронами у промисловому реакторі А-1 на комбінаті № 817 (згодом НВО «Маяк») в уральському місті Озерськ (тоді Челябінськ-40) з метою напрацювання металевих  $^{239}Pu$ ; в) виготовлення з отриманого плутонію ядерного заряду і власне атомної бомби на підприємстві КБ-11 в місті Сарові (Арзамас-75, Арзамас-16); г) підлив ядерного заряду на полігоні біля Семіпалатинська в Казахстані 29 серпня 1949 р.

### 3.2. Локалізація історичних об'єктів уранової промисловості України

З викладеного випливає, що історичні техногенні і посттехногенні ландшафти уранової промисловості, започаткованої на території України, мають зосереджуватися в таких місцях: 1а) в місті Одесі – там, де знаходилася лабораторія Бурксера – УкрДІРІДМЕТ; 1б) на руднику Табошар біля міста Істіклол в республіці Таджикистан; 2) на руднику ім. 1-го Травня біля мікрорайону Веселі Терни, м. Кривий Ріг; 3) на території металургійного комбінату Каметсталь в м. Кам'янському; 4) на території Придніпровського хімічного заводу в тому ж місті. Стисло розглянемо ці пам'ятні локації.

1. Лабораторія Бурксера – УкрДІРІДМЕТ донедавна розміщувалися в будинку Російського технічного співтовариства (рис. 1а), що знаходився в Одесі за адресою: вул. Князівська, 1а (Building ... , 2024).

«Масонський дім» – так ще називалася ця споруда – довгий час існував як цінна архітектурна пам'ятка: він був збудований в 1887-1892 рр. знайомими одеськими архітекторами С. Я. Меснером і О. Й. Бернардацці. Але в 2012-2016-х роках з вини місцевих пам'яткоохоронних бюрократів був занедбаний і зруйнований (Collapse ..., 2024). **Зникла не лише цінна архітектурна пам'ятка, але й пам'ятка історії науки і техніки нашої Вітчизни.** Сказати на адресу винуватців цього «ганьба!» – мало що сказати... Сьогодні місце розташування Масонського дому знаходиться в межах забудови тієї частини Одеси, яка входить до буферної зони історичного ареалу міста, внесеного у список Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО. В ландшафтному відношенні – це типовий селитебний ландшафт центральної частини міста. Він сам по собі може на всіх підставах вважатися історичним, навіть незважаючи на те варварство по відношенню до пам'яток історії і культури, якого вони зазнали від чинуш-пам'яткошкідників.

Зі зрозумілих причин, ми не змогли в польових умовах спостерігати гірничо-промислові і промислові ландшафти таджикостанського Табошара, у народженні яких провідну роль зіграв Український ДІРІДМЕТ. Ілюстрації, що подані на рис. 1б, взяті з Інтернету, дають деяку уяву про цю транскордонну українсько-таджицьку уранову локацію.

2. Локалізації уранових шахт Первомайки в їх первинно-топонімічному вигляді ми віднайшли лише на геологічних картосхемах, складених Я. М. Белєвцевим в 1951-1955 рр. (рис. 2). Старі шахти «Д», № 2/6» і новіші повоєнні «Об'єднана» і «Північна Вентиляційна» уранові копальні та їхні сучасні руїни ідентифікуються також на космоснімках різних років (рис. 2).

3. Локалізація шостої доменної печі ДМК за станом на 1974 рік показана на рис. 3. У 2021 році найменших залишків ДП-6 на території меткомбінату, як це гарно видно на космоснімку, вже не існувало.

4. Локалізацію історичних гідрометалургійних цехів Придніпровського хімічного заводу ми пропонуємо читачеві дослідити самостійно, користуючись



Рис. 3. Шоста доменна піч на Дніпровському металургійному комбінаті в 1974 р. (ліворуч, у чорному колі) і місце її колишнього розташування станом на 2021 р. (праворуч, зелене коло), м. Кам'янське.

Fig. 3. The sixth blast furnace at the Dnipro metallurgical plant in 1974 (on the left, in the black circle) and its former location as of 2021 (right, green circle), Kamianske.

відповідними аерокосмічними сервісами платформи Google. Шукати перші уранові цехи ПХЗ слід так: а) місто Кам'янське; б) на північ від перетину проспекту Аношкіна з вулицею Другою заводською; в) вулиця «2-а заводська» – назва зупинки 3-го трамваю, що прямує по пр. Аношкіна вглиб промзони південної частини Кам'янського.

### 3.3. Техногенні, посттехногенні, антропогенні ландшафти-первістки українського урану

Промисловий ландшафт Каметсталі, що вмщував ДП-6, є функціонуючим, але сама шоста домна з меткомбінату зникла. Втім, у вигляді ідеального геосимулякру і цілком матеріального антропогенного ландшафту вона продовжує своє існування. Промландшафт ПХЗ у функціонуючому стані зберігся подекуди. Загалом проммайданчик заводу в більшості локацій занедбаний, техногенні ландшафти перетворилися на посттехногенні, що знаходяться на різних ступенях екологічної демутації. Ландшафти проммайданчиків уранових копалень Первомайки повністю занедбані, більшою частиною геть зруйновані – всі посттехногенні ландшафти перебувають на відносно просунутих стадіях екологічної демутації.

**ДП-6 і промландшафт ДМК.** Аналізуючи різновікові космознімки з сервісу <http://OldMaps.dp.ua>, бачимо, що шосту домну ДМК добре видно на КЗ від 1974 р., а на КЗ 2021-го року на тому місці, де вона була, є лише галявина (рис. 3). Згідно відомостей, отриманих нами від ветерана праці ДМК Є. М. Потапенка, доменну піч № 6 демонтували швидко – впродовж 2-х місяців у 1980 році (офіційні матеріали щодо цього довгий час були засекреченими, не дуже оприлюднюються вони і зараз).

Зникнення ДП-6 з промислового ландшафту меткомбінату зовсім не означало фізичного применшення останнього. Він продовжував і продовжує існувати і несе в собі пам'ять про ДП-6 у вигляді своєрідного *промислово-ландшафтного палімпсесту*. Що ж до фізичних решток шостої домни, то вони у вигляді фрагментів будівельних конструкцій, футеровки, металевих частин «переїхали» на відстань 14-ти км від ПХЗ на південний схід, поближче до с. Таромського, і тут, поруч з могильником радіоактивних відходів хімзаводу База-С, утворили свій самостійний антропогенний *ландшафт-могильник*, який зветься «ДП-6», що є вже топонімом. Тут рештки легендарної домни, загальним обсягом 40 тис. т, поховані в земляних траншеях глибиною 2-2,5 м і загальною площею 200×32 м. Поверх них насипаний суглинок і створено гумусовий шар, які в місцевому рельєфі утворюють пласке плато правильної форми заввишки ~1,5 м (Ткаченко, 2020). Облаштування могильника було завершено в 1982 р.: за роки що спливли, він гарно задернувався і на ньому оселилися дерева і чагарники (Ткаченко, 2020). Можна сказати, що сьогодні «могила» шостої домни ДМК зовні являє собою досить звичайний антропогенний ландшафт індустриального походження, котрий зазнає активного впливу процесів екологічної демутації і вже гарно ними освоєний. Особливістю цього ландшафту є те, що над і

в «могили» домни рясніють численні бекерелі-кюри... Але після Чорнобиля то є мало варті уваги дрібниці. Цікавіше визначитись з тим, як до посттехногенної геосистеми з топонімом «ДП-6» ставитися в історико-ландшафтознавчому контексті?

В списку Всесвітньої культурно-історичної спадщини ЮНЕСКО є цікавий об'єкт виробничої спадщини – невеличке норвезьке містечко Рьорос, що було з XVII ст. по 1975 р. центром північно-європейської кольорової металургії. Окрім оригінального індустриального середовища, ландшафтних текстів і палімпсестів побутування давніх металургів, пам'яток науки і техніки, до елементів індустриальної спадщини віднесені ... давні мідеплавильні шлакові відвали. Норвезький фахівець з культур-ландшафтознавства М. Джонс назвав їх «забрудненням навколишнього середовища, що охороняється» (Cultural landscape ..., 2004). Вважаємо, що подібного відношення заслуговує і ландшафт-могильник ДП-6. Можливо, така позиція і виглядає радикальною, але своя внутрішня логіка в ній є, тим більше, що з плином часу відношення людей до речей та явищ як історії, так і докільля, змінюються.

Дещо по-іншому, але не менш цікаво в контексті історії сьогодні, виглядає актуальний промландшафт Каметсталі. По відношенню до ДП-6 він є своєрідним палімпсестом і геосимулякром. По-перше, промландшафт нинішньої Каметсталі зберігає топічну пам'ять про ДП-6: вона існувала саме в ньому, а не будьде-інде. По-друге, до фізичного топосу *індустріальної пам'яті* додаються ще й нині циркулюючі по місту легенди, «страшні» чутки (а вряди-годи і факти), «моторошні» радіаційні подробиці, пов'язані з плавками залізо-уранових руд і виробництвом урановмісних шлаків... Шлаками шостої домни, з яких виготовляли будматеріали, робили відсіпки доріг, що й до сьогодні лякають населення Кам'янського. По-третє, індустриальний слід і образ домни № 6 відсилає нас до образу *доменного ландшафту* (таке поняття ми ввели і обґрунтували в (Туутуунік, 1991). Каметсталі. Її сучасна промзабудова на певних ділянках являє собою унікальний геосимулякр. Ландшафти цих ділянок, на додачу до історичної цінності, виявляється є ще й ліричними *асоціативними ландшафтами* (в сенсі асоціативного ландшафту за Ю. О. Веденіним (Cultural landscape..., 2004). Доменний ландшафт Каметсталі містить в собі непересічні алюзії й мистецькі образи, що чітко пов'язані з кінематографом. Вони відбилися в кадрах кінокартин, завдяки яким зниклу піч і сьогодні можна побачити (рис. 4). В доменному ландшафті Каметсталі шоста піч слугувала мізансценою, в якій в 1975 році розгорталася подія художнього фільму «Приймаю на себе» (реж. О. С. Орлов), а раніше, в 1957 році – кінокартини «Висота» (реж. О. Г. Зархі). Перша стрічка мало відома і має досить виразне пропагандистське спрямування, хоча і задумана як історична. Другий фільм дуже відомий, хоча і не без радянського агітпропу, але глибоко ліричний, талановито поставлений, гарно знятий і зіграний чудовими кіноакторами, а також, що з культур-ландшафтознавчої точки зору не зовсім звично,

є справжнім гімном естетиці і *красі індустріального пейзажу* (рис. 4), про що один з головних героїв навіть монолог промовляє.

**Ландшафтний реквієм по ПХЗ.** До початку ХХІ ст. Придніпровський хімічний завод був відомим, але засекреченим підприємством. Ще б пак! В роки свого розквіту (кінець 1960-х – початок 1980-х) він щорічно давав до 5 тис. т уранових концентратів – 65 % всього їх виробництва в СРСР і був для країни провідною технологічно-сировинною базою гонки ядерного озброєння. Тут з самого початку перероблялася уранова сировина не лише з родовищ Союзу (насамперед Криворіжжя і Жовтої Річки), а з чи не всієї Європи. Вироблялися рідкісні метали і їхні сполуки (Zr, Sc, TR та ін.), високоенергетичні (Nd/Fe/B) магніти, штучне дорогоцінне каміння, іонно-обмінні смоли, сорбенти, флокулянти, галуни, люмінофори, добрива, було налагоджене навіть виробництво золота, що в 1997 р. дало непоганий результат. Придніпровський хімзавод був потужним і гранично наукоємним підприємством хімічної і гідрометалургії СРСР, потім України. І раптом в 2000-х рр. – крах: швидкий і майже повний. Руйнацію ПХЗ на початку ХХІ ст. можна порівняти хіба що з ядерним і стратегічним роззброєнням України, котра тоді романтично сподівалася на утвердження в сучасному світі норм демократії та міжнародного права, а сьогодні через свої наївні сподівання віддає життя своїх найкращих синів і доньок.

Нині історія колись надсекретного ПХЗ гарно висвітлена (Korovin, 2017; Kuzov, 1997; Tkachenko, 2020), ми не будемо переказувати літературні відомості про економічний, технологічний, соціальний,

адміністративно-правовий занепад підприємства. Поглянемо на його фізичні і техногенно-ландшафтні аспекти.

Промландшафт сьогоdnішнього ПХЗ має ту особливість, що є водночас і техногенним – функціонуючим, і занедбаним посттехногенним в різних фазах та підфазах демуатації. На проммайданчику підприємства досі існують невеликі виробництва, котрі заводську забудову місцями тримають у функціональному стані (зокрема Дніпровський завод азотних добрив). Але чимала частина промислових та екстрактивних ландшафтів проммайданчика ПХЗ з функціонального стану виведена. Етапи поступового закидання підприємства в 2000- та 2010-х рр. і пов'язану з цим деградацію заводських ландшафтів можна наочно простежити, використовуючи різночасові КЗ згадуваного вище ресурсу <http://OldMaps.dp.ua>. Але в тексті статті ми цього робити не будемо, запрошуючи читача, звернутися до вказаного ресурсу самостійно і особисто віртуально помандрувати по території підприємства, яким воно було в різні роки і десятиліття. Це не складно, слід лише пам'ятати, що на космоснімках територія промзабудови заводу (а це 600 га і понад 150 промспоруд, об'єктів, конструкцій), частково його хвостосховищ окреслюється приблизно так: пр. Аношкіна – вул. Чайковського – вул. Широка – вул. Кодацька. Крайній південно-західний кут зазначеного ареалу (на космоснімку орієнтир – ООО «Баріон») є місцем історичним: тут розміщені цехи, що першими в 1949 р. переробили на концентрат урановмісний шлак шостої домни. На рис. 5 показані фізичні стани історичної «уранової» промзабудови в різні часові періоди останніх 30-ти років.



**Рис. 4.** Індустріальна краса ландшафту Дніпровського металургійного заводу і шоста домenna піч – окрема ліворуч на середньому плані (кадр з кінофільму «Висота»).

**Fig. 4.** The industrial beauty of the landscape of the Dnipro Metallurgical Plant and the sixth blast furnace – separate on the left in the middle plan (frame from the «Height» movie)



5-1. Цех працює: ліворуч, задній план  
The Workshop in operation: left, background



5-2. Цех недавно зупинився  
The Workshop has recently stopped

1995-й (Kuzov, 1997, p. 113)



5-3. Споруда 1, склад уранової сировини  
Building 1, composition of uranium raw materials



5-4. Споруда 2Б, цех екстракції урану  
Building 2B, uranium extraction workshop



5-5. Споруда 6, цех з вилучення урану  
Building 6, workshop for extraction of uranium

Кінець 2010-х (Tkachenko, 2020)  
The end of the 2010s



5-6. жовтень 2023-го (фото авторів)  
October 2023 (photo by authors)

Рис. 5. Зміна стану уранових цехів Придніпровського хімічного заводу за останні 30 років.  
Fig. 5. Transformation of the uranium workshops of the Prydniprovsk Chemical Plant over the past 30 years.



Частини та фрагменти ландшафтів нинішнього Придніпровського хімічного заводу перебувають у фазах демутації 0, 1 і 2. В нульовій фазі маємо промландшафт функціонуючих підприємств, які подекуди використовуючи заводську забудову, інфраструктуру дещо підтримують у функціональному стані (5-1). На початкових підфазах фази 1 реанімувати деякі цехи ще можливо (5-2), але на прикінцевих вже ні (5-3, 5-4, 5-5, 5-6). Масово розвивається рудеральна рослинність (5-3, 5-4, 5-5). Подекуди ділянки «загального» промландшафту ПХЗ вступили в у фазу 2, на що вказують розсипи і купи кам'янистого й іншого техногенного матеріалу (техноліти), які виникають в процесі руйнації споруд. Більш того, на КЗ 2021-го р. можна бачити, що деякі цехові споруди зазнали повної руйнації і на в місцях їх розташування почав формуватися типовий для фази 2 ландшафт кам'янистого бедленду. Його, а також ще вцілілі цехові споруди, активно освоює деревинно-чагарникова рослинність. Переважають рудерали, але також присутні і зональні види (наприклад, береза). Як видно з рис. 5-6, на дахах закинутих цехів оселяються дерева і чагарники – на початку фази 2 один з найважливіших факторів руйнування техногенного покриву.

**Природа повертає своє.** Про уранові шахти *Первомайки*, на відміну від ДП-6 і ПХЗ, навпаки, мало що відомо. Публікацій обмаль, вони фрагментарні. Історичні моменти, які вдалося встановити – викладено вище. Головну роль у відновленні подій уранодобувного етапу історії рудника ім. 1-го Травня відіграли спогади ветерана праці, гірника-маркшейдера О. А. Пензіна. Завдяки йому вдалося ідентифікувати місця знаходження копалень «Д», № 2/6, «Об'єднаної» і «Північної Вентиляційної» (рис. 2). Стан техногенних і пост-техногенних промислових ландшафтів копалень уранового «куща» *Первомайки* неважко оцінити, порівнюючи КЗ від 1972-го і 2021-го років.

Проммайданчик шахти «Д» в 1970-х – 2000-х рр., невпинно руйнувався північним бортом *Первомайського кар'єру*, що розширювався, і засипався його відвалами. Але в процесі «поглинання» кар'єром проммайданчика копальні, техноліти і фрагменти технологічних споряджень, які утворювалися при руйнації шахти «Д», переміщувалися з масами розкритих і порожніх порід і переміщувалися в північнішому напрямку: формувалися алохтонні індустріальні сліди фази 4. На не зритих фрагментах північних ділянок колишньої шахти і її старих відвалів весною 2024 р. ми віднайшли артефакти, які свідчать про існування цієї копальні в межах окресленої на рис. 2 території: напівзасипані розкритими породами *Первомайського кар'єру* і порожніми породами шахти троси, що використовувалися в підйомному шахтному обладнанні, рештки бетонних брил і невеликі скупчення цегляного матеріалу – залишки шахтних споруд, а також заритий в корінний схил балки старий бетонний фундамент опори якоїсь виробничої естакади. Все це ми вважаємо **індустріальними слідами, залишеними копальнею «Д»**, причому частина з них явно переміщена в купі з

відвальними масами, а це свідчить що ми стикаємося саме з фазою 4.

Щодо іншої історичної уранової копальні – № 2/6, то її автохтонні залишки збереглися набагато краще, аніж сліди шахти «Д». Вони були досліджені нами восени 2023-го, показані на рис. 6. Історичний посттехногенний ландшафт шахти 2/6 знаходиться у різних підфазах демутаційних фаз 2 і 3. Здебільшого це майже непролазні хащі (6-3, 6-4), сформовані рудералами і синантропами (особливо *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Populus nigra*), але на ділянках фази 3 – також вже і зональними видами. Колишній промландшафт копальні рясно поцяткований різноманітними формами мікрорельєфу антропогенно-техногенного походження. На багатьох ділянках спостерігаються більш чи менш чіткі, виразні та значні за площею виходи на денну поверхню технолітів (6-1). Зустрічаються навіть майже неушкоджені залишки інженерних споруд (6-2).

Посттехногенні ландшафти, що сформувалися на колишньому проммайданчику шахти № 2/6, якщо їх умовно прирівнювати до таких класифікаційних і структурних виокремлень класичної морфології ландшафту як фація, можна було б визначити так:

- ландшафти (фації) кам'янистого бедленду в стадії розвинутої демутації;
- бутового бедленду в стадії розвинутої демутації;
- крупнобутового бедленду дрібно-горбисті в стадії початкової демутації;
- кам'янистого бедленду дрібно-горбисті в стадії глибокої демутації;
- землісто-дрібно-кам'янистого бедленду дрібно-горбисті в стадії глибокої демутації;
- кам'янисто-землістого бедленду дрібно-горбисто-рівчаківі в стадії глибокої демутації;
- землісто-кам'янистого бедленду пасмово-рівчаківі в стадії глибокої демутації;
- котлованно-заглибленні на початкових і просунутих стадіях демутації;
- ямкові в стадії початкової демутації.

Номенклатура ландшафтів (фацій) і стадій демутації розроблена в роботі (Tyutyunnyk, 2021). Домінантами і субдомінантами в деревно-чагарниковому покриві демутуючих пост-техногенних ландшафтів колишньої шахти № 2/6 є такі види: клен американський, робінія псевдо-акація, берест, свидина, абрикоса, тополя чорна, ясен, дика груша, дика яблуня, клен-явір, хміль (6-4), шипшина та ін. (види перераховані в порядку зменшення їх трапляння і проективного покриття).

Продираючись через «джунглі» рослинної буйності на проммайданчику колишньої копальні № 2/6 – уречевленого свідка перших кроків української уранодобувної слави, з одного боку, наочно бачиш і майже фізично відчуваєш, що значить вираз «природа повертає своє»; а з іншого, – теж майже фізично, – розумієш всю глибину латинського прислів'я «*Sic transit gloria mundi*». Та водночас виникає і почуття обов'язку перед славою **перших українських ураноробів**: обов'язку зберегти й передати їхню славу нащадкам.



6-1. Підвальне приміщення будівлі підйомної машини  
The basement of the building lifting machine



6-2. Протипожежний басейн  
Fire protection pool



6-3. Залишок конструкції ствола шахти  
The rest of the structure of the shaft of the mine



6-4. Зона контакту проммайданчика копальні з сучасними відвалами  
Первомайського кар'єру (на задньому плані)  
The contact zone of the mining site with the modern dumps of the  
Pervomaisky quarry (in the background)

Рис. 6. Фрагменти історичного посттехногенного ландшафту уранової копальні № 2/6 станом на листопад 2023 р. (фото авторів).  
Fig. 6. Fragments of the historical post-technogenic landscape of the uranium mine № 2/6 as of November 2023 (photo by authors).

#### 4. Висновки

1. Історичні ландшафти – ландшафти, що пов'язані з важливими подіями історії людства на локальному, регіональному і всесвітньому рівні (ці події в них відбувалися і їх формували). Історія виробництва, науки і техніки – невід'ємна частина загальної історії, а значить ландшафти, пов'язані з поступом матеріально-виробничої культури людства, є також історичними і відносяться до культурно-історичної спадщини. 2. Початок видобування і переробки урану в Україні є історичною подією не лише регіонального, а й всесвітнього значення, оскільки ними в значній мірі визначалися такі моменти історії другої пол. XX ст. як створення радянської ядерної бомби, гонка озброєнь, становлення атомної енергетики. 3. Видобування і переробка уранової сировини сформували промислові й гірничо-промислові ландшафти уранових копалень, які після вичерпання ресурсу і зупинки виробничого процесу перетворювалися в посттехногенні ландшафти, ландшафти індустриальних руїн ті індустриальні сліди.




Всі вони є важливими об'єктами індустриальної спадщини. 4. Історично найцінніші ландшафти і їхні елементи пов'язані з першими кроками уранодобування в Україні. Вони сформувалися на півночі Кривбасу у довоєнний період як залізорудні, а у другій пол. 1940-х рр. працювали як уранові. Це копальня № 2/6, «Д» і № 4-біс на руднику ім. 1-го Травня біля селища Веселі Терни. Первістками вітчизняної уранопереробки були доменна піч № 6 в промландшафті Дніпровського металургійного заводу і уранові цехи Придніпровського хімічного заводу в колишньому Дніпродзержинську. 5. Історичні промислові посттехногенні ландшафти початку українського уранодобування і уранопереробки нині перебувають в різних фазах ландшафтно-екологічної демуатації, починаючи з не функціонуючих, але відносно гарно збережених виробничих об'єктів (уранові цехи ПХЗ), і закінчуючи ледь помітними та індустриальними слідами на глибоких стадіях посттехногенної ландшафтно демуатації (копальня «Д»). 6. Посттехногенні ландшафти та їхні елементи, пов'язані з початком українських уранодобування і

уранопереробки, слід вважати об'єктами *індустріальної спадщини* нашої Вітчизни. Важливим і актуальним є надання їм офіційного нормативного пам'яткоохоронного статусу в категорії «пам'ятка історії науки і техніки».

## 5. Подяки

Фондові, архівні, вербальні матеріали авторів надали добродії: директор музею історії міста Кам'янське кандидат історичних наук **Буланова Наталія Миколаївна** (музейні фонди); голова краєзнавчого товариства «Кам'янське – Дніпродзержинськ» **Герасюта Тетяна Іванівна** (особистий фотоархів, фонди міської бібліотеки); ветеран праці на Дніпровському меткомбінаті **Куррій Григорій Григорович** (особисті спогади, експертиза знімків і космознімків ДП-6 і ПХЗ); ветеран праці на уранодобувних копальнях рудника ім. 1-го Травня у місті Кривому Розі **Пензін Олексій Андрійович** (особистий фотоархів, спогади, експертиза знімків і космознімків криворізьких уранових копальень); ветеран праці на Дніпровському меткомбінаті **Потапенко Євген Максимович** (спогади, експертиза знімку ДП-6); науковий співробітник Тернівської філії Криворізького міського історико-краєзнавчого музею **Тарабара Олеся Миколаївна** (музейні фонди); ветеран праці на Північному гірничо-збагачувальному комбінаті у місті Кривому Розі **Тона Адольф Іванович** (особистий фотоархів, експертиза космознімків шахти «Об'єднана»); директор Тернівської філії Криворізького міського історико-краєзнавчого музею **Шкуро Світлана Володимирівна** (музейні фонди). Всім їм ми засвідчуємо глибоку шану і висловлюємо щирі подяку.

## ORCID iD

Yulian Tyutyunnyk  <https://orcid.org/0000-0002-1621-6362>  
 Nataliya Pysarevska  <https://orcid.org/0009-0009-5603-1571>  
 Serhiy Yarkov  <https://orcid.org/0000-0002-0995-3233>

## Список посилань

- Antonovich V. P., Beltyukova S. V., Efrushina N. P., Meshkova S. B. (2024). *Analytics and analysts of Odessa in the 20th century*: electronic resource [https://anchem.knu.ua/history/ax\\_history/odessa1.htm](https://anchem.knu.ua/history/ax_history/odessa1.htm), last appeal 08.02.2024 (In Russian). [Антонович В. П., Бельтюкова С. В., Ефрющина Н. П., Мешкова С. Б. (2024). *Аналитика и аналитики Одессы в 20 веке*: электронный ресурс [https://anchem.knu.ua/history/ax\\_history/odessa1.htm](https://anchem.knu.ua/history/ax_history/odessa1.htm), ост. звернення 08.02.2024].
- Bakarzhiev A. Kh., Polovinkin B. V., Tuktarova A. B. (2015). *Contribution of MGRI-RGGRU graduates to the creation of the uranium mineral resource base of Ukraine*, Kyiv, 2015, 337 p. (In Russian). [Бакаржиев А. Х., Половинкин Б. В., Туктарова А. Б. (2015). *Вклад выпускников МГРИ-РГГРУ в создание минерально-сырьевой базы урана Украины*, К., 337 с.].
- Bakarzhiev A. H., Lysenko O. A. (2018). The history of the creation of the uranium raw material base of Ukraine // *Mineral resources of Ukraine*, No. 1, p. 4-14. (In Ukrainian). [Бакаржиев А. Х., Лисенко О. А. (2018). *История створення сировинної бази урану України // Мінеральні ресурси України*, № 1, с. 4-14].
- Belevtsev Ya. N. (1951). *Krivoy Rog iron ore basin*: T. 1. Geological structure. Moscow: Gosgeoizdat, 178 p. (In Russian). [Белевцев Я. Н. (1951). *Криворожский железорудный бассейн*: Т. 1. Геологическое строение. М.: Госгеоиздат, 178 с.].
- Belevtsev Ya. N. (1955). *Iron ores of the Krivoy Rog iron ore basin*. Kyiv: Naukova Dumka, 286 p. (In Russian). [Белевцев Я. Н. (1955). *Железные руды Криворожского железорудного бассейна*. К.: Наукова думка, 286 с.].
- Building of the Russian Technical Society* (2024): electronic resource <https://viknaodessa.od.ua/old-photo/?masonskij-dom>, last appeal 08.02.2024 (In Russian). [Здание русского технического общества (2024): электронный ресурс <https://viknaodessa.od.ua/old-photo/?masonskij-dom>, последнее обращение 08.02.2024].
- Collapse of the Masonic House in Odessa: the investor company blames officials* (2024): electronic resource <https://viknaodessa.od.ua/news/?news=135090>, last appeal 08.02.2024 (In Russian). [Обрушение Массонского дома в Одессе: компания-инвестор винит чиновников (2024): электронный ресурс <https://viknaodessa.od.ua/news/?news=135090>, последнее обращение 8.02.2024].
- Cultural landscape as a heritage object* (2004). Moscow.: Heritage Institute; St. Petersburg: Dmitry Bulanin, 620 p. (In Russian). [Культурный ландшафт как объект наследия (2004). М.: Институт Наследия; СПб.: Дмитрий Буланин, 2004. 620 с.].
- Denisyk G. I., Kozynska I. P. (2015). *Industrial landscapes of the uranium ore mining region in Ukraine*. Uman: Sochinsky Publishing House, 282 p. (In Ukrainian). [Денисик Г. І., Козинська І. П. (2015). *Промислові ландшафти регіону видобутку уранових руд в Україні*. Умань: Видавель Сочинський, 282 с.].
- Dorokhova I. (2022). The Epic of Taboshar // *Extracurricular reading*, No. 4-5 (In Russian): electronic resource [https://atomicexpert.com/epos\\_about\\_taboshar](https://atomicexpert.com/epos_about_taboshar), last appeal 08.02.2024 [Дорохова І. (2022). *Епос о Табошаре // Внеклассное чтение*, № 4-5: электронный ресурс [https://atomicexpert.com/epos\\_about\\_taboshar](https://atomicexpert.com/epos_about_taboshar), последнее обращение 8.02.2024].
- Genetic types and patterns of distribution of uranium deposits in Ukraine* (1995). Ya. N. Belevtsev, V. B. Koval, A. Kh. Bakarzhiev et al. Kyiv: Naukova Dumka, 397 p. (In Russian). [Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины (1995). Я. Н. Белевцев, В. Б. Коваль, А. Х. Бакаржиев и др. К.: Наук. думка, 1995, 397 с.].
- How young we were... Meie noorusaastad...*: Sat. (2015). Sillamae: Sillamae Local History Museum, 204 p. (In Russian). [Как молоды мы были ... Meie noorusaastad...]: Сб. Силламяэ: Краеведческий музей г. Силламяэ, 204 с.].
- Korovin Yu. F. (2017). *From the Urals to the Dnieper: Artistic and documentary memories*. Dnepropetrovsk: Lithograph, 2017. 310 p. (In Russian). [Коровин Ю.Ф. (2017). *От Урала до Днепра: Художественно-документальные воспоминания*. Д.: Литограф, 2017. 310 с.].
- Kuzov Yu. I. (1997). *Pridneprovsky chemical plant. Historical sketch*. Dneprodzerzhinsk: Polygraphist, 160 p. (In Russian). [Кузовов Ю. И. (1997). *Приднепровский химический завод. Исторический очерк*. Днепропетровск: Полиграфист, 1997. 160 с.].
- Melnyk O. O., Steblina I. O. (2019). *Ternivska land – the pearl of Kryvorizhia (1750-1950)*. Kryvyi Rih: Ed. R. A. Kozlov,

- 2019, 432 p. (In Ukrainian). [Мельник О. О., Стебліна І. О. (2019). *Тернівська земля – перлина Криворіжжя (1750-1950)*. Кривий Ріг: Вид. Р. А. Козлов, 432 с.].
- Rakhimova Sh. K. (2017). History of the formation and development of the nuclear industry in Tajikistan // *Nomai donishgoh. Scientific notes*, No. 3 (52), p. 43-49. (In Russian). [Рахімова Ш. К. (2017). История становления и развития атомной промышленности в Таджикистане // *Номаи донишгоҳ. Учёные записки*, №3 (52), с. 43-49].
- Tkachenko Yu. (2020). *Pridniprovs'ky chemical plant – uranium disaster of Ukraine. 2020. An overview of the history of activity and current production of the large industrial enterprise "Pridniprovs'ky Chemical Plant"*. Oslo: Bellona Foundation, 132 p. (In Ukrainian). [Ткаченко Ю. (2020). *Придніпровський хімічний завод – уранова спадщина України. 2020. Оглядова доповідь про історію діяльності та сучасний стан колишнього виробничого об'єднання «Придніпровський хімічний завод»*. Осло: Bellona Foundation, 132 с.].
- Tyutyunnik Yu. G. (1991). Industrial landscape // *Geography and Natural resources*, No. 2, p. 135-141. (In Russian). [Тютюнник Ю.Г. (1991). Промышленный ландшафт // *География и природ. ресурсы*, № 2, с.135-141].
- Tyutyunnik Yu. G. (2008). Industrial traces (on the example of glassmaking in Transcarpathia). *Questions of the history of science and technology*, No. 2, p. 65-69 (In Russian). [Тютюнник Ю.Г. (2008) Индустриальные следы (на примере стекольного производства Закарпатья). *Питання історії науки і техніки*, № 2, с. 65-69].
- Tyutyunnik Yu. G. (2021). *The production landscape and its demutation*. Kyiv: IEE NAS of Ukraine, 142 p. (In Ukrainian). [Тютюнник Ю. Г. (2021). *Виробничий ландшафт і його демутація*. К.: ІЕЕ НАН України, 142 с.].
- Uranium of Ukraine. The history of Vostok Mining and Processing Plant in the memories of eyewitnesses. 1951-2006* (2006). Dnipropetrovsk: Prospekt, 220 p. (In Russian). [Уран України. *История ВостГОКа в воспоминаниях очевидцев. 1951-2006* (2006). Д.: Проспект, 220 с.].

# Differentiation characteristics of the modern anthropogenic landscapes of the North-East slope of the Great Caucasus

Sadullayev Rashad Rahib 

*Baku State University, 33, Akademik Zahid Xəlilov St., Baku, AZ1148, Azerbaijan*

## Abstract

The study of the differentiation characteristics of modern anthropogenic complexes is one of the main issues of landscape science. The dynamics and forecasting of anthropogenic landscapes have an important role in the effective placement and proper management of regional farms, as well as in the organization of natural environment protection. Within the Republic of Azerbaijan, the modern anthropogenic landscapes of the northeastern slope of the Great Caucasus were formed under the influence of complex long-term geographic-historical-economic factors. Compared to the other regions of Azerbaijan, the modern anthropogenic complexes of the northeastern slope of the Greater Caucasus are distinguished by their unique differentiation characteristics. The study of these regularities based on Geographical Information Systems (GIS) and satellite images (Landsat 7 ETM+, Landsat 8, CNES/Airbus) is of scientific and practical importance. The natural landscapes of the north-eastern slope of the Greater Caucasus have undergone fundamental transformation and have been replaced by various anthropogenic complexes during historical periods. From the coastal plains of the Caspian Sea to the Main Caucasus Range, the following anthropogenic complexes alternate: agro-irrigated landscapes of plains-lowlands (Samur-Devachi lowland), winter pastures and meadows, dry and episodic irrigated agrolandscapes of sloping plains (Gusar sloping plain), episodic highlands summer pastures and meadows of used subalpine-alpine meadows, subnival-nival landscapes of the highlands that are not changed experimentally. The differentiation and structural-functional characteristics of the North-Eastern slope of the Great Caucasus were studied by us on the basis of satellite images with the application of GIS. Regional satellite images show the intensity, extent of anthropogenic impacts, distribution over the area, etc., using the NDVI analysis method (unsupervised classification). Modern anthropogenic landscapes of the north-eastern slope of the Greater Caucasus are distributed along the vertical belt: 1) sharply changed natural complexes of lowlands and foothills; 2) fundamentally changed natural complexes of the middle highlands 3) natural complexes of the highlands that maintain their original state (practically unchanged). According to our analysis based on GIS, 98% (40,000 ha) of perennial crops, 93% (41,351 ha) of mowed areas, and 95.4% (107,900 ha) of cultivated areas are located at the altitude level of -28 m and -1000 m. 62% (272,740 ha) of the hypsometric step of the north-eastern slope of the Greater Caucasus up to 1000 m has been assimilated through agrolandscapes, and up to 10% (43,416 ha) through seliteb complexes.

## Keywords

Anthropogenic landscapes, northeastern slope of the Greater Caucasus, satellite images, landscape differentiation, Geographical Information Systems (GIS), NDVI

Received: 20 January 2023 / Accepted: 26 March 2024 / Published online: 31 May 2024

## Диференційна характеристика сучасних антропогенних ландшафтів північного схилу Великого Кавказу

Садуллаєв Рашад Рахіб

*Бакинський Державний Університет, вул. Академіка Західа Халілова, 23, Баку AZ1148, Азербайджан*

## Реферат

Вивчення диференційної характеристики сучасних антропогенних комплексів є одним із основних питань ландшафтознавства. Динаміка та прогнозування антропогенних ландшафтів відіграють важливу роль в ефективному розміщенні та правильному веденні регіонального господарства, а також в організації охорони довкілля. У межах Республіки Азербайджан сучасні антропогенні ландшафти північно-східного схилу Великого Кавказу сформувалися під впливом складних довготривалих географічних та історико-економічних факторів. У порівнянні з іншими регіонами Азербайджану сучасні антропогенні комплекси північно-східного схилу Великого Кавказу відрізняються унікальними характеристиками їхньої диференціації. Дослідження цих закономірностей на основі геоінформаційних систем (ГІС) та супутникових знімків (Landsat 7 ETM+, Landsat 8, CNES/Airbus) має наукове і практичне значення. Природні ландшафти північно-східного схилу Великого Кавказу в історичній час зазнали докорінної трансформації і змінювалися різноманітними антропогенними комплексами. Від узбережних рівнин Каспійського моря до Головного Кавказького хребта чергуються такі антропогенні комплекси: агрозрошені ландшафти рівнинних низовин (Самур-Девачівська низовина), зимові пасовища і луки, сухі та епізодично зрошені агроландшафти схилових рівнин (Гусарська похила рівнина), епізодично використовувані високогірні літні пасовища та луки і використовувані субальпійсько-альпійські луки, незмінні ландшафти субнівального рівня високогір'я. Диференціація та структурно-функціональна характеристика ландшафтів північно-східного схилу Великого Кавказу вивчена нами на основі супутникових знімків із застосуванням ГІС та за методом аналізу NDVI (неконтрольована класифікація). Регіональні супутникові знімки відображають інтенсивність і масштаби антропогенних впливів, їхній розподіл за площею тощо. Сучасні антропогенні ландшафти північно-східного схилу Великого Кавказу мають таку вертикальну поясність: 1) різко змінені природні комплекси низовин і передгір'їв; 2) принципово змінені природні комплекси середньогір'я; 3) природні комплекси високогір'я, що зберігають свій первісний стан (практично незмінні). Згідно з нашим аналізом на основі ГІС, 98 % (40 000 га) багаторічних насаджень, 93 % (41 351 га) площ сінокосів і 95,4 % (107 900 га) орних площ розташовані на висотному рівні -28 м – 1000 м. На гіпсометричній ступіні північно-східного схилу Великого Кавказу висотою до 1000 м агроландшафти займають 62 % (272 740 га), а селітебні комплекси до 10 % (43 416 га).

## Ключові слова

Антропогенні ландшафти, ландшафтна диференціація, північно-східний схил Великого Кавказу, супутникові знімки, геоінформаційні системи (ГІС), NDVI

Надійшла до редакції: 20 січня 2023 / Прийнята: 26 березня 2024 / Опублікована онлайн: 31 травня 2024

## 1. Introduction

Anthropogenic landscapes are territorial complexes within the landscape sphere, whose natural balance is constantly protected or changed by human activity, depending on its economic type [13]. They are formed on the basis of natural complexes being reshaped and significantly changed by human impact [12]. At present, anthropogenic complexes are found to a greater or lesser extent in all geographical zones. Each physical-geographic zone has a total spectrum of anthropogenic landscapes. The issues of formation and grouping of anthropogenic landscapes have been studied by F. N. Milkov [12], L. I. Kurakova [13] and others, who studied the formation periods of anthropogenic landscapes. D. L. Beruchashvili [10] studied the geophysical properties of natural-anthropogenic complexes. Modern anthropogenic landscapes of the Republic of Azerbaijan have been studied since the 70s and 80s of the 20th century by B. A. Budagov [11], M. A. Museyibov [14], M. A. Suleymanov [8], Y. E. Garibov [3,4,11], Yunusov M. I. [1,9], Ismayilov M. C., Mammadbayov E. Sh [1], N. S. Ismayilova [4], Hajiyeva A. Z. [2], Guliyeva S. Y. [5], R. R. Sadullayev [6,7,15] and other researchers.

Taking into account the regional characteristics of the Republic of Azerbaijan and the types of anthropogenic influences, the natural landscapes of the northeastern slope of the Greater Caucasus are divided into 5 groups, according to the degree of anthropogenicization: 1) practically unchanged; 2) weakly anthropogenic; 3) moderately anthropogenic; 4) strongly anthropogenic; 5) fundamentally transformed [3]. It was shown that the morphological units of the natural landscapes of the region undergo fast changes under anthropogenic process. Depending on the degree of impact of economic activity, the changed (weakly, strongly and fundamentally changed) and conventionally unchanged landscapes of the northeastern slope of the Greater Caucasus are distinguished [4].

## 2. Methodology

The differentiation, dynamics and modern state of the anthropogenic landscapes of the northeastern slope of the Greater Caucasus were monitored using the NDVI (The Normalized Difference Vegetation Index) that is unsupervised classification method of multispectral satellite images (Landsat 7 ETM+, Landsat 8). The modern natural landscapes of the north-eastern slope of the Great Caucasus have been fundamentally changed during historical periods, and, as a result, they have been replaced by various anthropogenic complexes. In recent years, we have been monitoring the anthropogenic complexes of the region on the basis of GIS and satellite images.

## 3. Results

The modern natural-anthropogenic landscapes of the northeastern slope of the Greater Caucasus are distributed

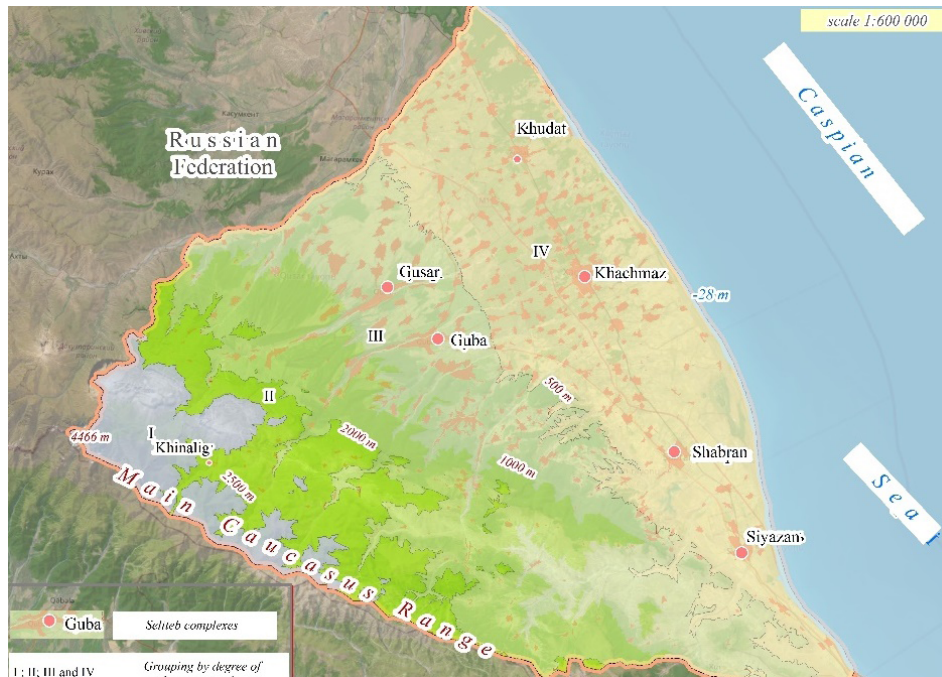
according to the vertical zonality. The semi-desert, dry steppe, xerophytic thickets, arid sparse forest-shrub complexes of the Samur-Devachi Lowland have been fundamentally changed, replaced by various intensively used anthropogenic complexes, large-area urban agglomerations and other man-made landscapes. In the meadow-shrub, forest-shrub, and forest landscapes of the low mountains and smooth plateaus, agrolandscapes (pasture and livestock complexes) were formed, which were mainly related to sorghum farming and animal husbandry. The anthropogenic transformation of the natural landscape types and subtypes of these areas has a maximum indicator. So, at least 50% of the forests here were gradually turned into meadow [3], forest-shrub, sparse bush, etc. Thus, natural complexes has turned into their anthropogenic derivatives. At the same time, in the following years, a large part of the bushy landscapes were replaced by agrocenoses or other anthropogenic landscapes.

The modern natural landscapes of the mountainous and plain areas of the north-eastern slope of the Greater Caucasus have been fundamentally changed and replaced by anthropogenic complexes. As a result of the development of agriculture in the Samur-Devachi lowland and the Gusar sloping plains, small-area agrocomplexes and seliteb landscapes became scattered in the wide valleys with favorable melioration conditions of the Gusarchay, Gudyalchay, Karachay and Valvalachay, in the yield crops gradually began to grow [4], expanding towards the foothill plains. Forests were suppressed by bush formations. Palaeogeographic studies have proven that most of the forests in the plains and foothills of the region were subjected to anthropogenic influences in the first centuries of common era and gradually turned into agro-landscapes [3, 8]. (Figure 1).

The modern anthropogenic landscapes of the northeastern slope of the Greater Caucasus were formed by the influence of long-term historical-geographical processes. According to the GIS data, it has been shown that the anthropogenic landscapes of the region consists of agricultural land (16.2%), orchards and vineyards (5.8%), urban and rural complexes (6.8%), as well as transport, communication and industrial infrastructure of various functions (3,6 %). The analysis based on satellite images shows that the natural landscapes of the region, especially at the hypsometric level of -28 – 1000 m, have been changed by human impact and transformed into diverse anthropogenically modified areas (Figure 2).

The development of agriculture, horticulture, and animal husbandry in the Greater Caucasus region has strongly impacted characteristics of natural landscapes. The anthropogenic complexes [2], which are irrigated and used in the form of rice fields to varying degrees, change dramatically both natural landscape types and administrative-territorial units. Apart from Khachmaz region, all administrative regions of the northeastern slope of the Greater Caucasus are divided into two parts according to geomorphological and soil-climatic characteristics: first of all – mountains; foothill sloping plains and lowlands.

In the Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 satellite images of the northeastern slope of the Greater Caucasus, landscape contours of various geometric shapes reflect the



**Fig. 1. 1a** – Landscape differentiation, according to the degree of anthropogenic change [16]: I – Practically unchanged landscape complexes preserving their natural development; II – Weakly modified summer pastures and mowing areas subjected to irregular economic impacts; III – Moderately altered natural complexes exposed to irregular economic effects; IV – Natural landscapes subjected to drastic changes and regular economic impacts [3,4].



**Fig. 2.** Differentiation of anthropogenic landscapes (from the shores of the Caspian Sea to the peak of Shahdag) [16]

features of intensity of anthropogenic impacts (Figure 2). The agro-irrigation landscapes, formed in the semi-deserts on intensively used alluvial, alluvial-proluvial, and marine plains, are characteristic of the Samur-Devachi lowland [4]. The agro-irrigation complexes representing the grain and vegetable crops and garden-plantations on the slopes, foothills, and undulating plains of the region are typical for the Gusar sloping plain. The winter pastures of the mountainous dry steppes and arid sparse forest-shrubs of the north-eastern slope of the Greater Caucasus spread on the gray-brown soils of the fragmented low mountains and plateaus in the Khizi and Siyazan regions. Against the background of these winter pastures, small-areas of sorghum crops, episodically irrigated agrolandscapes, grape plantations and hayfields have been developed.

The analysis of the northeastern slope of the Greater Caucasus based on GIS shows that the main part (94.6%, i.e. 189,251 hectares) of the region's agro-landscapes

(mowing, perennial planting and sowing) belongs to the foothill plains and lowlands up to 1000 m in hypsometry [15]. The analysis of the regional distribution of agrolandscapes based on GIS shows that among agrolandscapes of different economic functions, irrigated and unirrigated garden-plantation, silage-garden, mowing and pasture agro-irrigation landscapes are prevail [3]. In the structure of the mentioned anthropogenic complexes, the irrigated fields differ both in terms of economic importance and productivity. The following main signs are observed in the distribution of modern anthropogenic landscapes of the region: the increase of the area of grain and perennial crops in the structure of agro-irrigation landscapes, and the decrease of the area of low-yielding pastures and hayfields. Also, in the economic functions of the agrolandscapes of the Greater Caucasus region, the replacement of small-area vegetable and melon plantations and scattered patches by large-area grain and perennial crops fields is observed [4,11].

Anthropogenic complexes are dominant in the Gusar sloping plain. Thus, in this sloping plain, the total area of seliteb landscapes is 19,000 ha (11.5%), and the area of forest landscapes is 50,000 ha (30.2%). The share of agrolandscapes is 86,325 ha (52%), of which 36,637 ha (22%) are cultivated, and 16,916 ha (10.2%) are perennial crops. The share of agrolandscapes in the natural-anthropogenic landscape structure of the Samur-Devachi lowland is 136,100 ha (62%), the total area of seliteb complexes is 22,810 ha (11.2%), and the sandy areas of economically poorly used coasts, swamps, and river beds are 14.5% [15]. The area of the hypsometric level up to 1000 m on the north-eastern slope of the Greater Caucasus is 438,400 ha, of which 272,740 ha (62%) have been assimilated through agro-landscapes. About 10% (43,416 ha) of this hypsometrical level is made up of seliteb complexes. 94.6% (139,571 ha) of the total cultivated area of the region is concentrated in favorable hypsometric conditions up to 1000 m.

Settlement-seliteb anthropogenic landscapes on the northeastern slope of the Greater Caucasus are the complexes with geometric configurations (linear-chain, circular-radial, ball, scattered, grid, etc.). For comparison, we can say that in the areas of Jeyranchol and Gobustan, the share of seliteb complexes in the total landscape background is 1.5% [3], and in the Samur-Devachi plain it reaches 11.2% (22,810 ha). Based on the analysis of satellite images, we have determined that the total area of seliteb complexes in the region is 47,229 ha (6.7%). The areas of these types of complexes within the vertical belt (-28 – 4466 m) and their impact on natural landscapes are gradually weakening (Figure 3).

Due to the influence of historical-geographical factors, an important part of the settlement-seliteb complexes of the region is concentrated in the lowlands, sloping plains and foothills. Depending on the relief and climate conditions, both the area and the number of village seliteb complexes gradually decrease towards the middle and high mountains of the northeastern slope of the Greater Caucasus. Thus, the share of this type of landscapes up to 1000 m hypsometry is 90.7%, 8.1% between 1000-2000 m, and 1.2% above 2000 m [6]. Extreme relief-climatic conditions in the hypsometrical level above 2500 m (absolute height) determine that the settlements here are temporary or seasonal.

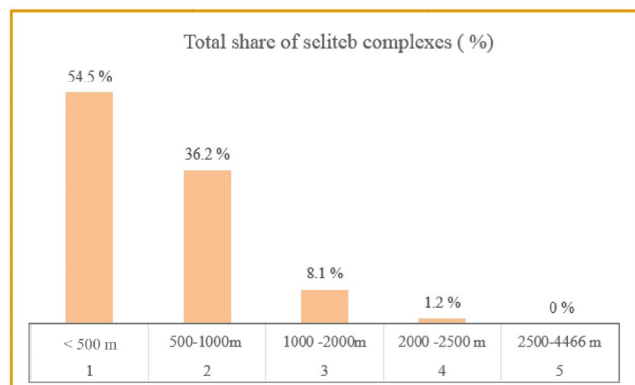


Fig. 3. Hypsometric differentiation of seliteb complexes of the northeastern slope of the Greater Caucasus.

#### 4. Conclusion

Within the Republic of Azerbaijan, we observe a clear landscape differentiation on the north-eastern slope of the Greater Caucasus. Here we find landscape units from the fundamentally transformed agro-irrigation complexes of the plain-lowland areas to the practically unused nival-glacier complexes of the highlands. On the northeastern slope of the Greater Caucasus (heights up to 1000 m), substantial agrolandscape impact is observed: 98% of perennial planting (40,000 ha), 93% of mowed areas (41,351 ha), and 94.6% of cultivated areas (139,571 ha) is concentrated in this zone. In total, 62% (272,740 ha) of this area (up to 1000 m) is occupied by agrolandscapes, and 10% (43,416 ha) consists of seliteb complexes.

Settlement-seliteb anthropogenic landscapes on the northeastern slope of the Greater Caucasus are complexes with geometric configurations (linear-chain, circular-radial, ball, scattered, grid, etc.). Based on the analysis of satellite images, we determined that the total area of seliteb complexes in the region is 47,229 ha (6.7%). The area of these complexes along the vertical transect (from -28 m to 4466 m) and their impact on natural landscapes are gradually weakening.

The main network of seliteb complexes within the region is concentrated in the Samur-Devachi plain, sloping plains and foothills. Depending on the relief-climate conditions towards the middle and high mountains, the number and areas of village seliteb complexes gradually decreases (90.7% up to 1000 m, 8.1% between 1000-2000 m, 1.2% above 2000 m). Above 2500 m, the settlements are temporary and seasonal.

The natural landscapes of the north-eastern slope of the Great Caucasus have undergone various degrees of transformations. Modern anthropogenic complexes have been formed under the influence of complex geographical-historical-economic factors. From the coastal plains of the Caspian Sea to the Main Caucasus Range, the following anthropogenic complexes alternate: agro-irrigated landscapes of plains-lowlands (the Samur-Devachi Lowland), winter pastures and meadows, dry and episodically irrigated agrolandscapes of sloping plains (the Gusar sloping plain), episodically used highland summer pastures and subalpine-alpine meadows, and subnival-nival landscapes that are not changed anthropogenically. Therefore, modern anthropogenic landscapes of the region are distinguished by specific signs of differentiation. These signs are analysed in the paper on the basis of Geographical Information Systems (GIS) and satellite images (Landsat 7 ETM+, Landsat 8, CNES/Airbus, etc.).

#### ORCID iD

Sadullayev Rashad Rahib  <https://orcid.org/0000-0003-3480-4974>



**List of references**

1. Ismayilov M. C., Yunusov M. I., Mammadbeyov E. Sh. (2006). Assessment of the impact of anthropogenic transformation of the landscapes of the northeastern part of the Lesser Caucasus on the territorial ecological potential. *Works of the Azerbaijan Geographical Society*, Baku. Problems of balanced development of mountainous areas. - Volume X, pp. 81-85.
2. Hajiyeva A. Z. (2016). *Anthropogenic transformation of the natural landscapes of the southeastern part of the Greater Caucasus, ecological assessment of threats and risks: philosophy of geography* d-ru e. trouble buy for approx. be abstract of dis. Baku: ANAS, 26 p.
3. Garibov Y. A. (2011) *Anthropogenic transformation of modern landscapes of the Republic of Azerbaijan*. Baku. "Mars Print" NRF, 299 p.
4. Garibov Y. E., Ismayilova N. S., Hajiyeva A. Z., Sadullayev R. R. (2020) *Study of anthropogenic transformation of natural landscapes of the Greater Caucasus with GIS technology* (monograph). Baku. "Teacher" publishing house, 190 p.
5. Guliyeva S. Y. (2022) *Modern natural landscape geocomplexes of Azerbaijan and their landscape-ecological assessment: Geography sciences* d-ru e. trouble buy for approx. ed. abstract of dis. Baku. 62 p.
6. Sadullayev R. R. (2021) The application of Geographic Information Systems (GIS) and the study of the differentiation characteristics of seliteb complexes based on space images (in the example of the northeastern slope of the Greater Caucasus), *II International Science and Technology Conference*, Baku, p. 151-154.
7. Sadullayev R. R. (2021) Study of the transformation and dynamics of modern landscapes based on Geographic Information Systems (GIS) (in the example of the northeastern slope of the Greater Caucasus). *XIV International Scientific and Practical Conference «Global Science And Innovations 2021: Central Asia»*, Nur-Sultan (Astana), Kazakhstan, p.18-22
8. Suleymanov M. A. (2005) *Geographical patterns of natural and anthropogenic landscapes of Azerbaijan*. Baku, 2005, 247 p.
9. Yunusov M. I. (2010) The role of water resources management in the formation of agro-irrigation landscapes in arid regions of Azerbaijan // *Ecosystems of the Caspian Sea and Surrounding Regions: Threats and Risks: Proceedings of the Azerbaijan Geographical Society*. c.XV.- p.100-102.
10. Beruchashvili N. L. (1986) *Four dimensions of landscape*. M.: Mysl, 182 p.
11. Budagov B. A., Garibov Ya. A. (1980) The influence of anthropogenic factors on the formation of landscapes in Azerbaijan // *Reports of the Academy of Sciences of Azerbaijan*. SSR, 1980, No. 12, pp. 62-66.
12. Kurakova L. I. (1976) *Anthropogenic landscapes*. M.: Publishing house Mosk. university, 216 s
13. Milkov F. N. (1973) *Man and landscapes: essays on anthropogenic landscape science*. M.: Mysl, 224 p.
14. Museibov M. A. (2011) *Landscapes of the Republic of Azerbaijan*. Baku, ed. BSU, 138 p.
15. Sadullayev R. R., Mammadova Sh. I., Humbatova Sh. Y., Ahlimanov R. M. (2024) Research of modern structural-functional characteristics and differentiation regulations of anthropogenic landscapes / *Acta Scientific Agriculture*, volume 8 Issue 2. p.60-65. DOI: 10.31080/ASAG.2024.08.1345
16. *Google Earth*: official website. Mountain-View, 2023.-URL: <https://earth.google.com> (access date: 07.26.2023)

**Фізична географія та геоморфологія, Том 47, Вип. 1–2 (123–124), 2024. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Науковий журнал. Заснований у 1970 р. Виходить шість разів на рік.  
Головний редактор: Наталія Герасименко.**

**Physical Geography and Geomorphology, 47, 1–2 (123–124), 2024. Taras Shevchenko National University of Kyiv. Scientific journal. Established in 1970. Published bi-monthly. Editor-in-Chief: Natalia Gerasimenko.**

Затверджено до друку вченою радою географічного факультету  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
Реєстраційне свідоцтво серії КВ №23971-13811 ПР від 11.05. 2019 р.  
Комп'ютерна верстка – Ілля Кравчук  
Дизайн обкладинки – Євгеній Рогозін

Формат 60x84/8. Ум.-друк. арк. 7,25. Обл.-вид. арк. 7,5. Тираж 100 прим.  
Віддруковано у видавництві “Наукова столиця”  
вул. Героїв Оборони, 8, Київ 03127  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 5941 від 11.01.2018 р.