

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

СЛОБОЖАНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК

Серія: Природничі науки

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Випуск 1, 2025



Видавничий дім
«Гельветика»
2025

Засновник – Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка
Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України
з питань телебачення і радіомовлення № 479 від 29.02.2024 року
(ідентифікатор медіа: R30-03338)

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка
(вул. Роменська, буд. 87, м. Суми, 40002, rector@sspu.edu.ua, тел. (0542) 68-59-02)

Фахова реєстрація (категорія «Б»):

Наказ МОН України № 491 від 27 квітня 2023 року (додаток 3);

Наказ МОН України № 768 від 20 червня 2023 року (додаток 3)

Галузь знань: біологія; природничі науки

Спеціальності: Е1 Біологія та біохімія, Е2 Екологія, Е4 Науки про Землю, С6 Географія та регіональні студії

Друкується згідно з рішенням вченої ради

Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

(Протокол № 9 від 24.03.2025 р.)

Головний редактор:

Корнус А. О. – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

Члени редакційної колегії:

Hlebova Miroslava – PhD, доцент кафедри біології Університету св. Кирила і Мефодія в Трнаві, Словачка
Республіка

Буц Ю. В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища,
Український державний університет залізничного транспорту

Воровка В. П. – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри біології людини та екології
Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького

Данильченко О. С. – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

Кирильчук К. С. – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та ботаніки Сумського
національного аграрного університету

Кисельов Ю. О. – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії, картографії і кадастру
Уманського національного університету садівництва

Ковальчук О. М. – доктор біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник Національного
науково-природничого музею НАН України

Корнус О. Г. – кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

Крайнюк О. В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Круподьорова Т. А. – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий
співробітник ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»

Литвиненко Ю. І. – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри біології та методики навчання
біології Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

Ляшенко В. П. – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри біології людини, хімії
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка

Сегіда К. Ю. – доктор географічних наук, доцент, професор кафедри соціально-економічної географії
і регіонального факультету геології, географії, рекреації і туризму Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна

Скиба О. О. – кандидат біологічних наук, доцент, вчений секретар Сумського державного педагогічного
університету імені А.С. Макаренка

Удалов І. В. – доктор геологічних наук, професор, професор кафедри фундаментальної і прикладної геології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com
від польської компанії Plagiat.pl.

Мови видання: українська, англійська, німецька, польська, іспанська, французька, болгарська.

ISSN 2786-8117 (Print)

ISSN 2786-8125 (Online)

© Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка, 2025

ЗМІСТ

1. БІОЛОГІЯ

Дуло Олена Анатоліївна, Паллаг Александра Володимирівна Фізіологічні особливості відновлення серцево-судинної системи після фізичних навантажень у юнаків різних морфологічних типів.....	7
Коваль Катерина Геннадіївна Психофізіологічні функції як основа здоров'я студентської молоді в умовах воєнного стану: теоретичний дискурс.....	13
Ляшенко Валентина Петрівна, Дуванов Дмитро Сергійович Модуляція показників варіабельності серцевого ритму у жінок старших вікових груп.....	21
Москаленко Микола Павлович Алелопатичні властивості клену ясенелистого.....	28
Степенко Сергій Миколайович, Ляшенко Валентина Петрівна Модуляція порушень сну та показників варіабельності серцевого ритму у жінок середнього віку в умовах воєнних дій в Україні.....	33
Чіков Ігор Васильович, Куземко Анна Аркадіївна, Діденко Інна Петрівна, Джус Людмила Леонідівна, Бойко Ірина Василівна Сезонний ритм розвитку та особливості репродуктивної здатності рослин <i>Calla palustris</i> L. в умовах інтродукції.....	39

2. ЕКОЛОГІЯ

Ананьєва Таміла Володимирівна, Шарамок Тетяна Сергіївна Закономірності накопичення радіонуклідів у різновікових особин плітки Дніпровського (Запорізького) водосховища.....	44
Горишнякова Яна Вікторівна, Аніщенко Людмила Яківна Оцінка екологічної безпеки видобування титану методом аналізу ієрархій.....	51
Діденко Ігор Анатолійович, Бондар Юлія Олегівна, Курчій Богдан Олексійович, Марченко Ольга Анатоліївна Екологічні передумови формування продуктивності та оцінка потенціалу лікарських рослин у лучному, неморальному та рудеральному флороценотипах НПП «Голосіївський».....	58
Домусчи Світлана Василівна, Тригуб Валентина Іванівна Негативний вплив несанкціонованих сміттєзвалищ на ґрунтовий покрив: оцінка та шляхи мінімізації.....	64
Луценко Сергій Вікторович, Корнус Анатолій Олександрович, Корнус Олеся Григорівна, Данильченко Олена Сергіївна, Король Олена Миколаївна, Макаренко Наталія Олексіївна, Герасименко Дар'я Олександрівна Неорганізовані водозабори Сумської територіальної громади як альтернативні джерела питної води у кризових ситуаціях: географічний аналіз та екологічні аспекти.....	71

3. ГЕОГРАФІЯ

Карабінюк Микола Миколайович, Радиш Ігор Петрович, Чиняк Віталія Віталіївна, Лахоцька Еліна Ярославівна, Шарга Марина Вікторівна Рекреаційно-туристичні ресурси Хустського району Закарпатської області: просторова диференціація, сучасний стан та перспективи використання.....	78
--	----

Мисковець Ірина Ярославівна Еколого-гідрологічний стан Хрінниківського водосховища та шляхи його покращення.....	90
Пацюк Вікторія Сергіївна, Корнус Олеся Григорівна, Корнус Анатолій Олександрович, Казаков Володимир Леонідович Теоретико-географічні засади і прогноз розвитку туристичних дестинацій прифронтових територій України.....	97

4. НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

Ганжа Олена Анатоліївна, Крошко Юлія Володимирівна, Компанець Галина Сергіївна Структурно-літологічні особливості ільменітоносною товщі Катеринівського родовища.....	105
Грига Марина Юріївна Динаміка забруднення дніпровських водосховищ біогенними елементами за гідрохімічними та супутниковими методами дослідження.....	112
Касіячук Дмитро Васильович, Штогрин Людмила Василівна Техногенна складова еколого-геологічних ризиків зсувної небезпеки на прикладі кадастрових ділянок Косівського району.....	120
Мельник Ірина Геннадіївна Використання супутникових даних для моніторингу та аналізу торф'яних пожеж на прикладі Полтавської області (серпень-листопад 2024 року).....	125
Наконечний Юрій Ігорович, Паньків Зіновій Павлович Оцінка гранулометричного складу ґрунтів долини річки Ставчанка у межах міста Пустомити.....	134
Удалов Ігор Валерійович, Кононенко Аліна Володимирівна, Міхалкова Ніна Василівна Комплексна оцінка факторів вразливості якості підземних вод у сучасних умовах.....	138
Шевчук Лариса Миколаївна, Васільєва Людмила Анатоліївна, Билина Лілія Вікторівна, Герасимчук Олена Леонтіївна Геосистема річки Тетерів: опис природних компонентів та антропогенного впливу.....	144

CONTENT

1. BIOLOGY

Dulo Olena, Pallah Oleksandra

Physiological Characteristics of Cardiovascular System Recovery After Physical Exercise
in Young Males of Different Morphological Types.....7

Koval Kateryna

Psychophysiological functions as the basis of students' health
under conditions of martial law: theoretical discourse.....13

Liashenko Valentyna, Duvanov Dmytro

Modulation of Heart Rate Variability Parameters in Women of Older Age Groups.....21

Moskalenko Mykola

Allelopathic Properties of the Boxelder Maple.....28

Stetsenko Serhii, Liashenko Valentyna

Modulation of sleep disorders and indicators of heart rate variability in middle-aged women
in the conditions of military actions in Ukraine.....33

Chikov Ihor, Kuzemko Anna, Didenko Inna, Dzhus Liudmyla, Boiko Iryna

Seasonal rhythm of development and features of reproductive capacity of *Calla palustris* L. plants
in introduction conditions.....39

2. ECOLOGY

Ananieva Tamila, Sharamok Tetiana

Patterns of radionuclides accumulation in various age individuals of roach
in the Dnipro (Zaporizhzhya) Reservoir.....44

Horyshnyakova Yana, Anishchenko Lyudmilla

Environmental Safety Assessment of Titanium Mining Using the Analytic Hierarchy Process.....51

Didenko Ihor, Bondar Yulia, Kurchii Bohdan, Marchenko Olga

Ecological prerequisites for productivity formation and assessment of the potential of medicinal plants
in meadow, nemoral, and ruderal florocenotypes of the Holosiivskyi National Nature Park.....58

Domuschy Svitlana, Trigub Valentyna

Environmental impact of unauthorized landfills on soil cover: assessment and mitigation strategies.....64

Lutsenko Serhii, Kornus Anatolii, Kornus Olesia, Danylchenko Olena, Korol Olena,

Makarenko Natalia, Herasymenko Daria

Unorganised water intakes of Sumy territorial community as alternative sources of drinking water
during military operations: environmental aspects.....72

3. GEOGRAPHY

Karabiniuk Mykola, Radysh Ihor, Chyniak Vitalia, Lahotska Elina, Sharha Maryna

Recreational and Tourist Resources of Khust District of Transcarpathian Region:
Spatial Differentiation, Current Status and Prospects for Use.....79

Mykovets Iryna

Ecological and hydrological state of the Khrynnivsk Reservoir and ways to improve it.....90

Patsiuk Viktoriia, Kornus Olesia, Kornus Anatolii, Kazakov Volodymyr

Theoretical and geographical foundations and forecast of development of tourist destinations
in the frontline territories of Ukraine.....98

4. EARTH SCIENCES

Ganzha Olena, Kroshko Yuliia, Kompanets Halyna

Structural and lithological aspects of the ilmenite-bearing strata of the Katerynivske deposit105

Hryha Maryna

Dynamics of nutrient pollution in Dnieper Reservoirs:

combining hydrochemical and remote sensing techniques.....112

Kasiyanchuk Dmytro, Shtohryn Lyudmila

The technogenic component of ecological and geological risks of landslide hazard

on the example of cadastral plots of Kosiv district.....120

Melnyk Iryna

Satellite Data Application for Monitoring and Analyzing Peatland Fires

in Poltava Region (August-November 2024).....125

Nakonechnyy Yuriy, Pankiv Zinoviy

Assessment of the granulometric composition of soils of the Stavchanka River valley

within the boundaries of the city of Pustomyty.....134

Udalov Igor, Kononenko Alina, Mikhalkova Nina

Comprehensive assessment of groundwater quality vulnerability factors in modern conditions.....138

Shevchuk Larysa, Vasileva Liudmyla, Bylyna Liliia, Herasymchuk Olena

Teteriv River geosystem: description of natural components and anthropogenic impact.....144

1. БІОЛОГІЯ

УДК 612.172-048.38-055.1:796.015.6

DOI <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.1>

ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ПІСЛЯ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У ЮНАКІВ РІЗНИХ МОРФОЛОГІЧНИХ ТИПІВ

Дуло Олена Анатоліївна,

кандидат медичних наук,
доцент кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0003-0473-5605

Scopus Author ID: 57223405519

Паллаг Олександра Володимирівна,

кандидат біологічних наук,
доцент кафедри медико-біологічних дисциплін
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0003-3636-6621

Scopus AuthorID: 57215503874

Робота присвячена аналізу динаміки змін функціональних показників серцево-судинної системи в процесі виконання фізичної роботи у юнаків- мешканців низинних районів Закарпатської області різних морфологічних типів. Дослідження проводилися у 112 юнаків 17-21 річного віку постпубертатного періоду онтогенезу, мешканців районів, що розташовані на висоті до 400 м над рівнем моря, Закарпатської області. Спостереження, реєстрація та аналіз адаптаційних змін функціональних показників серцево-судинної системи здійснювалися під час велоергометрії після двох навантажень потужністю 1 Вт/кг і 2 Вт/кг з інтервалом 5 хвилин одразу після роботи і тричі по її завершенню (через 1, 2 і 3 хвилини). Соматотип визначали за методом Хім-Картера, шляхом каліперометрії. Шляхом біоімпедансометрії визначали відносний вміст жирового та м'язового компонентів маси тіла за критеріями McCarthy та D. Gallagher. Результати дослідження показали, що після двох навантажень на велоергометрії, які збільшували ЧСС до 130-140 уд/хв⁻¹, динаміка відновлення ЧСС була такою, що у досліджуваних юнаків початок достовірного зниження фіксувався через 30 секунд після припинення циклічної роботи. Після навантаження потужністю 2 Вт/кг маси тіла з підвищенням ЧСС до 180-190 уд/хв⁻¹ початок достовірного зниження ЧСС реєструвався через 120 секунд. Відмінності в артеріальній судинній відповіді на навантаження циклічного характеру спостерігалися у молодих чоловіків, мешканців низинних районів Закарпатської області, залежно від морфологічного типу та складу тіла. Під час фізичних навантажень з інтенсивністю 90% $\dot{V}O_{2max}$ лише у юнаків-ендомезоморфів та у юнаків зі збалансованим соматотипом спостерігалось підвищення ДАТ вище вихідного рівня. Натомість у юнаків з низьким відносним вмістом жирового компонента та дуже високим відносним вмістом скелетних м'язів підвищення ДАТ вище вихідного рівня було відсутнє. Таким чином, відносне переважання жирового компонента і відносне зниження м'язового компонента у морфологічному типі представників чоловічої статі, викликало негативну судинну реакцію з підвищенням ДАТ вище вихідного рівня.

Ключові слова: кардіоваскулярна реакція, біологічна антропологія, жир, скелетні м'язи.

Dulo Olena, Pallah Oleksandra. Physiological Characteristics of Cardiovascular System Recovery After Physical Exercise in Young Males of Different Morphological Types

The study focuses on analyzing the dynamics of changes in the functional parameters of the cardiovascular system during physical exercise in young males residing in the lowland areas of the Zakarpattia region, representing different morphological types. The research was conducted on 112 young males aged 17–21 years in the post-pubertal period of ontogenesis, residents of areas at altitudes of up to 400 meters above sea level in the Zakarpattia region. Observations, measurements, and analysis of adaptive changes in the functional parameters of the cardiovascular system were carried out during bicycle ergometry following two exercise loads of 1 W per 1 kg and 2 W per 1 kg, with a 5-minute interval, immediately after exercise, and three times post-exercise (at 1, 2, and 3 minutes). Somatotype was determined using the Heath-Carter method via caliperometry. The relative fat and muscle components of body mass were assessed through bioelectrical impedance analysis according to the criteria of McCarthy and D. Gallagher. The results demonstrated that after two workloads on the bicycle ergometer, which increased heart rate (HR) to 130–140 bpm, the recovery dynamics of HR exhibited a statistically significant decrease starting 30 seconds after the cessation of cyclic exercise. Following an exercise load of 2 W per 1 kg of body mass, which elevated HR to 180–190 bpm, the onset of a significant HR reduction was recorded after 120 seconds. Differences in arterial vascular responses to cyclic exercise were observed among young males from lowland areas of the Zakarpattia region, depending on their morphological type and body composition.

During physical exertion at 90% $\dot{V}O_{2max}$, an increase in diastolic blood pressure (DBP) above baseline was observed only in endomesomorphic young males and those with a balanced somatotype. In contrast, young males with a low relative fat content and a very high relative skeletal muscle mass did not exhibit an increase in DBP above baseline. Thus, a relative predominance of the fat component and a relative decrease in the muscle component in the morphological profile of males induced a negative vascular response, leading to an increase in DBP above baseline.

Key words: cardiovascular reaction, biological anthropology, fat, skeletal muscles.

Вступ. Динаміка змін функціонального стану серцево-судинної системи в процесі виконання фізичної роботи має важливе значення, адже є однією з показників адаптації організму до факторів оточуючого середовища, враховуючі вплив ендогенних та екзогенних чинників. Такими факторами є географічний чинник, метеорологічні чинники, спадковість, тип конституції та ін. [1; 2; 3; 4; 5]. Оскільки організм людини характеризується рядом морфологічних і фізіологічних особливостей, пов'язаних з їх конституцією, індивідуальні особливості тілобудови відіграють важливу роль у фізичній адаптації, яка, в свою чергу, характеризує рівень фізичного здоров'я [6; 7; 8; 9]. Цікавим для вивчення є рівень фізичного здоров'я мешканців певних територій, що різняться за своїм розташуванням відповідно до висоти над рівнем моря [10; 11; 12; 13]. Вивчення адаптаційних можливостей серцево-судинної системи мешканців низинних і гірських районів, які є складовими Закарпатської області, залежно від конституціональних особливостей організму здорового населення є актуальним і соціально значимим.

Матеріали та методи. Мета роботи – оцінити динаміку змін функціональних показників серцево-судинної системи в процесі виконання фізичної роботи у юнаків-мешканців низинних районів Закарпатської області різних морфологічних типів. Дослідження проводилися у 112 юнаків постпубертатного періоду онтогенезу, мешканців районів, що розташовані на висоті до 400 м над рівнем моря, Закарпатської області. Вік обстежених 17-21 рік. Для проведення констатувального експерименту, що виконувався на базі кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін ДВНЗ «УжНУ», був застосований моніторинг серцевого ритму з використанням нагрудного датчика пульсу TOPCOM HB 8M00 та сфігмоманометрія. Спостереження, реєстрація та аналіз адаптаційних змін функціональних показників серцево-судинної системи здійснювалися під час велоергометрії

після двох навантажень потужністю 1 Вт/кг і 2 Вт/кг з інтервалом 5 хвилин одразу після роботи і тричі по її завершенню (через 1, 2 і 3 хвилини) [14]. Морфологічний тип тілобудови визначали методом каліперометрії за методикою Хіт-Картера, додатково використовуючи металевий штангенциркуль [15]. Шляхом біоімпедансометрії визначали відносний вміст жирового та м'язового компонентів маси тіла за критеріями McCarthy та D. Gallagher [16; 17]. Статистичну обробку результатів дослідження здійснювали з використанням електронних таблиць Microsoft Excel 2010.

Результати дослідження. Показником, що вказує на функціональну готовність організму до фізичних навантажень, є швидкість відновлення частоти серцевих скорочень (ЧСС). З покращенням функціональної готовності швидкість відновлення ЧСС після припинення навантаження зростає. В процесі дослідження нами встановлено специфіку відновлення ЧСС у юнаків-мешканців низинних районів Закарпаття (рис. 1).

В першу хвилину відновного періоду величина зменшення ЧСС майже не залежить від інтенсивності навантаження, однак, в подальшому простежується пряма залежність між інтенсивністю навантаження та ступенем зниження ЧСС. Так, у юнаків при ЧСС 130-140 уд·хв⁻¹ через 120 с вона зменшилась в середньому на $35,7 \pm 1,04$ уд·хв⁻¹, а при частоті 180-190 уд·хв⁻¹ на $56,8 \pm 1,28$ уд·хв⁻¹. Через 180 с відновного періоду при ЧСС 130-140 уд·хв⁻¹ її зниження становило в середньому $35,9 \pm 1,19$ уд·хв⁻¹, а при частоті 180-190 уд·хв⁻¹ – $57,3 \pm 1,19$ уд·хв⁻¹. Причому, зі 120 с до 180 с відновного періоду зниження ЧСС значно уповільнюється.

Відомо, що циклічні вправи викликають характерну реакцію судин, яка в нормі проявляється підвищенням систолічного та незмінністю або зниженням діастолічного артеріального тиску (ДАТ). Підвищення систолічного тиску головним чином пов'язано зі збільшенням сили серцевих скорочень, а зниження діастолічного тиску – з розширенням артерійол у м'язах, які працюють. Підвищення ДАТ розцінюється як негативна реакція судин на фізичне навантаження та свідчить про лабільну гіпертонію або гіпертонічну хворобу.

В процесі виконання фізичної роботи ми звертали увагу на тип змін ДАТ залежно від потужності навантаження, табл. 1. При виконанні навантаження 2 Вт/кг, кількість випадків зниження ДАТ нижче вихідного рівня була меншою 58,93%, ніж при виконанні навантаження 1 Вт/кг. Також при потужності навантаження 2 Вт/кг ми спостерігали «феномен нескінченного тону», коли числове значення ДАТ під час виконання циклічної роботи не підлягало реєстрації. «Феномен нескінченного тону» є фізіологічною ознакою. Як патологічне явище, «феномен нескінченного тону» розглядається лише тоді, коли він простежується протягом більше, ніж 2 хв після припинення фізичної роботи.

У ході дослідження нам вдалося встановити, що серед обстежених юнаків після завершення експерименту реєструвалася кількість осіб, у яких дозована фізична робота на велоергометрії викликала негативну реакцію судин (табл. 1).

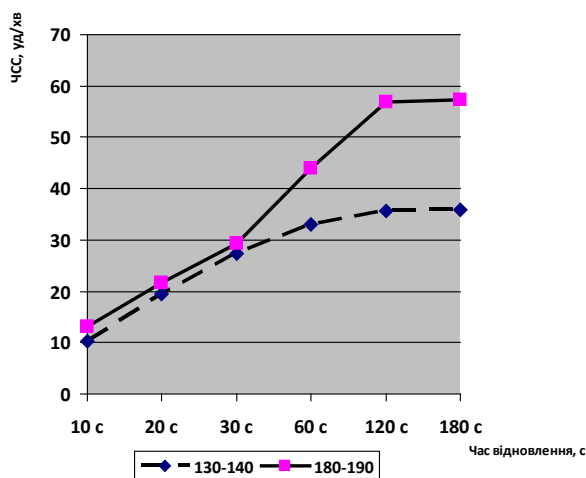


Рис. 1. Динаміка зменшення ЧСС (уд·хв⁻¹) після припинення фізичної роботи на велоергометрії, $M \pm m$

Кількість юнаків із підвищеним діастолічним тиском після виконання роботи потужністю 1 Вт на 1 кг маси тіла становила 6,25% осіб, а після виконання навантаження потужністю 2 Вт/кг маси тіла кількість таких осіб становила 1,79%. «Феномен нескінченного тону» спостерігався у юнаків лише після виконання роботи потужністю 2 Вт/кг маси тіла, кількість осіб становила 39,29%.

При аналізі динаміки змін ДАТ при дозованих фізичних навантаженнях у юнаків низинних районів залежно від соматотипу ми встановили, що найбільший відсоток осіб із підвищеним ДАТ після виконання навантаження потужністю 1 Вт/кг маси тіла становила у ендомезоморфів та у юнаків зі збалансованим соматотипом, а саме 7,14% та 9,09% осіб відповідно, табл. 2.

При велоергометричному навантаженні інтенсивністю близько 90% VO_{2max} (у змішаному режимі енергозабезпечення) у юнаків зменшується кількість осіб

зі зниженням ДАТ за рахунок збільшення числа тих, у кого спостерігається «феномен нескінченного тону».

При цьому, лише у ендомезоморфів та у юнаків зі збалансованим соматотипом спостерігається 7,14% та 4,55% осіб відповідно, у яких рівень ДАТ вище вихідного рівня. У представників чоловічої статі інших морфологічних груп після виконання фізичної роботи потужністю 2 Вт/кг маси тіла відсутні юнаки з підвищеним ДАТ.

Згідно даних, наведених в табл. 3 зміни функціональних показників серцево-судинної системи за показником ДАТ залежали від відносного вмісту скелетних м'язів, а саме: найбільша кількість юнаків 13,33%, які мали рівень ДАТ вище вихідного рівня, становили представники з відносним нормальним вмістом скелетних м'язів, тоді як кількість юнаків з високим та дуже високим відносним вмістом скелет-

Таблиця 1

Відсоткове співвідношення типів змін діастолічного артеріального тиску при дозованій фізичній роботі у юнаків низинних районів, n=112

Потужність навантаження	Тип змін діастолічного артеріального тиску, М±m							
	Нижче вихідного рівня		Дорівнює вихідному рівню		«Феномен нескінченного тону»		Вище вихідного рівня	
	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m
1 Вт · кг ⁻¹	67,86	63,68±0,96	25,89	79,66±0,93	-	-	6,25	83,57±3,78
2 Вт · кг ⁻¹	58,93	65,76±1,17	-	-	39,29	*	1,79	87,5±4,42

Примітка: * – числове значення не підлягає реєстрації.

Таблиця 2

Типи змін діастолічного артеріального тиску в процесі виконання циклічних навантажень у юнаків низинних районів залежно від соматотипу, n=112

Потужність навантаження	Тип змін діастолічного артеріального тиску, М±m							
	Нижче вихідного рівня		Дорівнює вихідному рівню		«Феномен нескінченного тону»		Вище вихідного рівня	
	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. М±m
Ендомезоморфи (n=14)								
1 Вт · кг ⁻¹	64,29	68,89±3,57	28,57	80,0±3,89	-	-	7,14	80,0
2 Вт · кг ⁻¹	57,14	71,88±2,55	-	-	35,71	*	7,14	90,0
Мезоморфи (n=55)								
1 Вт · кг ⁻¹	72,73	61,75±1,48	23,64	78,46±1,73	-	-	3,64	82,5±4,42
2 Вт · кг ⁻¹	58,18	60,78±3,47	-	-	41,82	*	-	-
Мезоекторморфи (n=14)								
1 Вт · кг ⁻¹	71,43	64,5±2,71	21,43	80,3±1,26	-	-	7,14	90,0
2 Вт · кг ⁻¹	64,29	67,2±2,98	-	-	35,71	*	-	-
Екторморфи (n=7)								
1 Вт · кг ⁻¹	57,14	58,75±5,61	28,57	79,0±1,77	-	-	14,29	80,0
2 Вт · кг ⁻¹	71,43	63,0±3,22	-	-	28,57	*	-	-
Збалансований соматотип (n=22)								
1 Вт · кг ⁻¹	59,09	66,9±2,6	31,82	81,4±3,0	-	-	9,09	90,0
2 Вт · кг ⁻¹	54,55	70,0±1,8	-	-	40,91	*	4,55	85,0

Примітка: * – числове значення не підлягає реєстрації.

Типи змін діастолічного артеріального тиску в процесі виконання циклічних навантажень у юнаків низинних районів залежно від м'язового компоненту маси тіла, n=112

Потужність навантаження	Тип змін діастолічного артеріального тиску, M±m							
	Нижче вихідного рівня		Дорівнює вихідному рівню		«Феномен нескінченного тону»		Вище вихідного рівня	
	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m
Нормальний вміст скелетних м'язів (33,3 – 39,3 %), n=15								
1 Вт · кг ⁻¹	53,33	64,4±3,98	33,33	82,0±2,15	-	-	13,33	87,0±1,77
2 Вт · кг ⁻¹	73,33	63,8±2,0	-	-	20,0	*	6,67	85,0
Високий вміст скелетних м'язів (39,4 – 44,0 %), n=45								
1 Вт · кг ⁻¹	68,89	64,2±1,55	24,44	80,0±2,0	-	-	6,67	85,0±10,46
2 Вт · кг ⁻¹	51,11	67,4±2,49	-	-	46,67	*	2,22	90,0
Дуже високий вміст скелетних м'язів (> 44,0 %), n=52								
1 Вт · кг ⁻¹	71,15	63,1±1,56	25,0	78,5±1,73	-	-	3,84	85,0±8,85
2 Вт · кг ⁻¹	61,54	64,5±1,30	-	-	38,46	*	-	-

Примітка: * – числове значення не підлягає реєстрації.

них м'язів, була меншою, 6,67% і 3,84% відповідно. Серед осіб з дуже високим відносним вмістом скелетних м'язів не зареєстровано осіб, у яких дозовані навантаження на велоергометрі потужністю 2 Вт/кг маси тіла викликала підвищення ДАТ. «Феномен нескінченного тону» спостерігався лише у юнаків, які виконували роботу при велоергометричному навантаженні інтенсивністю близько 90% VO_{2max} (у змішаному режимі енергозабезпечення).

Аналізуючи адаптаційні зміни функціонального стану серцево-судинної системи за показником ДАТ в процесі виконання роботи циклічного характеру, ми спостерігали залежність пристосувальних реакцій з боку артеріальних судин від відносного вмісту жирового компоненту. У юнаків, які мали низький відносний вміст жирового компоненту, виконуючи навантаження потужністю 2 Вт/кг, не реєструвалося підвищення ДАТ вище вихідного рівня, що є негативною реакцією судин на дозовану фізичну роботу. Натомість у представни-

ків чоловічої статі з нормальним та високим відносним вмістом жирового компоненту, спостерігалось підвищення рівня ДАТ вище вихідного рівня, як при навантаженні потужністю 1 Вт/кг у 6,67 % осіб, так і при потужності навантаження 2 Вт/кг у 1,22% та у 6,67% осіб відповідно. «Феномен нескінченного тону» спостерігався лише у юнаків, які виконували роботу при велоергометричному навантаженні інтенсивністю близько 90% VO_{2max} (у змішаному режимі енергозабезпечення), найбільша кількість таких осіб 41,46% спостерігалась серед представників низинних районів з нормальним відносним вмістом жиру (табл. 4).

Висновки. Результати дослідження показали, що після двох навантажень на велоергометрі, які збільшували ЧСС до 130-140 уд/хв⁻¹, динаміка відновлення ЧСС була такою, що у досліджуваних юнаків початок достовірного зниження фіксувався через 30 секунд після припинення циклічної роботи. Після навантаження потужністю 2 Вт/кг маси тіла з підвищенням

Типи змін діастолічного артеріального тиску в процесі виконання циклічних навантажень у юнаків низинних районів залежно від жирового компоненту маси тіла, n=112

Потужність навантаження	Тип змін діастолічного артеріального тиску, M±m							
	Нижче вихідного рівня		Дорівнює вихідному рівню		«Феномен нескінченного тону»		Вище вихідного рівня	
	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m	К-ть осіб, %	ДАТ, мм.рт.ст. M±m
Низький вміст жиру (< 8,0 %), n=15								
1 Вт · кг ⁻¹	73,33	64,1±2,5	20,0	80,0±1,7	-	-	6,67	90,0
2 Вт · кг ⁻¹	66,67	66,0±2,7	-	-	33,33	*	-	-
Нормальний вміст жиру (8,0 – 19,9 %), n=82								
1 Вт · кг ⁻¹	68,29	62,8±1,18	25,61	80,0±1,18	-	-	6,10	83,0±5,36
2 Вт · кг ⁻¹	57,32	64,8±1,49	-	-	41,46	*	1,22	85,0
Високий вміст жиру (19,9 – 24,9 %), n=15								
1 Вт · кг ⁻¹	66,67	68,9±3,57	26,67	78,0±4,29	-	-	6,67	80,0
2 Вт · кг ⁻¹	60,0	70,6±2,38	-	-	33,33	*	6,67	90,0

Примітка: * – числове значення не підлягає реєстрації.

ЧСС до 180-190 уд/хв⁻¹ початок достовірного зниження ЧСС реєструвався через 120 секунд.

Відмінності в артеріальній судинній відповіді на навантаження циклічного характеру спостерігалися у молодих чоловіків, мешканців низинних районів Закарпатської області, залежно від морфологічного типу та складу тіла. Під час фізичних навантажень з інтенсивністю 90% VO_{2max} лише у юнаків-ендомезоморфів та у юнаків зі збалансованим соматотипом спостеріга-

лося підвищення ДАТ вище вихідного рівня. Натомість у юнаків з низьким відносним вмістом жирового компонента та дуже високим відносним вмістом скелетних м'язів підвищення ДАТ вище вихідного рівня було відсутнє. Таким чином, відносне переважання жирового компонента і відносне зниження м'язового компонента у морфологічному типі представників чоловічої статі, викликало негативну судинну реакцію з підвищенням ДАТ вище вихідного рівня.

Література:

1. Analysis of Environmental and Person-Oriented Factors Influence on Dental Caries Intensity among Children Population of Transcarpathia / M.O. Fera, O.V. Fera, V.M. Kryvanych, L.M. Bilyschuk, S.B. Kostenko, A.V. Kryvanych, Y. Yavuz, M.Y. Goncharuk-Khomyn. *J. Int Dent Med Res*. 2020. 13(4). P. 1326-1333.
2. Enhancement of physical health in girls of 17-19 years by adoption of physical loads taking their somatotype into account / V. Miroshnichenko, S. Salnykova, V. Bohuslavskaya, M. Pityn, Y. Furman, V. Iakovliv, Z. Semeryak. *Journal of Physical Education and Sport*. 2019. Vol. 19. P. 387–392. <https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s2058>
3. Improvement of adolescents' adaptation to the adverse meteorological situation by means of physical education / I. Gorshova, V. Bohuslavskaya, Y. Furman, Y. Galan, I. Nakonechnyi, M. Pityn. *Journal of Physical Education and Sport*. 2017. № 17(2). P. 892-898. DOI: <https://doi.org/10.7752/jpes.2017.02136>
4. Gaul C.A. Differences in anaerobic performance between boys and men / C.A. Gaul, D. Docherty, R. Cicchini. *Int. J. Obes Relat. Metab. Disord*. 2000. Vol.24. P. 7841-7848.
5. Gender Differences and the Influence of Body Composition on Land and Pool-Based Assessments of Anaerobic Power and Capacity / J. Zera, E. Nagle, E. Connell, E. Curtin W. Marget, A. Simonson, T. Nagai, J. Abt, S. Lephart. *Int J. Environ Res Public Health*. 2022. 19(13). 7902. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19137902>
6. Квашніна Л. В. Поняття адаптації і адаптованість як інтегральний показник здоров'я. *Перинатологія та неонатологія*. 2000. № 1. С. 33–36.
7. Karstoft K. Pedersen B. K. Skeletal muscle as a gene regulatory endocrine organ. Current opinion in clinical nutrition and metabolic care. 2016. 19(4). P. 270-275.
8. Overweight and obesity among Chinese college students: an exploration of gender as related to external environmental influences / S. Jiang, S. Peng, T. Yang, R.R. Cottrell, L. Am. Li. *Journal of Men's Health*. 2018. 12. P. 926–934. DOI: <https://doi.org/10.1177/1557988317750990>
9. Ryan-Stewart H., Faulkner J., Jobson S. The influence of somatotype on anaerobic performance. *PLoS One*. 2018. 13(5):e0197761. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197761>
10. Boiko M. O. Features of aerobic productivity of athletes of 17-21 years of different sports specialization. *Modern Scientific Researches*. 2020. 12(2). P. 68-77. DOI: <https://doi.org/10.30889/2523-4692.2020-12-02-046204>
11. Del Rosso S., Nakamura F.Y., Boullousa D.A. Heart rate recovery after aerobic and anaerobic tests: is there an influence of anaerobic speed reserve? *Journal of Sports Sciences*. 2017. № 35(9). P. 820–827. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1166391>
12. Kenney L. W., Wilmore J.H., Costill D. L. Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics, 2019. 648 p.
13. Physical Health of Females from the Lowland Districts of Zakarpattia According to the Metabolic Level of Aerobic and Anaerobic Energy Supply Depending on the Component Body Composition / O. Dulo, Yu. Furman, O. Maltseva, S. Samoilenko. *Wiadomości Lekarskie*. 2023. 76(3). P. 568-574. DOI: <https://doi.org/10.36740/wlek202303116>
14. Фурман Ю.М., Мірошніченко В.М., Драчук С.П. Перспективні моделі фізкультурно-оздоровчих технологій у фізичному вихованні студентів вищих навчальних закладів. Київ: Олімпійська література, 2013. 175 с.
15. Carter J. The Heath-Carter anthropometric somatotype. Instruction manual. Department of Exercise and Nutritional Sciences San Diego State University. CA. U.S.A., 2003. 26 p.
16. Berral-Aguilar A.J. Body Composition, Somatotype and Raw Bioelectrical Impedance Parameters of Adolescent Elite Tennis Players: Age and Sex Differences / A.J. Berral-Aguilar, S. Schröder-Vilar, D. Rojano-Ortega, F. Berral-de la Rosa. *J. Int J Environ Res Public Health*. 2022. 19(24). 17045.
17. Dahlmann N., Demond V. A new anthropometric model for body composition estimation: Comparison with a bioelectrical impedance consumer device. *PLoS One*. 2022. 17(9): e0271880.

References:

1. Fera, M.O., Fera, O.V., Kryvanych, V.M., Bilyschuk, L.M., Kostenko, S.B., kryvanych, A.V., Yavuz, Y., Goncharuk-Khomyn, M.Y. (2020). Analysis of environmental and person-oriented factors influence on dental caries intensity among children population of Transcarpathia. *J. Int Dent Med Res*, 13(4):1326-1333.
2. Miroshnichenko, V., Salnykova, S., Bohuslavskaya, V., Pityn, M., Furman, Y., Yakovlev, V., Seminyak, Z. (2019). Enhancement of physical health in girls of 17-19 years by adoption of physical loads taking their somatotype into account. *Journal of Physical Education and Sport*, Vol. 19:387–392. DOI: <https://doi.org/10.7752/jpes.2019.s2058>
3. Gorshova, I., Bohuslavskaya, V., Furman, Y., Galan, Y., Nakonechnyi, I., Pityn, M. (2017). Improvement of adolescents' adaptation to the adverse meteorological situation by means of physical education. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(2):892-898. DOI: <https://doi.org/10.7752/jpes.2017.02136>

4. Gaul, C.A., Docherty, D., Cicchini, R. (2020). Differences in anaerobic performance between boys and men. *Int. J. Obes Relat. Metab. Disord*, 24:7841-7848.
5. Zera, J., Nagle, E., Connell, E., Curtin, W. Marget, A. Simonson, T. Nagai, J. Abt, S. Lephart. (2022). Gender Differences and the Influence of Body Composition on Land and Pool-Based Assessments of Anaerobic Power and Capacity. *Int J. Environ Res Public Health*, 19(13):7902. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19137902>
6. Kvashnina, L. V. (2000). Ponyattya adaptatsiyi i adaptovanist' yak intehral'nyy pokaznyk zdorov'ya [Concept of adaptation and adaptability as integral health indicator]. *Perynatolohiya ta pediatriya*, 1: 33-36. [in Ukrainian]
7. Karstoft, K., Pedersen, B. K. (2016). Skeletal muscle as a gene regulatory endocrine organ. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 19(4):270-275.
8. Jiang, S., Peng, S., Yang, T., Cottrell, R.R., Am. Li., L. (2018). Overweight and obesity among Chinese college students: an exploration of gender as related to external environmental influences. *Journal of Men's Health*, 12:926–934. DOI: <https://doi.org/10.1177/1557988317750990>
9. Ryan-Stewart, H., Faulkner, J., Jobson, S. (2018). The influence of somatotype on anaerobic performance. *PLoS One*, 13(5): e0197761. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197761>
10. Boiko, M. O. (2020). Features of aerobic productivity of athletes of 17-21 years of different sports specialization. *Modern Scientific Researches*, 12(2):68-77. DOI: <https://doi.org/10.30889/2523-4692.2020-12-02-046204>
11. Del Rosso, S., Nakamura, F.Y., Boullousa, D.A. (2017). Heart rate recovery after aerobic and anaerobic tests: is there an influence of anaerobic speed reserve? *Journal of Sports Sciences*, 35(9):820–827. DOI: <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1166391>
12. Larry Kenney, W., Wilmore, J.H., Costill, D.L. (2019). *Physiology of Sport and Exercise. Human Kinetics*. 648 p.
13. Dulo, O. Hema-Bahyna, N., Akhmetov, R., Goncharuk-Khomyn, M., Lokota, Ye., Onishchuk, V., Lokota, Yu. (2023). Physical Health of Males Residents from the Lowland Districts of Ukrainian Transcarpathia During the Post-Pubertal Period Depending on the Component Body Composition. *Journal of International Dental and Medical Research*, 16(4):1632-1637. DOI: http://www.jidmr.com/journal/wp-content/uploads/2023/12/37-D23_2949_Myroslov_Goncharuk_Khomyn_Ukraine.pdf
14. Furman, Yu.M., Miroshnichenko, V.M., Drachuk, S.P. (2013). Perspektyvni modeli fizkul'turno-ozdorovchykh tekhnolohiy u fizychnomu vykhovanni studentiv vyshchych navchal'nykh zakladiv [Promising models of physical culture and health technologies in physical education of students of higher educational institutions]. Kyiv : Olympic literature, 175 p. [In Ukrainian].
15. Carter, J. (2003). The Heath-Carter anthropometric somatotype. Instruction manual. Department of Exercise and Nutritional Sciences San Diego State University. CA. U.S.A., 26 p.
16. Berral-Aguilar, A.J., Schröder-Vilar, S., Rojano-Ortega, D., Berral-De La Rosa, F. (2022). Body Composition, Somatotype and Raw Bioelectrical Impedance Parameters of Adolescent Elite Tennis Players: Age and Sex Differences. *J. Int J Environ Res Public Health*, 19(24):17045.
17. Dahlmann, N., Demond, V. (2022). A new anthropometric model for body composition estimation: Comparison with a bioelectrical impedance consumer device. *PLoS One*, 17(9): e0271880.

ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ФУНКЦІЇ ЯК ОСНОВА ЗДОРОВ'Я СТУДЕНТСЬКОЇ МОЛОДІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ: ТЕОРЕТИЧНИЙ ДИСКУРС

Коваль Катерина Геннадіївна,

аспірантка,

викладачка кафедри анатомії, фізіології та фізичної реабілітації

Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького

ORCID ID: 0009-0003-2920-2343

У статті представлено результати теоретичного аналізу літературних джерел відносно проблеми психофізіологічних основ здоров'я здобувачів вищої освіти України в умовах воєнного стану. Відомо, що воєнний стан провокує розвиток негативних змін у психічному та фізичному здоров'ї студентської молоді. Сучасні науково-методичні підходи до підтримки здоров'я здобувачів здебільшого зосереджені на лікуванні та реабілітації вже виявлених психофізіологічних або нервових порушень, що значно обмежує можливість їхнього попередження або корекції на ранніх етапах розвитку. Тому метою дослідження було з'ясувати стан вивченості особливостей психофізіологічних функцій як основ здоров'я здобувачів закладів вищої освіти (ЗВО) України в умовах воєнного стану. У роботі використано методи аналізу, систематизації та узагальнення сучасної вітчизняної та іноземної наукової літератури. Виявлено, що уявлення про механізми психофізіологічної підтримки здоров'я здобувачів ЗВО в умовах воєнного стану потребують перегляду, уточнення та змін, оскільки враховують лише психічну сторону проблеми, втрачаючи з виду фізіологічні аспекти нервової діяльності особистості в умовах тривалої дії стресу. Акцентовано на необхідності запровадження шляхів підвищення стресостійкості молоді в умовах екстремальних ситуацій. Наголошується, що проведення своєчасної діагностики щодо змін у механізмах нервової регуляції, стану психофізіологічних функцій, отриманих за допомогою об'єктивних фізіологічних методик та психологічного тестування може сприяти уточненню розуміння особливостей здоров'я студентської молоді та оптимізувати навчальну діяльність в умовах екстремальних ситуацій та хронічного стресу.

Ключові слова: психофізіологічні функції, стрес, психофізіологічні основи здоров'я, ЗВО, тривожність, адаптація, екстремальні ситуації, воєнний стан, стресостійкість, студентська молодь.

Koval Kateryna. Psychophysiological functions as the basis of students' health under conditions of martial law: theoretical discourse

The article presents the results of the theoretical analysis of literary sources regarding the problem of psychophysiological foundations of applicants' health of higher education in Ukraine under martial law. It is known that martial law provokes the development of negative changes in the mental and physical health of student youth. Modern scientific and methodological approaches to maintaining the health of students are mainly focused on the treatment and rehabilitation of already identified psychophysiological or nervous disorders, which significantly limits the possibility of their prevention or correction in the early stages of development. Therefore, the purpose of the study was to find out the state of study of the features of psychophysiological functions as the basis of the students' health of higher education institutions (HEI) of Ukraine under martial law. We used the methods of analysis, systematization and generalization of modern domestic and foreign scientific literature. It was found that ideas about the mechanisms of psychophysiological support for the health of HEI students in the conditions of martial law require revision, clarification and changes, since they take into account only the mental side of the problem, losing sight of the physiological aspects of the nervous activity of the individual in conditions of prolonged stress. The need to introduce ways to increase the stress resistance of young people in extreme situations is emphasized. It is noted that the timely diagnosis of changes in the mechanisms of nervous regulation, the state of psychophysiological functions obtained with the help of objective physiological techniques and psychological testing can help to clarify the understanding of the health characteristics of student youth and optimize learning activities in extreme situations and chronic stress.

Key words: psychophysiological functions, stress, psychophysiological foundations of health, HEI, anxiety, adaptation, extreme situations, martial law, stress resistance, student youth.

Вступ. Стан здоров'я студентської молоді є одним з критичних факторів у визначенні потенціалу її самореалізації в професійній діяльності та особистому житті. Відомості про психофізіологічний стан цієї категорії населення України останнім часом свідчать про значне погіршення здоров'я здобувачів закладів вищої освіти (ЗВО). Варто відзначити, що в умовах воєнного стану молодь є однією з найменш соціально захищених груп, що піддаються впливу багатьох як об'єктивних, так і суб'єктивних чинників [4]. Дослідження, проведені українськими вченими, вказують на розвиток негативних змін у психофізіологічних показниках здобувачів вищої освіти, зокрема, стрімке зниження реактивності

сенсорних і сенсомоторних систем, підвищення стомлюваності, погіршення пам'яті та уваги на фоні зменшення мотивації до навчальної діяльності [1; 2; 3; 4]. Така тенденція ставить під сумнів ефективність сучасного навчального процесу, оскільки здоров'я безпосередньо впливає на здатність здобувача вищої освіти до самореалізації і досягнення високих результатів у майбутній професійній діяльності.

Психофізіологічні основи здоров'я як такі, що створюють необхідне підґрунтя для оптимальної адаптації організму до умов навколишнього середовища дозволяє розглядати їх як комплексне явище, яке поєднує фізичний, психічний та соціальний аспекти. За визначенням

Всесвітньої організації охорони здоров'я, зміст здоров'я полягає не лише у відсутності хвороб, але характеризується і станом повного благополуччя. Тому розуміння здоров'я з наукової точки зору, повинно включати як дефініцію фізичного та психічного здоров'я, так і розмежування нормальних та патологічних станів у психофізіологічному контексті [5; 6].

Натепер особливої ваги набуває питання здоров'я студентської молоді, як майбутнього країни, що перебуває в умовах сучасної геополітичної ситуації. Військові дії, які розгортаються на території України, чинять значний вплив на психофізіологічний статус молоді, і студентів ЗВО зокрема. Тривалий стрес, спричинений воєнним станом та повномасштабним вторгненням Росії в Україну, що триває понад три роки, став серйозним викликом для національного здоров'я. Дослідження підтверджують, що більшість українців переживають постійний стрес, який негативно позначається на їхньому фізичному та психічному здоров'ї. Життя студентів характеризується постійними денними і нічними виснажливими повітряними тривогами, що провокують негативні переживання, необхідністю внутрішніх територіальних переміщень, соціальною нестабільністю, внаслідок втрати рідних та близьких, домівки і ін., що відбувається на фоні високих вимог навчального процесу у ЗВО [7; 8; 9].

У цьому контексті питання про збереження здоров'я здобувачів вищої освіти набуває особливої актуальності. Упродовж навчання у ЗВО, підвищення інтелектуального навантаження та відсутність належної уваги до власного здоров'я провокують деградацію адаптаційних механізмів молодого покоління українців. Згідно з результатами недавніх медичних обстежень, відзначається значне погіршення психофізичного стану студентів. Зокрема, спостерігається зростання кількості захворювань серцево-судинної, дихальної систем, органів зору, слуху, хірургічних і гінекологічних хвороб та збільшується рівень психоневрологічних порушень [7; 8; 10; 11].

За таких обставин, слід наголосити на важливості зміцнення та збереження здоров'я студентської молоді через створення системи ефективних методів контролю їх психофізіологічних функцій під час навчального процесу у ЗВО, що сприятиме підтримці психофізичного здоров'я здобувачів, їх адаптації до сучасних умов освіти та виховання. Автори підкреслюють, що психофізіологічне забезпечення навчального процесу є концептуально ширшим поняттям ніж термін «супровід навчальної діяльності», оскільки передбачає не лише підтримку здобувачів вищої освіти з боку викладачів і психологів, а й можливості активізації внутрішніх механізмів саморегуляції, саморозвитку та самоактуалізації, що здатне забезпечити їх ефективну адаптацію до навчальних та життєвих викликів [8; 11; 12]. Крім того, наразі недостатньо вивченими залишаються і аспекти психічного здоров'я студентства та пов'язані з ним зрушення у психічних та психофізіологічних процесах внаслідок тривалої дії різних екстремальних ситуацій сьогодення.

Отже, вивчення психофізіологічних функцій студентської молоді як основ здоров'я та розробка на їхній основі ефективних методик для його підтримки є важливим напрямом сучасних наукових досліджень, що має значення для профілактики, лікування та реабілітації нейросенсорних захворювань. З іншого боку, вивчення впливу екстремальних ситуацій на здоров'я здобувачів ЗВО дозволить розробити стратегії підвищення стресостійкості, що є необхідним у наш час [12; 13; 14].

Враховуючи такі виклики, розробка та вдосконалення методів оптимізації психофізіологічних функцій та підвищення стресостійкості організму повинна стати невід'ємною частиною сучасних наукових розробок. До них також слід віднести вивчення генезу емоційного інтелекту, розширення соціальних навичок, саморозвитку, самоконтролю тощо. Активізація психофізіологічних функцій, зміцнення стресостійкості можуть стати важливою складовою підтримки здоров'я здобувачів ЗВО, а недостатність розробки цієї проблеми актуалізує наші дослідження.

Метою дослідження було з'ясувати стан вивченості особливостей психофізіологічних функцій як основ здоров'я здобувачів ЗВО України в умовах воєнного стану.

Матеріал та методи. В ході дослідження ми використовували методи аналізу, систематизації та узагальнення сучасної наукової літератури.

Результати дослідження. Повномасштабне вторгнення, яке триває на території України з 2022 року, суттєво вплинуло на психофізичне здоров'я всього населення. Збільшення рівня тривожності, розвиток адиктивної поведінки та інших патологічних психологічних проявів стали очевидними наслідками тривалого впливу стресогенних факторів воєнного стану. У зв'язку з цим, дослідження психофізіологічних функцій в умовах стресу, їх теоретичних основ, а також розробка та вдосконалення методів підвищення стресостійкості організму для запобігання негативних наслідків стресу, є одними з найбільш актуальних наукових завдань нашого часу.

Історія дослідження стресу налічує вже понад півстоліття. Одним із засновників вивчення цього явища став канадський фізіолог Г. Сельє, який в середині XX століття детально описав та обґрунтував стрес як фізіологічну реакцію організму, спрямовану на адаптацію до змін навколишнього середовища для збереження його гомеостазу. Він визначив стрес як механізм захисту, який, однак, може стати шкідливим при хронічному впливі стресогенних факторів, що призводять до виснаження ресурсів організму та переходу в патологічний стан. Г. Сельє виокремлював три стадії стресу: тривожність, опір і виснаження [12; 13; 15]. Автори наголошують, що тривожність виявляється на етапі сприйняття загрози, після чого починається мобілізація фізіологічних ресурсів для її подолання. Однак підкреслюється, що за умов недостатнього відновлення, це може призвести до виснаження та розвитку хронічного стресу. У той же час, на сьогодні ні в кого із вчених не виникає сумнівів, що без стресу неможливо було б досягти високих результатів у різних сферах життя, адже стресові ситуації стимулюють активізацію когнітивних та фізі-

ологічних процесів, які необхідні для прийняття швидких рішень [12; 14].

На подальший розвиток теорії стресу значно вплинув науковець Р. Лазарус, який ще у 1966 році запропонував розрізняти фізіологічний та психологічний стрес. Р. Лазарус звернув увагу на важливість когнітивного аспекту, тобто здатності особистості оцінювати стресову ситуацію та відповідно реагувати на неї. В його роботах стрес був трактований як результат дисбалансу між оцінкою ситуації і власними ресурсами для її подолання. Зокрема, Р. Лазарус висунув ідею, що емоційна реакція людини на стрес є важливою складовою адаптаційного процесу [3; 4]. Низка сучасних авторів вважають, що стратегії адаптації, такі як емоційне регулювання та зміна оцінки стресогенної ситуації, особливості психофізіологічних функцій дозволяють людині знижувати рівень стресу і покращувати здатність до адаптації [4]. Ф. З. Меєрсон, наголошує, що стрес є реакцією організму на нові чинники оточуючого середовища, що вимагають від суб'єкта мобілізації ресурсів для адаптації [15]. Водночас, психолог Р. Мей вважає, що тривожність є ключовим фактором у розвитку стресових розладів, вказуючи, що лише незначний відсоток людей здатний ефективно регулювати свою тривожність у стресових ситуаціях.

Слід зазначити, що навчальний процес у сьогоденних реаліях України вимагає від здобувачів ЗВО не лише інтелектуального навантаження, але й значних емоційних витрат через вплив численних стресових факторів, таких як: змішаний формат навчання, емоційне напруження, викликане постійними повітряними тривогами чи вимушене переселення через бойові дії тощо. Це спричинює порушення механізмів саморегуляції, знижуючи психофізіологічні ресурси, що, у свою чергу, негативно позначається на здатності людини до адаптації [6; 12].

Згідно результатів енцефалографічних досліджень Л. І. Юхименко, ключовим фактором, що визначає рівень стресостійкості виступає індивідуальна швидкість сприйняття подразників, яка безпосередньо залежить від часу їх реєстрації, що у подальшому впливає на їх обробку мозком [14; 17]. Автор зазначає, що таке бачення дозволить збільшити ефективність оцінки та врахування особливостей функціонування сенсорних систем, і, в свою чергу, може допомогти у розробці методик покращення стресостійкості через регуляцію когнітивних та сенсорних процесів. Оскільки стресостійкість є багатокомпонентним процесом, науковці наголошують, що необхідно враховувати всі етапи обробки інформації від її сприйняття до узагальнення, а також роль міжсистемної взаємодії в забезпеченні функціональної цілісності організму [14; 16; 17; 18]. Таким чином, важливим аспектом дослідження психофізіологічних функцій, що створюють біологічні основи здоров'я, є врахування індивідуальних особливостей протікання нервових процесів. У свою чергу, вони є підґрунтям для розвитку таких когнітивних функцій, як: пам'ять, увага, мислення, а також емоційних реакцій та побудови відповідних стратегій поведінки.

Автори погоджуються, що зважаючи на дефіцит таких досліджень, потреба в подальших наукових пошуках у цій сфері є очевидною.

Багаторічні спостереження Л. В. Гула щодо адаптації студентів до навчальних навантажень свідчать про те, що перший рік навчання у ЗВО є періодом найбільших функціональних змін, під час яких відбувається формування нового динамічного стереотипу. Водночас, автор наголошує, що незважаючи на завершення процесу адаптації у наступні роки, рівень психофізіологічного здоров'я студентів все ще продовжує погіршуватися. Це демонструє необхідність докладання організмом значних зусиль для забезпечення нормальної функціональної діяльності в процесі навчання, адже адаптація до навчального процесу відбувається за рахунок значного напруження всіх функціональних систем [8]. Науковці звертають увагу, що особливо значущим є період адаптації здобувачів першого курсу навчання у ЗВО, коли вони стикаються із численними змінами у соціальному, навчальному середовищі, стилі житті та побуту. Адже цей період характеризується зниженням фізіологічних резервів, рівня працездатності та швидкості адаптації до нових умов життя. Тому дослідники підкреслюють, що саме в цей період студентство найбільше схильне до чинників стресу, що може призвести до зростання тривожності або порушення нормального функціонування нервової системи [1; 8; 9; 12; 20]. Водночас, подібних досліджень, проведених в умовах воєнного стану вкрай мало.

У літературі є відомості про зв'язок тривожності та врівноваженості нервових процесів в організмі. Так, ще у 1982 році в роботах Д. Грея було встановлено, що високий рівень тривожності, як результат невідновленої нервової системи, знижує адаптаційні можливості організму [11]. Це підтверджується і результатами досліджень Ч. Д. Спілбергера (1983 р.), згідно з якими підвищена тривожність уповільнює реакції на зовнішні подразники і негативно позначається на когнітивних процесах. Схожі результати досліджень, отримані М. В. Макаренком, які автор пояснює тим, що студенти з високою тривожністю демонструють повільнішу реакцію на рухомі об'єкти внаслідок ослаблення нервових процесів у них. Навпаки, студенти з низькою тривожністю показали на 30% вищу точність реакції на рухомий об'єкт [16; 17; 20].

Дослідження психологічних характеристик особистості студентів із різним ступенем врівноваженості нервових процесів, вказали на взаємозв'язок між цією властивістю та психологічними чинниками. У своїх роботах Л. І. Юхименко акцентує увагу на можливу генетичну основу окремих психологічних аспектів особистості, а також на роль врівноваженості нервових процесів у формуванні поведінкових реакцій. Підкреслюється, що це має важливе значення, оскільки подібні взаємозв'язки можуть впливати на спектр психофізіологічних реакцій людини в різних життєвих умовах, зокрема під час стресових ситуацій. Дослідниця висуває гіпотезу щодо генетичної зумовленості певних психологічних особливостей, їхньої відносної

стійкості до впливу навколишнього середовища, виховання та професійної діяльності. Такий підхід дозволяє припустити існування взаємозв'язку між біологічними та соціальними аспектами особистості. Водночас, ці характеристики відіграють важливу роль і у підтриманні індивідуального психічного здоров'я [17; 19].

Слід наголосити, що не дивлячись на те, що велика кількість науковців присвятили свої дослідження розкриттю механізмів розвитку стресу, висловлюючи різноманітні точки зору відносно розуміння шляхів усунення негативних його сторін та розвитку стресостійкості, а також, незважаючи на значні досягнення в його розумінні, проблема його нейтралізації залишається відкритою. На думку Г. В. Мигаль і О. Ф. Протасенко, стресостійкість є комплексною психологічною характеристикою, яка забезпечує протистояння деструктивному впливу стресогенних факторів [13]. Наголошується, що стресостійкість є динамічним процесом, який дозволяє людині осмислювати і адаптуватися до стресових ситуацій, зберігаючи працездатність і емоційну стабільність. Т. М. Дудка розглядає стресостійкість як інтегративну особистісну властивість, що включає когнітивні, емоційні та інші психічні аспекти [13].

В умовах сучасного навчального процесу, який характеризується високим рівнем стресогенності, здобувачі ЗВО часто змушені стикатися із психоемоційними перевантаженнями. Інформаційний стрес, пов'язаний із необхідністю швидко обробляти велику кількість інформації, а також екзаменаційний стрес, зумовлений високою інтенсивністю навчальних навантажень, є одними з тих основних факторів, що впливають на здоров'я студентів. Повномасштабне вторгнення в Україну вносить суттєві корективи, що проявляються погіршенням психофізіологічного фону студентської молоді, зростанням рівня тривожності, розвитком депресивних станів, випадками порушення сну, що неминуче призводить до загального виснаження організму. Результати досліджень свідчать, що понад 70% здобувачів ЗВО відзначають підвищений рівень стресу через невизначеність майбутнього, економічні труднощі та втрату рідних і близьких. На тепер близько 40% студентської молоді повідомляє про проблеми відносно підвищеної втомлюваності. Значна частина серед них стикається з постійними тривожними думками, що знижує концентрацію уваги, впливаючи на академічну успішність. Воєнний стан також обмежив і фізичну активність студентства через руйнування інфраструктури, зменшення доступу до наявних спортивних закладів, зміну зони помешкання тощо. Дистанційне навчання, яке стало необхідним заходом під час повномасштабного вторгнення, поглибило соціальну ізоляцію та погіршило психоемоційний стан [2; 7; 9; 10].

Відомо, що психофізіологічні реакції організму є первинними відповідями на стресогенні фактори. Вони визначаються типом діяльності нервової системи, її властивостями та є біологічними індикаторами загального функціонального стану людини. Протікання психофізіологічних функцій пов'язане з мобілізацією систем організму для можливості його адаптації до стресових

впливів, зокрема через зміну в активності вищих відділів центральної нервової системи. Показано, що в умовах стресової ситуації, наприклад під час складання заліку чи екзамену, саме головний мозок відіграє важливу роль у процесі аналізування інформації про стресові чинники та формування відповідної реакції організму [14; 16; 17; 19]. Таке розуміння психофізіологічних основ реактивності організму розширює можливості щодо з'ясування як механізмів виникнення стресових реакцій, особливостей їх течії, різноманітних проявів, так і розробки методів корекції стратегій поведінки, засобів зниження рівня стресу та нормалізації функцій.

Автори наголошують, що когнітивні реакції тісно пов'язані з процесами обробки інформації, функцією пам'яті, властивостями уваги, мислення, які можуть зазнавати суттєвих змін в умовах екстремальних ситуацій. Низка авторів наводить дані, згідно яких зниження концентрації уваги та порушення процесів пам'яті значно ускладнюють сприйняття навчального матеріалу, що виявляється у зменшенні ефективності навчання [6; 14; 15; 18; 19]. Водночас, власний когнітивний компонент стресостійкості дозволяє студентам розробляти ефективні стратегії для боротьби із травмуючими факторами, адаптувати своє мислення до умов зміненої ситуації, формулювати чіткі завдання та застосовувати відповідні адаптивні модулі для подолання стресу [4; 8; 9; 12; 13].

Психологи наголошують, що не менш важливим є вивчення емоційно-мотиваційного компоненту стресостійкості, який визначає вплив стресу на внутрішні потреби студента, його переживання та систему цінностей. У цьому контексті автори виділяють принаймні два важливі аспекти: емоційне реагування на стресові фактори та мотивація досягнення поставлених цілей. Таким чином, емоційно-мотиваційний компонент психофізіологічних функцій є причетним не лише до підтримки внутрішньої рівноваги, а й сприяє формуванню стратегії поведінки для ефективного подолання життєвих криз [2; 5; 6; 10; 13]. Цікавими є дослідження, присвячені вивченню тривожності як складової емоційно-мотиваційний компоненту відповіді саме на вплив стресу. Результати таких досліджень показують, що високий рівень особистісної тривожності збільшує чутливість до стресового фактору. Це, у свою чергу, негативно позначається на здатності до адаптації та навчальної діяльності. Автори наголошують, що тривожність, зокрема особистісна, є стабільною рисою, яка може суттєво вплинути на здатність здобувача ЗВО долати стрес [1; 14; 20].

У літературі зазначається, що поряд з емоційними реакціями важливим є врахування регуляторного компоненту стресостійкості, який є визначальним для адаптації до стресових ситуацій і відновлення емоційної рівноваги через застосування особистісних ресурсів. Науковці підкреслюють, що роль цього компонента полягає у тому, щоб забезпечити відновлення психічної рівноваги та налагодити пристосування до нових, стресових умов існування і навчання. На їх думку, регуляція емоцій і поведінки під час стресових ситуацій дозволяє не лише зберегти здоров'я, а й підтримати високу

ефективність навчання. У цьому контексті важливим є врахування як біологічних, так і соціальних аспектів адаптації: взаємодія з викладачами, однокурсниками, соціальним оточенням, що важливі для економічного розвитку країни, у тому числі і у післявоєнний час її відбудови [11; 12; 13; 18].

Результати досліджень Л. А. Афанасенко, І. А. Мартинюк із співавторами показали, що здобувачі ЗВО, які характеризувались невідношенням нервових процесів у бік збудження відрізнялись вищими показниками реактивної тривожності, низьким рівнем реакції на рухомий об'єкт, гіршою точністю виконання завдання та найвищим часом реагування. У свою чергу, здобувачі першого курсу ЗВО з ознаками підвищеної тривожності допускали більшу кількість помилок та виявляли ознаки дискомфорту порівняно здобувачів старших курсів (3-го та 4-го), що свідчило про високу ймовірність розвитку у них дезадаптації [18]. Такі результати, ймовірно, підкреслюють необхідність введення підтримуючих та коригувальних психофізіологічних заходів у процесі навчання, зокрема для здобувачів-першокурсників ЗВО на ранньому етапі адаптації. Вони можуть включати як індивідуальну, так і групову методику корекції, підтримки, які повинні бути спрямовані на досягнення адекватного рівня протікання психофізіологічних функцій, підвищення стресостійкості та адаптаційних можливостей студентської молоді.

Враховуючи результати наведених вище робіт науковців, можна стверджувати, що врахування психофізіологічних особливостей та рівня стресостійкості є важливою складовою успішної адаптації здобувачів ЗВО до навчального процесу. Своєчасний моніторинг та підтримка на достатньому рівні функціонування психофізіологічних функцій та стресостійкості дозволить їм не тільки ефективно впоратися із навчальними та соціальними викликами, а й зберегти високу працездатність під час стресових ситуацій. Водночас, низький рівень психофізіологічних функцій як основ здоров'я молоді та невисока стресостійкість, спричинюють зниження опірних можливостей майбутнього спеціаліста, провокують погіршення успішності навчання та збільшують ймовірність виникнення нейросенсорних порушень.

Отже, діагностика та корекція стресових реакцій у здобувачів ЗВО має стати невід'ємною частиною навчально-методичної підтримки освіти. Психофізіологічне забезпечення здоров'я студентської молоді є багатофакторним процесом, що охоплює фізіологічні, психологічні, когнітивні, емоційні і ін. аспекти функціонування організму. В умовах інтенсивних навчальних навантажень, соціальних трансформацій і змін, глобальних викликів, зокрема воєнного стану під час повномасштабного вторгнення в Україну, питання підтримки психофізіологічних основ здоров'я здобувачів ЗВО є надзвичайно важливим. Враховуючи проаналізовані нами результати досліджень авторів, можна передбачати, що психофізіологічне забезпечення навчальної діяльності здобувачів повинно спрямовуватися на поліпшення психофізіологічних функцій, психологічної стійкості, усунення негативних емоційних проявів та профілактику стресових порушень. Психофізіоло-

гічне забезпечення навчальної діяльності здобувачів ЗВО має зосередитись за напрямками: ранньої психодіагностики, психологічної корекції, проведення профілактичних заходів та соціальної підтримки.

За даними авторів психодіагностика включає регулярне оцінювання психофізіологічних функцій, емоційного стану здобувачів, виявлення ознак стресу, рівня тривожності, запобігання нервово-психічним розладам та адаптаційним труднощам. У літературі наголошується, що збалансований емоційний стан та його зв'язок із психофізіологічними функціями є важливою основою здоров'я, що визначають когнітивні можливості, працездатність та загальне самопочуття [9]. Пропоновані авторами практики саморегуляції (медитація, дихальні техніки, фітнес, плавання, ерготерапія і ін.), сприяють розвитку стресостійкості [9; 12; 16; 19]. Разом із тим, у сучасних воєнних реаліях України рівень хронічного стресу серед здобувачів ЗВО продовжує зростати, що підвищує ризик емоційного вигорання, розвиток депресивних станів та психосоматичних розладів.

Також одним з важливих аспектів вивчення ролі психофізіологічних функцій як основ здоров'я студентської молоді в умовах воєнного стану, є можливість доступу до кваліфікованої допомоги через консультування, отримання освітніх програм з поліпшення фізичного і психічного здоров'я, розвитку емоційного інтелекту, застосування когнітивно-поведінкових методик та технік релаксації. Сьогодні в Україні зростає кількість таких ініціатив, спрямованих на підтримку ментального здоров'я [21], соціалізацію та управління стресом. Проте, наявність як фахівців, так і доступність даних ініціатив все ще залишається недостатньою в умовах воєнного стану.

Таким чином, оптимізація психофізіологічного забезпечення здоров'я студентської молоді потребує застосування комплексного наукового підходу. Його першочерговим завданням є проведення своєчасного дослідження стану психофізіологічних функцій, регуляторних механізмів нервової регуляції за допомогою об'єктивних фізіологічних методик та психологічного тестування, роз'яснювальна робота із здобувачами щодо розуміння особливостей здоров'я, оптимізації та індивідуалізації навчальної діяльності в умовах екстремальних ситуацій та хронічного стресу сьогодення. В умовах воєнного стану слід підтримувати та розвивати державні і громадські ініціативи, спрямовані на психосоціальну реабілітацію молоді, зниження рівня стресу, нормалізацію психофізіологічних показників функціонування систем організму та покращення якості життя студентів.

Теоретичний аналіз джерел літератури дозволив зробити важливі висновки щодо виявлення різноманітних реакцій здобувачів ЗВО на стресові ситуації, зокрема під час навчання в умовах воєнного стану, які вимагають значного психоемоційного напруження. Серед головних компонентів стресостійкості, виявлених авторами є: психофізіологічні, когнітивні, емоційно-мотиваційні та регуляторні. Кожен з них характеризується специфічним проявом у контексті здоров'я та навчальної діяльності [9; 11].

Висновки.

1. Дослідження основ здоров'я потребує врахування не лише психологічних показників, а і діагностику та врахування психофізіологічних функцій як об'єктивних показників благополуччя та успішності.

2. Повномасштабне вторгнення в Україну суттєво посилює рівень тривожності серед студентів, що негативно вплинуло на їхнє психофізіологічне здоров'я.

3. Неврівноваженість нервової системи студентів є ключовим фактором розвитку тривожності та порушення когнітивної функції. Підвищений рівень тривожності студентів корелює з уповільненням когнітивних процесів, із зрівноваженістю процесів збудження та гальмування і погіршенням сенсомоторної реакції.

4. Студенти першокурсники демонструють нижчу стресостійкість та врівноваженість нервових процесів і вищу тривожність, а отже показують гірші результати адаптації, порівняно зі старшокурсниками.

5. Негативний вплив екстремальних ситуацій та стресових чинників на здоров'я здобувачів ЗВО зумовлює необхідність розробки нових ефективних психофізіологічних, соціальних та освітніх підходів для захисту організму студентської молоді від впливу екстремальних ситуацій та довготривалого стресу.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці простих і доступних методів діагностування та контролю факторів, які впливають на психофізіологічні основи здоров'я здобувачів ЗВО, що навчаються в умовах воєнного стану.

Література:

1. Lobato-Baez, Mariana, Morales-Rosales, Luis Alberto, Algreto-Badillo, Ignacio and Rodríguez-Rangel, Héctor. Analysis of stress and anxiety in university students to identify correlated factors. *Journal Educational Theory*. 2021. Vol. 5, № 13. P. 10–19. DOI: <https://doi.org/10.35429/10.35429/jet.2021.13.5.10.19>.
2. Овчаренко О. Ю. Психоемоційний стан студентів в умовах збройного конфлікту. *Габітус*. 2023. Вип. 53. С. 75–81. URL: <http://habitus.od.ua/journals/2023/53-2023/12.pdf> (дата звернення: 19.02.2025).
3. Кривошей К. Ю. Вплив стресу на здобувачів вищої освіти в умовах військового конфлікту. *Інноваційна педагогіка*. 2024. Вип. 71. Т. 2. С. 57–63. URL: http://www.innovpedagogy.od.ua/archives/2024/71/part_2/13.pdf (дата звернення 19.02.2025)
4. Предко В. В., Сомова О. О. Вплив війни на зміну рівня стресу та стратегій збереження життєстійкості українців. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Психологія*. 2022. Вип. 33 (72). №4. С. 89–98. URL: https://psych.vernadskyjournals.in.ua/journal/4_2022/4_2022.pdf (дата звернення: 19.02.2025).
5. Прокоф'єва Л. О. Особливості психологічного стану студентської молоді в умовах війни. *Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського освітнього простору*. 2023–2024. Т. 92. № (I) 2. С. 146–156. DOI: <https://doi.org/10.38014/osvita.2023.92.00>.
6. Кий-Кокарева В. Г. Ставлення студентської молоді до свого здоров'я в умовах війни. *Україна. Здоров'я нації*. 2023. № 3 (73). С. 63–67. DOI: <https://doi.org/10.32782/2077-6594/2023.3>.
7. Стресові стани населення України в контексті війни: результати всеукраїнського опитування : Офіц. сайт. URL: <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naseleण्या-ukrayiny-v-konteksti-vijny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/> (дата звернення: 19.02.2025).
8. Гула Л. В. Навчання студентів ЗВО та їх адаптація в умовах воєнного стану. *Інноваційна педагогіка*. 2024. Вип. 71. Т. 1. С. 129–133. URL: http://innovpedagogy.od.ua/archives/2024/71/part_1/26.pdf (дата звернення: 19.02.2025).
9. Serheta, I. V. Features of adaptation of student youth to stressed educational activities in the conditions of modern institutions of higher education. *Intellectual and technological potential of the XXI century: Monographic series "European Science" Book 23. Part 1 / ed. by ScientificWorld-NetAkhatAV. Karlsruhe, 2023. P. 144–154. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-23-01-001>.*
10. Барчі Б. В. Психологічне здоров'я: надання психологічних послуг населенню. *Психічне здоров'я особистості у кризовому суспільстві: збірник матеріалів IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Львів, 18 жовтня 2019 р. Львів, 2019. С. 18–21.*
11. Мороз Л. І., Сафін О. Д. Модель розвитку стресостійкості здобувачів вищої освіти в умовах воєнного стану. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Психологія*. 2022. Т. 33 (72) № 5. С. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.32782/2709-3093/2022.5/08>.
12. Шамне А., Шмаргун В., Мартинюк І., Афанасенко Л. Розвиток стресостійкості особистості в умовах закладів вищої освіти. *Психологія стресостійкості студентської молоді: монографія / За заг. ред. В. Шмаргуна. Київ, 2018. С. 140–200. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/423be051-1364-4d77-93a6-68d625066c4e/content> (дата звернення 20.02.2025).*
13. Шпак М. М. Стресостійкість особистості в дискурсі сучасних психологічних досліджень. *Габітус*. 2022. Вип. 39. С. 199–203. URL: <http://habitus.od.ua/journals/2022/39-2022/36.pdf> (дата звернення: 19.02.2025).
14. Коваль К. Г., Хоменко С. М., Юхименко Л. І. Психофізіологічні основи поняття стресостійкості людини. *XL International scientific and practical conference «Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society»*, Salzburg, September 25–27. 2024. Salzburg, 2024. P. 29–31. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024>.
15. Анатомія стресу. Ганс Сельє та послідовники: збірник / уклад. Є. Скіндер-Влас. Київ : Видавничий дім «Медкнига». 2024. 148 с.
16. Yukhymenko L. I., Khomenko S. M., Pliukha L. M. Diagnosis and monitoring of the functioning of the human nervous system. *Modern methods of diagnosing diseases: Collective monograph / ed. by PC Technology Center. Kharkiv, 2023. С. 69–94. DOI: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-65-7>.*

17. Yukhimenko Lilia. Elektroencephalographic correlates of the speed (time) of the central processing of information by the higher parts of brain in humans with the different individual-typological features of the higher nervous activity. "Eureka: Life Science". *NeuroScience*. 2016. № 2(2). P. 51–56. DOI: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2016.00068>.
18. Yukhymenko L. I. Biological and social aspects of human health as determinants of economic development. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2023. Vol. 9. № 3. P. 222–227. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2023-9-3-222-227>.
19. Юхименко Л. І. До питання про розкриття психофізіологічних основ особистості. Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference «International Forum: Problems and Scientific Solutions» InterConf, (25), Melbourne, August 6–8. 2020. Melbourne, 2020. P. 67–71. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/issue/view/6-8.08.2020/339> (дата звернення: 20.02.2025).
20. Koval K. H., Khomenko S. M. Characteristics of students' anxiety under the conditions of martial law: psychophysiological content. *Тенденції, проблеми та виклики сучасної фізіології рухової активності та фізкультурноспортивної реабілітації*: матеріали міжн. наук.-практичної конф, м. Черкаси-Київ, 27–28 листопада 2024 р. Черкаси-Київ, 2024. С. 153–154.
21. Всеукраїнська програма ментального здоров'я «Ти як?» : Офіц. сайт. URL: <https://howareu.com/produkty?v=665dcf7543ef2> (дата звернення: 20.02.2025).

References:

1. Lobato-Baez, Mariana, Morales-Rosales, Luis Alberto, Algreto-Badillo, Ignacio and Rodríguez-Rangel, Héctor. (2021). Analysis of stress and anxiety in university students to identify correlated factors. *Journal Educational Theory*, Vol.5, 13, 10–19. DOI: <https://doi.org/10.35429/10.35429/jet.2021.13.5.10.19>
2. Ovcharenko, O. Yu. (2023). Psykhoemotsiyni stan studentiv v umovakh zbroinoho konfliktu. [Psycho-emotional state of students in conditions of armed conflict]. *Habitus*, 53, 75–81. URL: <http://habitus.od.ua/journals/2023/53-2023/12.pdf> [in Ukrainian].
3. Kryvoshei, K. Yu. (2024). Vplyv stresu na zdobuvachiv vyshchoi osvity v umovakh viiskovoho konfliktu. [The impact of stress on higher education applicants in conditions of military conflict]. *Innovatsiina pedahohika*, 71, Vol. 2, 57–63. URL: http://www.innovpedagogy.od.ua/archives/2024/71/part_2/13.pdf [in Ukrainian].
4. Predko, V. V., Somova, O. O. (2022). Vplyv viiny na zminu rivnia stresu ta stratehii zberezhenia zhyttiistosti ukrainsiv. [The impact of the war on changing the level of stress and strategies for preserving the vitality of Ukrainians.]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Psykholohiia*, 33 (72), 4, 89–98. URL: https://psych.vernadskeyournals.in.ua/journal/4_2022/4_2022.pdf [in Ukrainian].
5. Prokofieva, L. O. (2023–2024). Osoblyvosti psykholohichnoho stanu studentskoi molodi v umovakh viiny. [Features of the psychological state of student youth in war conditions.]. *Vyscha osvita Ukrainy u konteksti intehtatsii do yevropeiskoho osvithnoho prostoru*, Vol. 92, (I) 2, 146–156. DOI: <https://doi.org/10.38014/osvita.2023.92.00> [in Ukrainian].
6. Kyi-Kokarieva, V. H. (2023). Stavlenia studentskoi molodi do svoho zdorovia v umovakh viiny. [The attitude of student youth to their health in war conditions.]. *Ukraina. Zdorovia natsii*, 3 (73), 63–67. DOI: <https://doi.org/10.32782/2077-6594/2023.3> [in Ukrainian].
7. Stresovi stany naselennia Ukrainy v konteksti viiny: rezultaty vseukrainskoho opytuvannia (2025). Ofitsiyni sait Sotsiologichnoi asotsiatsii Ukrainy. [Stressful conditions of the population of Ukraine in the context of war: the results of an all-Ukrainian survey. Official site of Sociological Association of Ukraine]. URL: <https://sau.in.ua/research/stresovi-stany-naselennya-ukrayiny-v-konteksti-viiny-rezultaty-vseukrayinskogo-opytuvannya/> [in Ukrainian].
8. Hula, L. V. (2024). Navchannia studentiv ZVO ta yikh adaptatsiia v umovakh voiennoho stanu. *Innovatsiina pedahohika*. [Training of students of higher education institutions and their adaptation under martial law]. *Innovatsiina pedahohika*, 71, Vol. 1, 129–133. URL: http://innovpedagogy.od.ua/archives/2024/71/part_1/26.pdf [in Ukrainian].
9. Serheta, I. V. (2023). Features of adaptation of student youth to stressed educational activities in the conditions of modern institutions of higher education. In *Intellectual and technological potential of the XXI century: Monographic series "European Science"* Book 23. Part 1. (pp. 144–154). Karlsruhe: ScientificWorld-NetAkhatAV. DOI: <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-23-01-001> [in Ukrainian].
10. Barchi, B. V. (2019). Psykholohichne zdorovia: nadannia psykholohichnykh posluh naselenniu [Psychological health: providing psychological services to the population], *Psykhichne zdorovia osobystosti u kryzovomu suspilstvi: zbirnyk materialiv IV Vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii* [Mental health of the individual in a crisis society: Proceedings of the IV all-ukrainian scientific and practical conference]. Lviv [in Ukrainian].
11. Moroz, L. I., Safin, O. D. (2022). Model rozvytku stresostiikosti zdobuvachiv vyshchoi osvity v umovakh voiennoho stanu. [Model of development of stress resistance of higher education applicants under martial law]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Psykholohiia*, Vol. 33 (72), 5, 48–53. DOI: <https://doi.org/10.32782/2709-3093/2022.5/08> [in Ukrainian].
12. Shamne, A., Shmarhun, V., Martyniuk, I., Afanasenko, L. (2018). Rozvytok stresostiikosti osobystosti v umovakh zakladiv vyshchoi osvity. [Development of stress resistance of the individual in the conditions of higher education institutions]. In *Psykhohiia stresostiikosti studentskoi molodi* [Psychology of stress resistance of student youth] (pp. 140–200). Kyiv: NUBiP Publishing Center of Ukraine. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/423be051-1364-4d77-93a6-68d625066c4e/content> [in Ukrainian].
13. Shpak, M. M. (2022). Stresostiikist osobystosti v dyskursi suchasnykh psykholohichnykh doslidzhen. [Stress resistance of the individual in the discourse of modern psychological research]. *Habitus*, 39, 199–203. URL: <http://habitus.od.ua/journals/2022/39-2022/36.pdf> [in Ukrainian].

14. Koval, K. H., Khomenko, S. M., Yukhymenko, L. I. (2024). Psykhofiziologichni osnovy poniattia stresostiikosti liudyny [Psychophysiological foundations of the concept of human stress resistance], *Mechanisms of Development of the Scientific and Technical Potential of Modern Society*: Proceedings of the XL International scientific and practical conference. Salzburg. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-25.09.2024> [in Ukrainian].
15. Skinder-Vlas, Ye. (Ed). (2024). Anatomii stresu. Hans Selie ta poslidovnyky: zbirnyk [Anatomy of stress. Hans Selye and followers: collection]. Kyiv: Vydavnychiy dim "Medknyha" [in Ukrainian].
16. Yukhymenko L. I., Khomenko S. M., Iliukha L. M. (2023). Diagnosis and monitoring of the functioning of the human nervous system. In *Modern methods of diagnosing diseases*: Collective monograph (pp. 69–94). Kharkiv : PC Technology Center. DOI: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-65-7>
17. Yuhymenko Lilia. (2016). Elektroencephalographic correlates of the speed (time) of the central processing of information by the higher parts of brain in humans with the different individual-typological features of the higher nervous activity. "Eureka: Life Science". *NeuroScience*. 2 (2), 51–56. DOI: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2016.00068>
18. Yuhymenko L. I. (2023). Biological and social aspects of human health as determinants of economic development. *Baltic Journal of Economic Studies*. Vol. 9, 3, 222–227. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2023-9-3-222-227>
19. Yuhymenko, L. I. (2020). Do pytannia pro rozkryttia psykhofiziologichnykh osnov osobystosti [On the issue of disclosure of psychophysiological foundations of personality], *Problems and Scientific Solutions*. Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference. Melbourne. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/issue/view/6-8.08.2020/339> [in Ukrainian].
20. Koval K. H., Khomenko S. M. (2024). Characteristics of students' anxiety under the conditions of martial law: psychophysiological content, In *Tendentsii, problemy ta vyklyky suchasnoi fiziologii rukhovoï aktyvnosti ta fizkulturno sportyvnoi rehabilitatsii*, materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Trends, problems and challenges of modern physiology, physical activity and sports rehabilitation, Proceedings of the materials of the international scientific and practical conference]. Kyiv–Cherkasy
21. Vseukrainska prohrama mentalnoho zdorovia "Ty yak?" (2025). Ofitsiynyi sait Vseukrainskoi prohramy mentalnoho zdorovia. [All-Ukrainian mental health program "How are you?" Official site of the All-Ukrainian Mental Health Program]. URL: <https://howareu.com/produkt?v=665dcf7543ef2> [in Ukrainian].

МОДУЛЯЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У ЖІНОК СТАРШИХ ВІКОВИХ ГРУП

Ляшенко Валентина Петрівна,

доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри біології людини, хімії та методики навчання хімії
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0001-5849-278X

Дуванов Дмитро Сергійович,

аспірант кафедри біології людини, хімії та методики навчання хімії
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка
ORCID ID: 0009-0006-9757-2196

У статті представлено результати дослідження модуляції показників варіабельності серцевого ритму (ВСР) у жінок середнього та похилого віку. Участь в дослідженні взяли 57 умовно здорових жінок віком від 44 до 80 років, поділених за класифікацією ВООЗ на дві групи: 44–60 років ($n=21$, середній вік $47,62 \pm 2,13$ роки) та 61–80 років ($n=36$, середній вік $66,13 \pm 5,02$ роки). Суточне холтерівське моніторування ЕКГ проводилося в медичному центрі ТОВ «МЕД-СОЮЗ» (м. Суми, Україна) з використанням системи «КардіоСенс CS» (ТОВ «ХАІ-МЕДИКА», м. Харків, Україна). Аналізувалися часові показники ВСР, такі як середній інтервал RR (mRR: 858,50 (750,37; 957,79) мс у групі середнього віку вдень проти 813,05 (683,36; 893,81) мс у групі похилого віку), SDNNi (80,28 (76,17; 145,18) мс проти 61,07 (47,31; 104,56) мс), RMSSD (118,79 (84,85; 195,87) мс проти 117,13 (63,59; 127,94) мс), а також частотні показники: LF, HF, LF/HF та Амо%. Дані оброблялися з розділенням на денний (08:00–22:00) і нічний (22:00–08:00) періоди. Статистична обробка включала критерій Шапіро-Вілکا для перевірки нормальності (ненормальний розподіл, $p < 0,05$) і U-тест Манна-Вітні для порівняння груп ($p < 0,05$). Результати показали значне зниження LF (1453,59 (266,57; 3427,03) мс² проти 748,24 (589,76; 2381,27) мс², $p < 0,05$) і HF (1291,27 (565,96; 5034,61) мс² проти 1452,58 (895,42; 2944,44) мс², $p < 0,05$) у групі похилого віку, що свідчить про зменшення загальної варіабельності та парасимпатичної активності з віком. Водночас Амо% суттєво зростає (38,57 (35,90; 41,84)% проти 68,46 (66,42; 70,59)%, $p < 0,001$), вказуючи на посилення автономної регуляції, ймовірно, через постменопаузальний дефіцит естрогенів, який впливає на баланс АНС. LF/HF залишався стабільним (0,70 (0,51; 0,90) проти 0,70 (0,60; 0,80), $p > 0,05$) демонструючи збереження симпато-парасимпатичного балансу для денного періоду, а для нічного періоду також не виявлено значних відмінностей після видалення викидів (0,49 (0,21; 0,57) проти 0,57 (0,23; 0,80), $p > 0,05$). Нічні зміни показали зростання HF (6363,06 (3908,87; 11896,74) мс² проти 887,14 (425,23; 5580,90) мс²) і зниження LF/HF (0,49 (0,21; 0,57) проти 0,57 (0,23; 0,80), $p < 0,05$), однак менші значення HF у старших жінок підкреслюють зниження парасимпатичних резервів. Висновки вказують на суттєвий вплив віку та гормональних змін на ВСР, а також на потенційну роль Амо% як маркера серцево-судинного ризику, що потребує подальших досліджень для розробки профілактичних стратегій у жінок старших вікових груп.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, автономна нервова система, електрокардіографія, LF, HF, LF/HF, Амо%, жінки, гормональні зміни, постменопауза, середній вік, похилий вік, старіння, серцево-судинний ризик, адаптація.

Liashenko Valentyna, Duvanov Dmytro. Modulation of Heart Rate Variability Parameters in Women of Older Age Groups

The article presents the results of a study on the modulation of heart rate variability (HRV) parameters in middle-aged and older women. A total of 57 conditionally healthy women aged 44–80 years participated, divided according to the WHO classification into two groups: 44–60 years ($n=21$, mean age 47.62 ± 2.13 years) and 61–80 years ($n=36$, mean age 66.13 ± 5.02 years). Twenty-four-hour ambulatory Holter ECG monitoring was conducted at the "MED-SOYUZ" Medical Center LLC (Sumy, Ukraine) using the "CardioSens CS" system (KhAI-MEDIKA LLC, Kharkiv, Ukraine). Temporal HRV parameters, such as the mean RR interval (mRR: 858.50 (750.37; 957.79) ms in the middle-aged group during daytime vs. 813.05 (683.36; 893.81) ms in the elderly group), SDNNi (80.28 (76.17; 145.18) ms vs. 61.07 (47.31; 104.56) ms), and RMSSD (118.79 (84.85; 195.87) ms vs. 117.13 (63.59; 127.94) ms), as well as spectral parameters (LF, HF, LF/HF, and Amo%), were analyzed. Data were processed by dividing into daytime (08:00–22:00) and nighttime (22:00–08:00) periods. Statistical analysis included the Shapiro-Wilk test for normality (non-normal distribution, $p < 0.05$) and the Mann-Whitney U-test for group comparisons ($p < 0.05$). Results revealed a significant reduction in LF (1453.59 (266.57; 3427.03) ms² vs. 748.24 (589.76; 2381.27) ms², $p < 0.05$) and HF (1291.27 (565.96; 5034.61) ms² vs. 1452.58 (895.42; 2944.44) ms², $p < 0.05$) in the elderly group, indicating a decrease in overall variability and parasympathetic activity with age. Conversely, Amo% significantly increased (38.57 (35.90; 41.84)% vs. 68.46 (66.42; 70.59)%, $p < 0.001$), suggesting enhanced autonomic regulation, likely due to postmenopausal estrogen deficiency affecting autonomic balance. The LF/HF ratio remained stable (0.70 (0.51; 0.90) vs. 0.70 (0.60; 0.80), $p > 0.05$), demonstrating preserved sympatho-parasympathetic balance for the daytime period, and no significant differences were found for the nighttime period after removing outliers (0.49 (0.21; 0.57) vs. 0.57 (0.23; 0.80), $p > 0.05$). Nighttime changes showed an increase in HF (6363.06 (3908.87; 11896.74) ms² vs. 887.14 (425.23; 5580.90) ms²) and a decrease in LF/HF (0.49 (0.21; 0.57) vs. 0.57 (0.23; 0.80), $p < 0.05$), although lower HF values in older women highlight diminished parasympathetic reserves. The findings underscore the significant impact of aging and hormonal changes on HRV, as well as the potential role of Amo% as a marker of cardiovascular risk, necessitating further research to develop preventive strategies for older women.

Key words: heart rate variability, autonomic nervous system, electrocardiography, LF, HF, LF/HF, Amo%, women, hormonal changes, postmenopause, middle age, old age, aging, cardiovascular risk, adaptation.

Вступ. Варіабельність серцевого ритму (BCP) є визнаним неінвазивним методом оцінки функціонального стану вегетативної нервової системи (ВНС), яка відіграє ключову роль у регуляції серцевої діяльності та адаптації організму до змінних умов [1]. BCP відображає динамічну взаємодію симпатичної та парасимпатичної гілок ВНС, що проявляється у змінах часових (mRR, SDNN, RMSSD) і частотних (LF, HF, LF/HF) показників [2]. З віком відбуваються значні зміни в нейрогуморальній регуляції, включаючи зниження загальної варіабельності та зсув балансу в бік симпатичної домінанти, що пов'язано з фізіологічним старінням і гормональними перебудовами, особливо у жінок [3; 4].

Старіючі жінки становлять значну частку населення світу та їх кількість зростає. Кількість жінок у віці 60 років і старше збільшиться з приблизно 336 млн. у 2000 році до більше, ніж 1 млрд. у 2050 році. Жінки перевищують чисельність чоловіків у старших вікових групах, і цей дисбаланс збільшується з віком. У всьому світі налічується близько 123 жінок на кожні 100 чоловіків віком 60 років і старше, 189/100 – віком 80 років і старше та 385/100 – у віці 100 років [5, с. 3].

Актуальність вивчення BCP у жінок середнього та похилого віку зумовлена кількома факторами. По-перше, зниження BCP вважається маркером погіршення адаптаційних можливостей організму та пов'язане з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань (ССЗ), таких як гіпертонія та аритмії [6]. По-друге, у жінок гормональні зміни, особливо в постменопаузальний період, впливають на автономну регуляцію, що може посилювати вікові зсуви у BCP [7]. Зокрема, зниження рівня естрогенів пов'язане з послабленням парасимпатичного тону та зростанням симпатичної активності, що відображається у спектральних показниках [8]. Нарешті, підвищення індексу автономної регуляції (Амо%) може вказувати на компенсаторні механізми, які потребують подальшого вивчення в контексті старіння [9].

Метою цього дослідження було детальне вивчення модуляції часових і частотних показників BCP, включаючи LF, HF, LF/HF та Амо%, у умовно здорових жінок середнього (44–60 років) і похилого (61–80 років) віку в умовах добового моніторування. Завданням дослідження було виявити вікові особливості нейрогуморальної регуляції, оцінити вплив вікових змін і визначити потенційну клінічну значимість отриманих даних для профілактики ССЗ.

Матеріали та метод. У дослідженні взяли участь 57 умовно здорових жінок віком від 44 до 80 років, поділених на дві групи за класифікацією ВООЗ: 44–60 років (n=21, середній вік $47,62 \pm 2,13$ роки) та 61–80 років (n=36, середній вік $66,13 \pm 5,02$ роки). Усі учасниці не мали скарг на здоров'я, не страждали на серцево-судинні

захворювання в анамнезі та дали письмову інформовану згоду на участь. Дослідження проводилося на базі медичного центру ТОВ «МЕД-СОЮЗ» (м. Суми, Україна) з використанням системи добового амбулаторного холтерівського моніторування ЕКГ «КардіоСенс CS» (ТОВ «ХАІ-МЕДІКА», м. Харків, Україна), сертифікованої для клінічного застосування [10].

Реєстрація ЕКГ здійснювалася протягом 24 годин із розділенням даних на денний (08:00–22:00) і нічний (22:00–08:00) періоди. Оцінювалися часові показники BCP: середній інтервал RR (mRR), стандартне відхилення інтервалів RR (SDNNi), квадратний корінь із середнього квадрата різниць послідовних RR-інтервалів (RMSSD), а також частотні показники: загальна потужність спектра (TP), наднизькочастотний (ULF, 0–0,003 Гц), дуже низькочастотний (VLF, 0,003–0,04 Гц), низькочастотний (LF, 0,04–0,15 Гц) і високочастотний (HF, 0,15–0,4 Гц) компоненти, співвідношення LF/HF та індекс автономної регуляції (Амо%) [2]. Ці параметри характеризують центральну та периферичну ланки нейрогуморальної регуляції, включаючи баланс симпатичної та парасимпатичної активності [11].

Для виключення впливу зовнішніх факторів учасникам рекомендувалося утриматися від вживання кофеїну, алкоголю та інтенсивних фізичних навантажень за 24 години до моніторування. Дані оброблялися з використанням вбудованого ПЗ «КардіоСенс CS». Нормальність розподілу перевірялася за допомогою критерію Шапіро-Вілка та тесту Колмогорова-Смирнова; через ненормальний розподіл більшості показників ($p < 0,05$) для порівняння груп застосовувався непараметричний U-тест Манна-Вітні [12] (табл. 1).

Результати. Отримані результати тестів нормальності показали, що більшість показників BCP у обох вікових групах мають ненормальний розподіл ($p < 0,05$ за критерієм Шапіро-Вілка та тестами Колмогорова-Смирнова), що зумовило використання непараметричних методів аналізу. Зокрема, для низькочастотного компонента (LF) за день у групі 44–60 років статистика Шапіро-Вілка становила 0,802 при 21 ступені свободи ($p = 0,001$), а у групі 61–80 років – 0,818 при 36 ступенях свободи ($p = 0,000$), вказуючи на значне відхилення від нормального розподілу (табл. 1). Подібна картина спостерігалася для нічного LF: 0,694 ($p = 0,000$) у молодшій групі та 0,721 ($p = 0,000$) у старшій. Для високочастотного компонента (HF) за день статистика Шапіро-Вілка становила 0,734 ($p = 0,000$) у групі 44–60 років і 0,865 ($p = 0,000$) у групі 61–80 років, а вночі – 0,850 ($p = 0,004$) і 0,792 ($p = 0,000$) відповідно. Співвідношення LF/HF також демонструвало ненормальний розподіл: за день – 0,810 ($p = 0,001$) і 0,910 ($p = 0,006$), вночі – 0,852 ($p = 0,005$) і 0,869 ($p = 0,001$). Індекс автономної регуляції (Амо%) мав нормальний

розподіл лише за день у групі 44–60 років (0,939, $p = 0,208$) і вночі у цій же групі (0,960, $p = 0,510$), тоді як у групі 61–80 років розподіл був ненормальним ($p < 0,000$ для обох періодів) (табл. 1).

Часові показники, такі як mRR, SDNNi та RMSSD, також демонстрували ненормальний розподіл у більшості випадків, що підтверджує необхідність використання непараметричних методів для подальшого аналізу. Ці результати свідчать про асиметрію та наявність потенційних викидів у даних, що впливає на їхню варіабельність і вимагає обережного підходу до інтерпретації [11].

Ненормальний розподіл даних може свідчити про кілька факторів, характерних для досліджуваної популяції жінок старших вікових груп. По-перше, асиметрія в розподілі показників, таких як LF і HF, може бути пов'язана з індивідуальними відмінностями в фізіологічному стані, зокрема з різними рівнями фізичної активності, гормональними змінами (наприклад, постменопаузальним дефіцитом естрогенів) або наявністю субклінічних порушень ВНС, які не проявляються клінічно, але впливають на варіабельність серцевого ритму [6]. По-друге, значні значення $p < 0,05$ у тестах нормальності вказують на наявність викидів або крайніх значень, що характерно для біологічних даних, особливо у жінок похилого віку, де можуть спостерігатися більш виражені флуктуації через вікові зміни або індивідуальні особливості адаптації [17]. Наприклад, для LF/HF вночі у групі 61–80 років статистика Шапіро-Вілка (0,869, $p = 0,001$) і наявність викидів, які були видалені для подальшого аналізу, підтверджують необхідність ретельної перевірки даних на аномалії, що ми виконали перед застосуванням

U-тесту. По-третє, ненормальний розподіл може відображати природну гетерогенність популяції, пов'язану зі старінням, коли фізіологічні показники стають менш стабільними через зниження регуляторних функцій ВНС і гормональних змін [1; 13]. Нормальний розподіл Амо% лише у групі 44–60 років може вказувати на відносну стабільність автономної регуляції у жінок середнього віку, тоді як у старшій групі його ненормальність може свідчити про більшу варіабельність і компенсаторні механізми, пов'язані з постменопаузальними змінами [7]. Ці висновки підкреслюють важливість використання непараметричних методів, таких як U-тест Манна-Вітні, для коректного порівняння груп і забезпечують основу для подальшого аналізу вікових змін ВСР (табл. 2).

Медіанні значення з 25-м і 75-м центилями для ключових показників ВСР у групі 44–60 років були наступними: LF (день) – 1453,59 (266,57; 3427,03) мс², HF (день) – 1291,27 (565,96; 5034,61) мс², LF/HF (день) – 0,70 (0,51; 0,90), Амо% (день) – 38,57 (35,90; 41,84)%; LF (ніч) – 1410,48 (1175,09; 6074,41) мс², HF (ніч) – 6363,06 (3908,87; 11896,74) мс², LF/HF (ніч) – 0,49 (0,21; 0,57), Амо% (ніч) – 50,15 (47,67; 53,68)%. У групі 61–80 років ці показники суттєво відрізнялися: LF (день) – 748,24 (589,76; 2381,27) мс², HF (день) – 1452,58 (895,42; 2944,44) мс², LF/HF (день) – 0,70 (0,60; 0,80), Амо% (день) – 68,46 (66,42; 70,59)%; LF (ніч) – 664,36 (183,33; 4435,48) мс², HF (ніч) – 887,14 (425,23; 5580,90) мс², LF/HF (ніч) – 0,57 (0,23; 0,80), Амо% (ніч) – 72,32 (70,67; 75,66)% (табл. 2). Часові показники також демонструють вікові зміни: mRR за день у групі 44–60 років становить 858,50 (750,37; 957,79) мс, тоді як у групі

Таблиця 1

Критерії нормального розподілу за результатами перевірки нормальності розподілу показників ВСР

Показник	Вікова група	Колмогорова-Смирнова ^a			Критерій Шапіро-Вілка		
		Статистика	ст.св.	Значимість	Статистика	ст.св.	Значимість
LF, мс ² (день)	1	0,236	21	0,004	0,802	21	0,001
	2	0,205	36	0,001	0,818	36	0,000
LF, мс ² (ніч)	1	0,350	21	0,000	0,694	21	0,000
	2	0,291	36	0,000	0,721	36	0,000
HF, мс ² (день)	1	0,300	21	0,000	0,734	21	0,000
	2	0,215	36	0,000	0,865	36	0,000
HF, мс ² (ніч)	1	0,220	21	0,009	0,850	21	0,004
	2	0,298	36	0,000	0,792	36	0,000
LF/HF (день)	1	0,243	21	0,002	0,810	21	0,001
	2	0,197	36	0,001	0,910	36	0,006
LF/HF (ніч)	1	0,199	21	0,030	0,852	21	0,005
	2	0,228	36	0,000	0,869	36	0,001
Амо, % (день)	1	0,111	21	0,200*	0,939	21	0,208
	2	0,282	36	0,000	0,509	36	0,000
Амо, % (ніч)	1	0,148	21	0,200*	0,960	21	0,510
	2	0,231	36	0,000	0,596	36	0,000

Групи 44–60 (1) та 61–80 років (2) (тест Шапіро-Вілка та Колмогорова-Смирнова, $p < 0,05$ – ненормальний розподіл); * – це нижня межа справжньої значимості; а – корекція значимості Лілієфорса; ст.св – ступені свободи. Статистична обробка проводилася з використанням програми IBM SPSS Statistics 25, рівень значимості приймався як $p < 0,05$.

**Середні показники варіабельності серцевого ритму у групах 44–60 та 61–80 років
(медіана (25-й; 75-й процентиль))**

Показник	44-60 років (n=21)	61-80 років (n=36)
LF (день), мс ²	1453,59 (266,57; 3427,03)	748,24 (589,76; 2381,27)
LF (ніч), мс ²	1410,48 (1175,09; 6074,41)	664,36 (183,33; 4435,48)
HF (день), мс ²	1291,27 (565,96; 5034,61)	1452,58 (895,42; 2944,44)
HF (ніч), мс ²	6363,06 (3908,87; 11896,74)	887,14 (425,23; 5580,90)
LF/HF (день)	0,70 (0,51; 0,90)	0,70 (0,60; 0,80)
LF/HF (ніч)	0,49 (0,21; 0,57)	0,57 (0,23; 0,80)
Амо% (день)	38,57 (35,90; 41,84)	68,46 (66,42; 70,59)
Амо% (ніч)	50,15 (47,67; 53,68)	72,32 (70,67; 75,66)

Значення p для порівняння груп наведено в тексті (U-тест Манна-Вітні, $p < 0,05$ для LF, HF, Амо%; $p > 0,05$ для LF/HF).

61–80 років – 813,05 (683,36; 893,81) мс; SDNNi знижується з 80,28 (76,17; 145,18) мс у молодшій групі до 61,07 (47,31; 104,56) мс у старшій; RMSSD залишається відносно стабільним: 118,79 (84,85; 195,87) мс проти 117,13 (63,59; 127,94) мс. Ці дані ілюструють вікові зміни ВСР і відображаються на рисунках 1–8, що демонструють коробкові графіки для частотних показників та індексу автономної регуляції.

Аналіз отриманих результатів свідчить про значні вікові зміни в модуляції ВСР. Зокрема, низькочастотний компонент (LF), який відображає комбінований вплив симпатичної та парасимпатичної гілок автономної нервової системи (АНС), значно знижується з віком. У групі 44–60 років медіана LF за день становить 1453,59 (266,57; 3427,03) мс², тоді як у групі 61–80 років вона зменшується до 748,24 (589,76; 2381,27) мс² ($p < 0,05$, U-тест), що вказує на послаблення загальної нейрогуморальної регуляції (рис. 1).

LF (день/ніч, мс²) у жінок віком 44–60 та 61–80 років; графік відображає медіани, квартилі та розподіл значень компонентів варіабельності серцевого ритму за денний та нічний період у двох вікових групах, що підтверджу-

ють значне зниження LF з віком ($p < 0,05$, U-тест Манна-Вітні).

Нічний LF також демонструє аналогічну тенденцію: 1410,48 (1175,09; 6074,41) мс² у молодшій групі проти 664,36 (183,33; 4435,48) мс² у старшій ($p < 0,05$), що може свідчити про зменшення адаптаційних резервів ВНС з віком. Ці зміни узгоджуються з літературними даними про зниження варіабельності як маркера фізіологічного старіння, пов'язаного з послабленням як симпатичної, так і парасимпатичної активності [1; 13].

Високочастотний компонент (HF), який асоціюється переважно з парасимпатичною активністю, також зазнає вікових змін, але з певними особливостями. За день HF у групі 44–60 років становить 1291,27 (565,96; 5034,61) мс², тоді як у групі 61–80 років – 1452,58 (895,42; 2944,44) мс², що може вказувати на відносну стабільність або навіть незначне підвищення в денний період, можливо, через компенсаторні механізми ($p < 0,05$, U-тест). Проте вночі HF значно знижується у старшій групі – з 6363,06 (3908,87; 11896,74) мс² у групі 44–60 років до 887,14 (425,23; 5580,90) мс² у групі 61–80 років ($p < 0,05$), що підкреслює послаблення парасимпатичних резервів у жінок

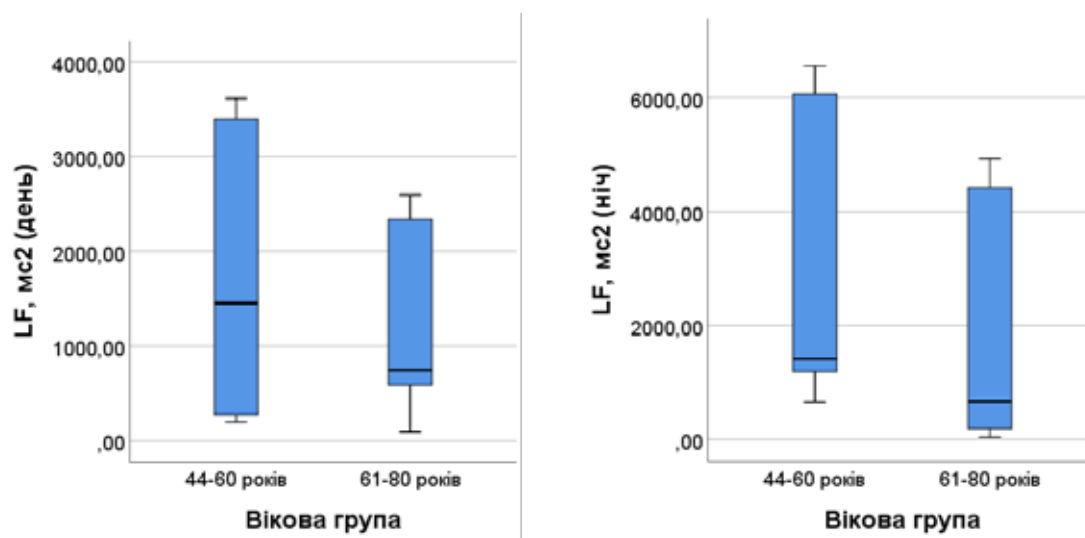


Рис. 1. Коробковий графік для показника LF (день/ніч, мс²)

похилого віку. Це зниження HF вночі є критичним показником, оскільки парасимпатична активність домінує уві сні, і його зменшення може свідчити про порушення адаптації до нічного відновлення, що характерно для старіння [17].

Співвідношення LF/HF, яке відображає баланс між симпатичною та парасимпатичною активністю, залишалося стабільним з віком. За день воно становить 0,70 (0,51; 0,90) у групі 44–60 років і 0,70 (0,60; 0,80) у групі 61–80 років ($p > 0,05$), що вказує на збереження симпато-парасимпатичного балансу в денний період. Нічний LF/HF також не демонструє значних відмінностей після видалення викидів: 0,49 (0,21; 0,57) проти 0,57 (0,23; 0,80) ($p > 0,05$), що підтверджує стабільність цього показника з віком, незважаючи на зменшення загальної варіабельності. Ці дані узгоджуються з рекомендаціями Task Force, які підкреслюють LF/HF як маркер балансу ВНС [3].

Індекс автономної регуляції (Amo%), який відображає ступінь автономної активності АНС, суттєво зростає з віком. За день Amo% у групі 44–60 років становить 38,57 (35,90; 41,84)%, тоді як у групі 61–80 років – 68,46 (66,42; 70,59)% ($p < 0,001$, U-тест), що вказує на посилення автономної регуляції, ймовірно, через компенсаторні механізми на тлі зниження загальної варіабельності. Нічний Amo% також демонструє значне зростання: 50,15 (47,67; 53,68)% у молодшій групі проти 72,32 (70,67; 75,66)% у старшій ($p < 0,001$), що підкреслює посилення автономної активності вночі у жінок похилого віку. Це зростання Amo% може бути пов'язане з гормональними змінами, зокрема постменопаузальним дефіцитом естрогенів, який впливає на баланс АНС, сприяючи відносному підвищенню симпатичної активності [7; 8].

Часові показники також демонструють вікові зміни. Середній інтервал RR (mRR) за день у групі 44–60 років становить 858,50 (750,37; 957,79) мс, тоді як у групі 61–80 років – 813,05 (683,36; 893,81) мс, що вказує на незначне зниження частоти серцевих скорочень з віком, можливо, через зниження фізіологічної активності ($p < 0,05$). SDNNi, що відображає загальну варіабельність, зменшується з 80,28 (76,17; 145,18) мс у молодшій групі до 61,07 (47,31; 104,56) мс у старшій ($p < 0,05$), підтверджуючи зниження адаптаційних можливостей АНС. RMSSD, який асоціюється з парасимпатичною активністю, залишається відносно стабільним: 118,79 (84,85; 195,87) мс проти 117,13 (63,59; 127,94) мс ($p > 0,05$), що може вказувати на збереження короткострокової варіабельності, але з меншим розмахом у старшій групі.

Ці вікові зміни мають важливе клінічне значення, оскільки зниження LF і HF, особливо вночі, асоціюється з підвищеним ризиком серцево-судинних захворювань (ССЗ), включно з раптовою серцевою смертю [4]. Зростання Amo% може слугувати раннім індикатором автономної дисрегуля-

ції, що потребує подальшого вивчення в контексті гормональних змін, зокрема дефіциту естрогенів у постменопаузальний період [6; 14; 15]. Нічні зміни, такі як зростання HF у молодшій групі та його значне зниження у старшій, відображають фізіологічну парасимпатичну домінанту уві сні, яка з віком послаблюється, що свідчить про порушення адаптаційних механізмів [17]. Аналіз виявив наявність викидів у групі 61–80 років для LF/HF вночі, які спочатку спотворювали результати, вказуючи на значимі відмінності ($p = 0,003$). Після їх видалення відмінності стали незначними ($p > 0,05$), що підтверджує стабільність балансу симпатичної та парасимпатичної систем з віком і підкреслює важливість перевірки даних на аномалії.

Отримані дані підкреслюють суттєвий вплив віку на нейрогуморальну регуляцію ВСР у жінок, з акцентом на послаблення парасимпатичної активності, стабільність симпато-парасимпатичного балансу (LF/HF) та компенсаторне підвищення автономної регуляції (Amo%). Ці зміни можуть бути пов'язані з гормональними перебудовами, зокрема зниженням рівня естрогенів, і вказують на необхідність подальших досліджень для оцінки їхньої ролі як маркерів серцево-судинного ризику [7; 9; 18; 19]. Результати ілюструють, як старіння впливає на адаптаційні можливості організму, що має важливе значення для розробки профілактичних стратегій у жінок старших вікових груп.

Висновки. 1. З віком у жінок спостерігається зниження LF і HF, що вказує на зменшення загальної варіабельності серцевого ритму та послаблення парасимпатичної активності, зумовлене фізіологічним старінням і зниженням функціональних резервів ВНС. Одночасно відзначається значне збільшення Amo%, що відображає посилення автономної регуляції, ймовірно, пов'язане з постменопаузальним зниженням естрогенів та компенсаторним зростанням симпатичної активності.

2. Збереження LF/HF на стабільному рівні ($p > 0,05$) свідчить про підтримання балансу між симпатичною та парасимпатичною системами, незважаючи на зниження потужності спектральних компонентів, в умовно здорових жінок як у денний, так і в нічний період після видалення викидів, що підкреслює адаптивну стійкість ВНС з віком.

3. Нічні зміни ВСР, включаючи зростання HF і зниження LF/HF, відображають фізіологічну парасимпатичну домінанту уві сні, однак менші абсолютні значення HF у жінок похилого віку вказують на вікове зниження парасимпатичної реактивності.

4. Результати підкреслюють вплив гормональних змін, зокрема дефіциту естрогенів, на модуляцію ВСР і важливість подальших досліджень ролі Amo% як потенційного маркера ризику ССЗ. Отримані дані можуть бути використані для розробки стратегій раннього моніторингу та профілактики серцево-судинних порушень у жінок старших вікових груп.

Література:

1. Sammito S., Thielmann B., Böckelmann I. Update: Factors influencing heart rate variability – A narrative review. *Frontiers in Physiology*. 2024. № 15(1430458). P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1430458>.
2. Geovanini G. R., Vasques E. R., Alvim R. O., Mill J. G. Age and sex differences in heart rate variability and vagal specific patterns – Baependi Heart Study. *Global Heart*. 2020. Vol. 15, № 1:71. P. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.5334/gh.873>.
3. Malik M., Bigger J.T., Camm A. J., Kleiger R. E., Malliani A., Moss A. J. Schwartz P. J. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology, & the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*. 1996. № 17 (3). P. 354–381. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>.
4. Godijk N. G., Vos A. G., Jongen V. W., Moraba R., Tempelman H., Grobbee D. E., Roel F.C., Devillé W., Klipstein-Grobusch K. Heart Rate Variability, HIV and the Risk of Cardiovascular Diseases in Rural South Africa. *Global Heart*. 2020. Vol. 15, № 1:17. DOI: <https://doi.org/10.5334/gh.532>.
5. World Health Organization. Women, ageing and health: A framework for action: Focus on gender. In *Women, ageing and health: a framework for action: focus on gender*. 2007. URL: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43810/9789241563529_eng.pdf;jsessionid=6CEF2A1A935A5F9FCFC8611A664E736D?sequence=1.
6. Leicht A. S., Flouris A. D., Kaltsatou A., Seely A. J., Herry C. L., Wright Beatty H. E., Kenny G. P. Age alters cardiac autonomic modulations during and following exercise-induced heat stress in females. *Temperature (Austin, Tex.)*. 2018. № 5(2). P. 184–196. DOI: <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1432918>.
7. Lee C. K., Lee J. H., Ha M. S. Comparison of the Effects of Aerobic versus Resistance Exercise on the Autonomic Nervous System in Middle-Aged Women: A Randomized Controlled Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. № 19(15):9156. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19159156>.
8. Huikuri H. V., Perkiömäki J. S., Maestri R., Pinna G. D. Clinical impact of evaluation of cardiovascular control by novel methods of heart rate dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 2009. Vol. 367, № 1892. P. 1223–1238. DOI: <http://doi.org/10.1098/rsta.2008.0294>.
9. Kubota Y., Chen L. Y., Whitsel E. A., Folsom A. R. Heart rate variability and lifetime risk of cardiovascular disease: the Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Ann Epidemiol*. 2017. № 27(10):619-625.e2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2017.08.024>.
10. Dolphin H., Dukelow T., Finucane C., Commings S., McElwaine P., Kennelly S. P., "The Wandering Nerve Linking Heart and Mind" – The Complementary Role of Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation in Modulating Neuro-Cardiovascular and Cognitive Performance. *Frontiers in Neuroscience*. 2022. № 16:897303. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.897303>.
11. Rodgers J. L., Jones J., Bolleddu S. I. Cardiovascular Risks Associated with Gender and Aging. *Journal of cardiovascular development and disease*. 2019. № 6(2):19. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcdd6020019>.
12. Freeman R. Assessment of cardiovascular autonomic function. *Clin Neurophysiol*. 2006. Vol. 117(4). P. 716-730. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.09.027>.
13. Zeki A. I., Hazzouri A., Elfassy T., Carnethon M. R., Lloyd-Jones D. M., Yaffe K. Heart Rate Variability and Cognitive Function In Middle-Age Adults: The Coronary Artery Risk Development in Young Adults. *American journal of hypertension*. 2017. Vol. 31(1). P. 27-34. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajh/hpx125>.
14. Neufeld I. W., Kiselev A. R., Karavaev A. S., Prokhorov M. D., Gridnev V. I., Ponomarenko V. I., Bezruchko B. P. Autonomic control of cardiovascular system in pre- and postmenopausal women: a cross-sectional study. *Journal of the Turkish German Gynecological Association*. 2015. Vol. 16(1). P. 11-20. DOI: <https://doi.org/10.5152/jtgga.2015.15201>.
15. Harvard Health Publishing. What is heart rate variability? 2021. URL: <https://www.health.harvard.edu/heart-health/what-is-heart-rate-variability>.
16. Arantes F. S., Rosa Oliveira V., Leão A. K. M., Afonso J. P. R., Fonseca A. L., Fonseca D. R. P., Mello D. A. C. P. G., Costa I. P., Oliveira L. V. F., da Palma R. K.. Heart rate variability: A biomarker of frailty in older adults? *Frontiers in medicine*. 2022. № 9:1008970. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.1008970>.
17. Sluyter J. D., Hughes A. D., Camargo C. A., Jr A. L., Scragg R. K. R. Relations of Demographic and Clinical Factors With Cardiovascular Autonomic Function in a Population-Based Study: An Assessment By Quantile Regression. *American Journal of Hypertension*. 2018. Vol. 31 (1). P. 53–62. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajh/hpx134>.
18. Zeki A.I., Hazzouri A., Haan M. N., Deng Y., Neuhaus J., Yaffe K. Reduced heart rate variability is associated with worse cognitive performance in elderly Mexican Americans. *Hypertension*. 2014. Vol. 63(1). P. 181-187. DOI: <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.113.01888>.
19. Earnest C. P., Blair S. N., Church T.S. Heart rate variability and exercise in aging women. *Journal Womens Health (Larchmt)*. 2012. Vol. 21(3). P. 334-339. DOI: <https://doi.org/10.1089/jwh.2011.2932>.

References:

1. Sammito, S., Thielmann, B., & Böckelmann, I. (2024). Update: Factors influencing heart rate variability – A narrative review. *Frontiers in Physiology*, 15(1430458), 1-8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1430458>.
2. Geovanini, G. R., Vasques, E. R., Alvim, R. O., & Mill, J. G. (2020). Age and sex differences in heart rate variability and vagal specific patterns – Baependi Heart Study. *Global Heart*, 15(1):71, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.5334/gh.873>.
3. Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A. J., Kleiger R. E., Malliani, A., Moss, A. J. & Schwartz, P. J. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society

- of Cardiology, & the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*, 17(3), 354–381. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a014868>.
4. Godijk, N. G., Vos, A. G., Jongen, V. W., Moraba, R., Tempelman, H., Grobbee, D. E., Klipstein-Grobusch, K. (2020). Heart Rate Variability, HIV and the Risk of Cardiovascular Diseases in Rural South Africa. *Global Heart*, 15(1), 17. DOI: <https://doi.org/10.5334/gh.532>.
 5. World Health Organization. (2007). Women, ageing and health: A framework for action: Focus on gender. In *Women, ageing and health: a framework for action: focus on gender*. URL: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43810/9789241563529_eng.pdf;jsessionid=6CEF2A1A935A5F9FCFC8611A664E736D?sequence=1.
 6. Leicht, A. S., Flouris, A. D., Kaltsatou, A., Seely, A. J., Herry, C. L., Wright Beatty, H. E., & Kenny, G. P. (2018). Age alters cardiac autonomic modulations during and following exercise-induced heat stress in females. *Temperature (Austin, Tex.)*, 5(2), 184–196. DOI: <https://doi.org/10.1080/23328940.2018.1432918>.
 7. Lee, C. K., Lee, J. H., & Ha, M. S. (2022). Comparison of the effects of aerobic versus resistance exercise on the autonomic nervous system in middle-aged women: A randomized controlled study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9156. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19159156>.
 8. Huikuri, H. V., Perkiömäki, J. S., Maestri, R., & Pinna, G. D. (2009). Clinical impact of evaluation of cardiovascular control by novel methods of heart rate dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 367, 1223–1238. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0294>.
 9. Kubota, Y., Chen, L. Y., Whitsel, E. A., & Folsom, A. R. (2017). Heart rate variability and lifetime risk of cardiovascular disease: The Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Annals of epidemiology*, 27(10), 619–625.e2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2017.08.024>.
 10. Dolphin, H., Dukelow, T., Finucane, C., Commings, S., McElwaine, P., & Kennelly, S. P. (2022). "The Wandering Nerve Linking Heart and Mind" – The Complementary Role of Transcutaneous Vagus Nerve Stimulation in Modulating Neuro-Cardiovascular and Cognitive Performance. *Frontiers in Neuroscience*, 16, 897303. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.897303>.
 11. Rodgers, J. L., Jones, J., Bolleddu, S. I., Vanthenapalli, S., Rodgers, L. E., Shah, K., Karia, K., & Panguluri, S. K. (2019). Cardiovascular Risks Associated with Gender and Aging. *Journal of cardiovascular development and disease*, 6(2), 19. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcdd6020019>.
 12. Freeman R. (2006). Assessment of cardiovascular autonomic function. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 117(4), 716–730. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.09.027>.
 13. Zeki, A. I., Hazzouri, A., Elfassy, T., Carnethon, M. R., Lloyd-Jones, D. M., Yaffe, K. (2017). Heart Rate Variability and Cognitive Function In Middle-Age Adults: The Coronary Artery Risk Development in Young Adults. *American journal of hypertension*, 31(1), 27–34. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajh/hpx125>.
 14. Neufeld, I. W., Kiselev, A. R., Karavaev, A. S., Prokhorov, M. D., Gridnev, V. I., Ponomarenko, V. I., & Bezruchko, B. P. (2015). Autonomic control of cardiovascular system in pre- and postmenopausal women: a cross-sectional study. *Journal of the Turkish German Gynecological Association*, 16(1), 11–20. DOI: <https://doi.org/10.5152/jtgga.2015.15201>.
 15. Harvard Health Publishing. (2021). *Harvard Health*. What is heart rate variability? URL: <https://www.health.harvard.edu/heart-health/what-is-heart-rate-variability>.
 16. Arantes, F. S., Rosa Oliveira, V., Leão, A. K. M., Afonso, J. P. R., Fonseca, A. L., Fonseca, D. R. P., Mello, D. A. C. P. G., Costa, I. P., Oliveira, L. V. F., & da Palma, R. K. (2022). Heart rate variability: A biomarker of frailty in older adults? *Frontiers in medicine*, 9, 1008970. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.1008970>.
 17. Sluyter, J. D., Hughes, A. D., Camargo, C. A., Jr, A. L., Scragg, R. K. R. (2018). Relations of Demographic and Clinical Factors With Cardiovascular Autonomic Function in a Population-Based Study: An Assessment By Quantile Regression. *American Journal of Hypertension*, 31 (1), 53–62, DOI: <https://doi.org/10.1093/ajh/hpx134>.
 18. Zeki, A.I., Hazzouri, A., Haan, M. N., Deng, Y., Neuhaus, J., & Yaffe, K. (2014). Reduced heart rate variability is associated with worse cognitive performance in elderly Mexican Americans. *Hypertension*, 63(1), 181–187. DOI: <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.113.01888>.
 19. Earnest, C. P., Blair, S. N., & Church, T. S. (2012). Heart rate variability and exercise in aging women. *Journal of women's health*, 21(3), 334–339. DOI: <https://doi.org/10.1089/jwh.2011.2932>.

АЛЕЛОПАТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КЛЕНУ ЯСЕНЕЛИСТОГО

Москаленко Микола Павлович,

кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біології та методики навчання біології
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0002-0580-9314
Web of Science Researcher ID: GRJ-5377-2022

У статті актуалізовано питання хімічної взаємодії рослин у природних фітоценозах. Предмет роботи – алелопатичний вплив інвазійних видів на ріст і розвиток інших рослин. Для конкретного експериментального дослідження було обрано клен ясенелистий (американський), яскравий представник групи адвентивних видів. Метою статті було визначити алелопатичні властивості надземних вегетативних органів клену ясенелистого, які могли б певною мірою проявити механізми швидкого заселення цим видом природних фітоценозів в Україні. Основним методом дослідження були біотести. Як тестову культуру було обрано пшеницю, класичний об'єкт. Було встановлено, що обробка витяжками з вегетативних органів клену ясенелистого викликала зниження відсотку схожості насіння тестової культури через 72 години після обробки. Витяжка з листків забезпечила зменшення відсотка схожості насіння тестової культури в 8 разів в порівнянні з контролем. Зафіксовано, що загальні розміри проростків тестової культури після обробки витяжкою з бруньок клена ясенелистого були меншими, ніж у контролі у 1,6 раза, після обробки витяжкою з листків – у 4 рази. Було встановлено негативний алелопатичний вплив речовин із дослідних витяжок вегетативних органів клена ясенелистого на ріст і розвиток як цілого проростку тестової культури, так і його коренів та пагонів. Пагін проростку тестової культури виявився більш чутливим до негативної алелопатичної дії клену ясенелистого, ніж корінь. Встановлено зміни алелопатичної активності листків клену ясенелистого протягом вегетаційного періоду: відбулось значне її зниження у дослідних пробах з травня по вересень. Отримані результати дають підставу констатувати, що одним з механізмів, який забезпечив агресивне поширення клену ясенелистого в природних і змінених фітоценозах може бути його висока негативна алелопатична активність по відношенню до інших видів. У статті визначено напрям можливих подальших досліджень хімічної взаємодії адвентивних та аборигенних видів рослин.

Ключові слова: клен ясенелистий, алелопатична активність, тестова культура, інвазійний вид, фітоценоз, інгібуюча дія, вегетаційний період.

Moskalenko Mykola. Allelopathic Properties of the Boxelder Maple

The article addresses the issue of chemical interactions between plants in natural phytocenoses. The subject of the work is the allelopathic effect of invasive species on the growth and development of other plants. For the specific experimental study, the boxelder maple (*Acer negundo*), a prominent representative of the group of adventive species, was chosen. The aim of the article was to determine the allelopathic properties of the aboveground vegetative organs of the boxelder maple, which could somewhat clarify the mechanisms of its rapid colonization of natural phytocenoses in Ukraine. The main research method was bioassays. Wheat was chosen as the test culture, a classic object. It was established that treatment with extracts from the vegetative organs of the boxelder maple caused a decrease in seed germination percentage of the test culture 72 hours after treatment. The leaf extract resulted in an 8-fold reduction in seed germination percentage compared to the control. It was recorded that the total size of the test culture seedlings after treatment with the boxelder maple bud extract was 1.6 times smaller than the control, and after treatment with the leaf extract, it was 4 times smaller. A negative allelopathic effect of substances from the experimental extracts of the boxelder maple vegetative organs on the growth and development of both the whole seedling of the test culture and its roots and shoots was identified. The seedling's shoot was found to be more sensitive to the negative allelopathic effect of the boxelder maple than the root. Changes in the allelopathic activity of the boxelder maple leaves throughout the growing season were observed: a significant decrease in its activity was noted in the experimental samples from May to September. The results obtained provide grounds to state that one of the mechanisms ensuring the aggressive spread of the boxelder maple in natural and altered phytocenoses could be its high negative allelopathic activity toward other species. The article outlines directions for further research on the chemical interaction between adventive and indigenous plant species.

Key words: boxelder maple, allelopathic activity, test culture, invasive species, phytocenosis, inhibitory effect, growing season.

Вступ. У природних екосистемах, а частіше у змінених урбанізованих ландшафтах, доволі часто з'являються нові види рослин не властиві цьому біотопу. Деякі з них є надзвичайно життєздатними і залишаються у фітоценозі. Така натуралізація стає можливою з кількох причин. Передусім це умови існування, що виявились оптимальними для цього виду та його біологічні характеристики. У багатьох випадках такі рослини здатні виділяти в довкілля речовини, що негативно впливають на аборигенні види та забезпечують конкурентну перевагу перед ними (це називається алелопатична дія).

Такі рослини називають адвентивними (зайшлими, випадковими видами). Процес зміни видового складу природного фітоценозу під впливом таких інвазійних видів відбувається у відносно короткі історичні терміни, а його тенденції та динаміку можна простежити протягом десятків років. З погляду збереження природного біорізноманіття це вже є проблемою багатьох екосистем. Одним із видів рослин, які швидко поширились на території України протягом останнього століття був клен ясенелистий (американський) (*Acer negundo*). Зараз цю деревну породу можна побачити повсюди.

Харківський ботанік-акліматизатор Іван Каразін отримав зразки клена ясенелистого, здатного витримувати умови наших широт, із Північної Америки. Рослину рекламували для створення швидкорослих лісів та лісозахисних смуг, що сприяло її масовому поширенню. Вона має швидкий ріст, високу плодючість, інтенсивне вкорінення, гнучку й густу крону та пригнічує розвиток молодшої порослі інших видів. Через це змінюється усталений видовий склад фітоценозу, який перетворюється на моновидове угруповання. Окрім цього пилок клена ясенелистого спричиняє алергічні реакції у людей.

Метою нашого дослідження було встановлення алелопатичних властивостей клену ясенелистого (американського), які могли сприяти витісненню ним багатьох місцевих видів із місцевих фітоценозів.

Матеріали та методи досліджень. Біологічним матеріалом для проведення досліджень було обрано листки та листкові бруньки клену ясенелистого, який росте у межах зони суворого режиму розташованої на землях Лепехівського водозабору, відведених для господарської діяльності КП «Міськводоканал» [5, с. 10].

Рослини цього виду утворили суцільну смугу вздовж русла річки Сумка шириною 10-12 м. Вік дерев становив 35–40 років. Одержання біологічного матеріалу та виготовлення водних розчинів здійснювали за методом тестових біопроб Гродзинського А.М. [2, с. 25-36]. Дослідження проводились протягом вегетаційного періоду 2024 року (травень-вересень). Листки та бруньки клену зібрані з третього ярусу гілок, починаючи від головного стовбура, були фізіологічно зрілі та мали максимальну площу листової поверхні. Для отримання водної витяжки з рослинного матеріалу вказані органи розтирали в ступці у співвідношенні 1:10 (1 г ваги органу на 100 мл дистильованої води). Розчини фільтрували через добу після їх приготування. Після цього в чашки Петрі вносили по 5 мл отриманої витяжки, на фільтрувальний папір висівали насіння тестової культури – пшениці. Для досягнення поставленої мети було проведено модельні досліді в чашках Петрі у трикратній повторності (в одній повторності – 100 насінин) за наступною схемою: контроль (дистильована вода + насіння пшениці); дослід І (витяжка з бруньок клену + насіння пшениці); дослід ІІ (витяжка з листків клену + насіння пшениці). Проростання насіння відбувалося за температури 20°C.

Біопроба на проростання насіння передбачала підрахунок кількості пророслого насіння на дослідному розчині порівняно з проростанням в контролі, де використовували дистильовану воду через 72 години після початку досліді. Результати досліді встановлювали шляхом:

- підрахунку % пророслого насіння тестової культури у контролі та досліді;
- порівняння середньої довжини корінців проростків тестової культури у контролі та досліді;
- порівняння середньої довжини пагонів проростків тестової культури у контролі та досліді;
- порівняння середньої довжини цілих проростків тестової культури у контролі та досліді.

Результати експерименту подано у графічному вигляді.

Результати. Перший етап дослідження відбувався у червні 2024 року. Проростання насіння тестової культури у дослідних варіантах та контролі мало значні відмінності. Через 72 години після обробки дослідними витяжками та дистильованою водою схожість насіння у контролі становила 90%, у досліді І – 69%, у досліді ІІ – 11%.

Проміжний висновок цілком очевидний: речовини, що містяться у вегетативних органах клену ясенелистого, інгібують проростання насіння інших видів протягом перших 72 годин після намочування. Інтенсивність алелопатичної гальмівної дії була різною. Речовини, отримані з витяжки листків клену, мали значно сильніший негативний вплив, ніж речовини, отримані з витяжки бруньок клену ясенелистого.

Для всебічного аналізу хімічної взаємодії клену ясенелистого з іншими видами рослин ми дослідили довжину коренів проростків пшениці у контролі та дослідних варіантах експерименту (рис. 1). Через 72 години після замочування насіння у дослідних витяжках довжина коренів у контролі становила 19,3 мм, у варіанті з витяжкою з бруньок – 15,5 мм, у варіанті з витяжкою з листків клену – 4,3 мм.

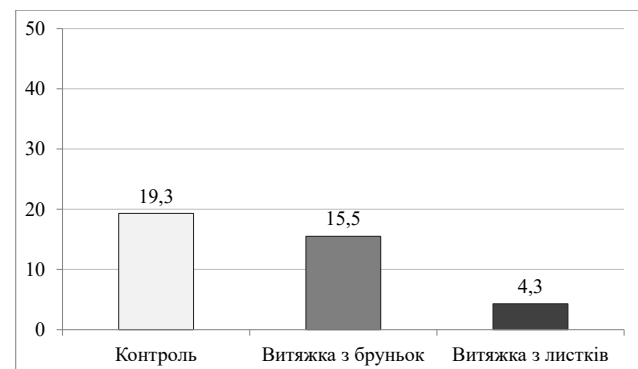


Рис. 1. Довжина коренів проростків тестової культури через 72 години після обробки витяжками концентрації 1:10 з вегетативних органів клену ясенелистого (мм)

Таким чином, речовини з вегетативних органів клену ясенелистого гальмували не лише стартові процеси проростання, а й подальший ріст і розвиток отриманих проростків тестової культури. Дані рисунку 1 наглядно ілюструють негативний алелопатичний вплив речовин витяжок з вегетативних органів клену ясенелистого на ріст і розвиток коренів проростків тестової культури. Ефект такої дії виражений набагато сильніше у варіанті витяжки з листків клену в порівнянні з його бруньками. На користь такого висновку говорить факт того, що довжина коренів проростків у варіанті з листовою витяжкою була майже в 5 разів меншою, ніж у контролі. Натомість дія речовин витяжки з бруньок призвела до зменшення довжини кореня в цьому варіанті досліді лише на 20% порівняно з контролем.

Ростові процеси в різних органах рослини мають спільні риси та певні особливості. Для з'ясування цих особливостей у повному обсязі в межах нашого дослідження ми проаналізували вплив речовин із дослідних витяжок на ріст і розвиток пагонів проростків тестової культури (рис. 2).

Із представлених результатів видно, що ситуація з негативним алелопатичним впливом на ріст коренів проростків тестової культури повторилась і для пагонів. Через 72 години після замочування насіння у дослідних витяжках довжина пагонів у контролі була 11 мм, у варіанті з витяжкою з бруньок – 3,2 мм, у варіанті витяжки з листків клену – 2,5 мм. Рістінгібуючий вплив речовин у дослідних витяжках мав спільну спрямованість, лише відрізнявся за силою дії. У варіанті витяжок з бруньок зафіксовано довжину пагону проростку, яка була у 3,4 рази меншою, ніж у контролі, у варіанті витяжок з листків – у 5 разів меншою. Відзначимо, що в останньому варіанті відбувся фактично лише старт росту пагонів, і показник 2,5 мм довжини пагонів проростків яскраво про це свідчить. Таким чином, зважаючи

на отримані результати, можемо констатувати більшу чутливість пагону проростку тестової культури до дії дослідних витяжок у порівнянні з коренем.

Для отримання повної та об'єктивної картини алелопатичної дії вегетативних наземних органів клену ясенелистого на ріст і розвиток тестової культури ми проаналізували зміну загальної довжини проростків у досліді та контролі (рис. 3).

Зафіксовано, що загальні розміри проростків тестової культури після обробки витяжкою з бруньок клена ясенелистого були менші, ніж в контролі у 1,6 рази, після обробки витяжкою з листків – більше ніж у 4 рази. Таким чином, на рівні цілого проростку було встановлено негативний алелопатичний вплив речовин з дослідних витяжок клена ясенелистого на ріст і розвиток тестової культури.

Головною ідеєю другого етапу нашої роботи було з'ясувати, як змінюється алелопатична активність листків клена ясенелистого протягом одного вегетаційного періоду. Для цього збір рослинного матеріалу здійснювали п'ять разів протягом вегетаційного періоду з рів-

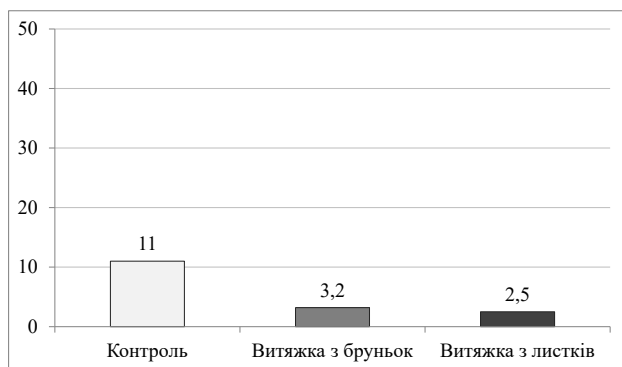


Рис. 2. Довжина пагонів проростків тестової культури через 72 години після обробки витяжками концентрації 1:10 з вегетативних органів клену ясенелистого (мм)

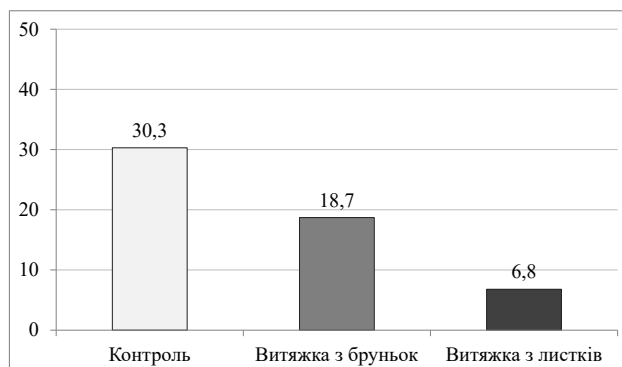


Рис. 3. Загальні розміри проростків тестової культури через 72 години після обробки витяжками концентрації 1:10 з вегетативних органів клену ясенелистого (мм)

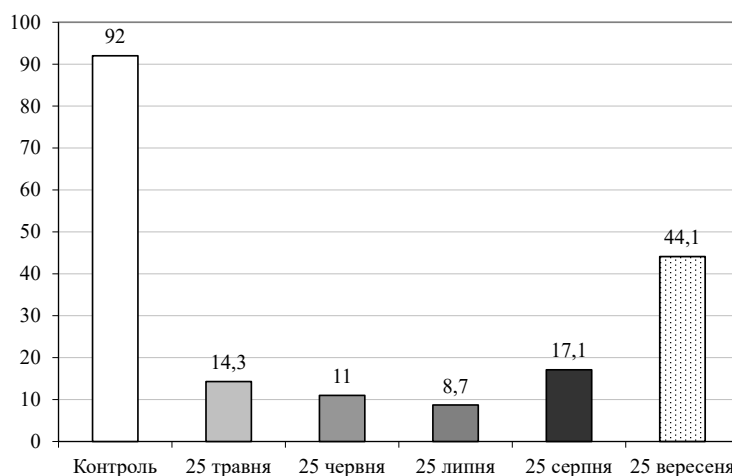


Рис. 4. Схожість насіння тестової культури через 72 години після обробки витяжками концентрації 1:10 з листків різного віку клену ясенелистого, вказані дати збору листків (%)

ними інтервалами у 30 днів кожного місяця, починаючи з травня. В експерименті були використані лише листки дослідних рослин. Всі інші маніпуляції з приготування витяжок, обробки насіння тестової культури та підведення підсумків дослідів точно відповідали методиці проведення експерименту першого етапу (представлені у відповідному розділі роботи).

На рисунку 4 представлені результати визначення схожості тестової культури після обробки витяжками з листків клену різного віку. За контроль взято середні значення за всі виміри кожного місяця дослідження після пророщування насіння тестової культури в дистильованій воді.

Як видно з представленого графіку, найменша схожість зафіксована в варіанті з обробкою витяжкою з листків, зібраних у липні – 8,7%. Протягом другої половини вегетаційного періоду, у серпні та вересні, відбулося значне зниження рівня негативного алелопатичного впливу речовин з дослідних витяжок на процес проростання насіння тестової культури. Якщо в липні відсоток насіння, що проросло в досліді, становив десятю частину від контролю, то у вересні – 48% від рівня контролю. Таким чином, вікові зміни біохімічного складу в листках клена ясенелистого призвели до різкого зниження їх інгібуючої дії на стартові процеси проростання насіння тестової культури.

В дослідних варіантах довжина пагону проростку тестової культури була меншою, ніж в контролі, у 8–9 разів у різні місяці взяття біологічного матеріалу. Найсильніший інгібуючий ефект зафіксовано після використання витяжки з наймолодших листків, зібраних у травні року дослідження: 2,2 мм проти 12,1 мм у контролі. Всі інші дослідні варіанти показали зменшення рівня рістінгібуючої дії з поступовим наближенням до контрольних показників: вереснева проба – довжина пагону проростка тестової культури 8,8 мм проти 12,1 мм у контролі.

Було встановлено, що вплив на ріст кореня проростку тестової культури в усіх варіантах досліду був незрівнянно вищим у травневих пробах порівняно з серпневими та, особливо, вересневими. Відповідно, на рівні цілого проростку ситуація повторилася: обробка витяжками з травневих листків продемонструвала найбільший алелопатичний ефект негативного напрямку на ріст і розвиток проростків тестової культури. Таким чином, вікові зміни в листках клена ясенелистого протягом періоду вегетації призвели до різкого зниження їх інгібуючої дії на ріст і розвиток цілого проростку тестової культури. Необхідно враховувати, що погодні умови літа 2024 року були особливими: постійні високі позитивні температури та відсутність опадів протягом 4 місяців з червня по вересень включно.

Отримані результати щодо характеру алелопатичних властивостей листків і бруньок клена ясенелистого є досить переконливими, та все ж їх потрібно доповнити дослідженнями хімічної активності опадів та ґрунту в межах крони. Хімічна взаємодія рослин відбувається в основному через ґрунт, а він формується за активної участі опадів. Тому наступним ета-

пом експериментів повинні стати дослідження відповідних властивостей опадів та ґрунту на різній глибині під дослідними деревами.

Засновником наукової школи з дослідження хімічної взаємодії рослин в Україні став академік Гродзинський А.М. Особливістю робіт його учнів є тематика, пов'язана з сільськогосподарським виробництвом через актуальний практичний аспект. Для прикладу, такими були дослідження хімічної взаємодії рослин в агробіоценозах ароматичних культур [7, с. 60–64], алелопатичної активності та екологічної структури ґрунту та посівів у сівозмінах [1, с. 35]. Розглядалися і чисто теоретичні питання еволюції наукових поглядів щодо явища ґрунтової [3, с. 162]. Алелопатія часто зустрічається в освітніх програмах для здобувачів освіти біологічного спрямування у закладах вищої освіти. Існують навчальні посібники з агроєкології та алелопатії [4, с. 51; 6, с. 28].

В той же час в інформаційному просторі відсутні роботи, присвячені алелопатичним властивостям інвазійних видів. На сьогодні це є актуальним, адже завдяки агресивній взаємодії з іншими видами рослин у природних та змінених фітоценозах на території України поширилися ромашка без'язичкова, енотера дворічна, робінія несправжньоакацієва, клен ясенелистий, галінзого дрібноквітка, амброзія полинолиста, цехрус малоквітковий та деякі інші види. Наша розвідка у вигляді дослідження алелопатичної взаємодії клена ясенелистого з сусідами у фітоценозі є спробою почати заповнювати цю прогалину.

Висновки. Встановлено, що речовини у дослідних витяжках з вегетативних органів клену ясенелистого негативно впливали на ростові процеси під час проростання насіння тестової культури. Інтенсивність такої алелопатичної дії листків та бруньок даного виду була різною. Речовини, отримані у витяжці з листків, проявили свій негативний вплив набагато сильніше, ніж у аналогічному варіанті витяжки з бруньок клену ясенелистого. Зафіксовано, що після обробки дослідними витяжками та дистилатом схожість насіння тестової культури в контролі становила 90%, у варіанті з витяжкою з бруньок – 69%, витяжкою з листків – 11%. Дія речовин витяжки з бруньок призвела до зменшення довжини кореня проростка тестової культури на 20% в порівнянні з контролем, у варіанті з листовою витяжкою – майже у 5 разів менше, ніж в контролі. Через 72 години після замочування у дослідному варіанті витяжок з бруньок зафіксовано довжину пагону проростка в 3,4 рази менше, ніж в контролі, у варіанті витяжок з листків – у 5 разів менше. Пагін проростка тестової культури виявився більш чутливим до алелопатичної дії клену ясенелистого, ніж корінь. Було встановлено негативний алелопатичний вплив речовин з дослідних витяжок клена ясенелистого на ріст і розвиток тестової культури на рівні цілого проростка. Зафіксовано, що загальні розміри проростків тестової культури після обробки витяжкою з бруньок клена ясенелистого були менше, ніж в контролі у 1,6 рази, після обробки витяжкою з листків – у 4 рази. Вікові зміни в листках клену

ясенелистого протягом періоду вегетації призвели до зменшення інгібуючої дії дослідних витяжок з них на схожість насіння тестової культури та подальший ріст і розвиток проростків.

Література:

1. Бойко П.І. Алелопатична активність і екологічний стан ґрунту та посівів у сівозмінах: збірник наукових праць Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України. Київ, 2006. С. 34-38.
2. Гродзинський А.М. Основи хімічної взаємодії рослин. Київ : Наукова думка, 1973. 205 с.
3. Коваленко Н.П. Еволюція наукових поглядів щодо алелопатичної активності сільськогосподарських культур у сівозмінах. Сільськогосподарська алелопатія: міжвідомчий тематичний науковий збірник. Чернігів : ЦНП, 2012. Вип. 15, 16. С. 161–173.
4. Москаленко М.П. Алелопатія: навчальний посібник. Суми, 2022. 130 с.
5. Проєкт землеустрою щодо встановлення меж зон санітарної охорони та об'єктів централізованого питного водопостачання водозаборів м. Суми. Департамент забезпечення ресурсних платежів Сумської міської ради. Київ, 2019. 15 с.
6. Смаглій О.Ф., Кардашов А.Т., Литвак П.В. Агроєкологія : навч. посібник. Київ : Вища освіта, 2006. 671 с.
7. Юрчак Л.Д. Алелопатія в агробіоценозах ароматичних рослин. Київ : Фітоцентр, 2005. 411 с.

References:

1. Boiko, P.I. (2006). Alelopatychna aktyvnist i ekolohichnyi stan ґruntu ta posiviv u sivozminakh : zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho botanichnoho sadu imeni M.M. Hryshka NAN Ukrainy [Allelopathic Activity and Ecological Condition of Soil and Crops in Crop Rotations: Collection of Scientific Papers of the M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine]. Kyiv, pp. 34–38 [in Ukrainian].
2. Hrodzynskiyi, A.M. (1973). Osnovy khimichnoi vzaïemodii roslын. [Fundamentals of Plant Chemical Interaction]. Kyiv: Naukova dumka, 205p. [in Ukrainian].
3. Kovalenko, N.P. (2012). Evoliutsiia naukovykh pohliadiv shchodo alelopatychnoi aktyvnosti silskohospodarskykh kultur u sivozminakh. Silskohospodarska alelopatiia: mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk. [The evolution of scientific views on the allelopathic activity of agricultural crops in crop rotations. Agricultural Allelopathy: Interdepartmental Thematic Scientific Collection]. Chernihiv: TsNP, no. 15, 16. pp. 161–173 [in Ukrainian].
4. Moskalenko, M.P. (2022). Alelopatiia : navchalnyi posibnyk [Allelopathy: A textbook]. Sumy, 130p. [in Ukrainian].
5. Proïekt zemleustroiï shchodo vstanovlennia mezh zon sanitarnoi okhorony ta obiektiv tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannia vodozaboriv m. Sumy. Departament zabezpechennia resursnykh platezhiv Sumskoi miskoi rady. (2019). [Land Management Project for Establishing Boundaries of Sanitary Protection Zones and Centralized Drinking Water Supply Facilities for Water Intakes in the City of Sumy. Department of Resource Payment Provision of the Sumy City Council]. Kyiv, 15 p. [in Ukrainian].
6. Smahlii, O.F., Kardashov, A.T., Lytvak, P.V. (2006). Ahroekolohiia : navchalnyi posibnyk [Agroecology: A textbook]. Kyiv : Vyshcha osvita, 671 p. [in Ukrainian].
7. Yurchak, L.D. (2005). Alelopatiia v ahrobiotsenozakh aromatychnykh roslын [Allelopathy in Agrobiocenoses of Aromatic Plants]. Kyiv : Fitotsentr, 411 p. [in Ukrainian].

МОДУЛЯЦІЯ ПОРУШЕНЬ СНУ ТА ПОКАЗНИКІВ ВАРІАБЕЛЬНОСТІ СЕРЦЕВОГО РИТМУ У ЖІНОК СЕРЕДНЬОГО ВІКУ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Стеценко Сергій Миколайович,
аспірант кафедри біології людини, хімії та МНХ
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0009-0005-9656-8972

Ляшенко Валентина Петрівна,
доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри біології людини, хімії та МНХ
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0001-5849-278X

У статті розглянуто вплив порушень сну на варіабельність серцевого ритму (BCP) у жінок середнього віку в умовах воєнних дій в Україні. Стресові події, пов'язані з війною, підвищують рівень тривоги, що призводить до дисрегуляції вегетативної нервової системи та змін архітектури сну. Основні симптоми порушень сну включають труднощі із засинанням, часті пробудження, фрагментований сон. Порушення балансу BCP відображають напруження адаптаційних механізмів організму та є чутливими маркерами негативних змін. Проведено аналіз частотно-часових показників BCP та визначено особливості прояву порушень сну, спричиненими стресовими подіями. Встановлено, що значна частина (68,5%) жінок середнього віку має порушення сну, а саме: скорочення тривалості сну (63% сплять ≤ 6 годин, 33,7% – < 5 годин); часті нічні пробудження (76,1% мають епізоди нічних пробуджень, з них 43,5% – ≥ 3 разів на тиждень); збільшена латентність сну (у 47,8% час засинання перевищує 30 хв, у 25% – більше 60 хв); денна дисфункція (71,7% мають помірну денну сонливість, 19,6% – високу) та виражене відчуття втоми вранці (57,6% оцінили ефективність свого сну нижче 85%), що свідчить про недостатню ефективність та відновлюваність сну. Не зважаючи на наявні проблеми зі сном, більшість жінок-учасниць (77 осіб; 83,7%) не вживають снодійні препарати. Частоту прийому медикаментів для сну у 2-3 рази на тиждень відзначили лише 9 опитаних (9,8%). У переважної більшості обстежених жінок (91,3%) активність протягом дня супроводжується підвищеною сонливістю різного ступеня вираженості. Виражені проблеми зі сном можуть мати системний вплив на організм вказує на потребу додаткової діагностики та втручання. Жінки з порушеннями сну демонструють виражену активацію симпатичної нервової системи та пригнічення парасимпатичної регуляції (зниження відносно норми SDNN та RMSSD, зростання AMo та індексу LF/HF). Результати свідчать про зниження адаптаційних можливостей організму через активацію симпатичної нервової системи, що посилюється в умовах підвищеного стресу. Отримані дані можуть бути корисними для розробки профілактичних та терапевтичних програм.

Ключові слова: варіабельність серцевого ритму, стрес, адаптація, порушення сну, жінки, середній вік.

Stetsenko Serhii, Liashenko Valentyna. Modulation of sleep disorders and indicators of heart rate variability in middle-aged women in the conditions of military actions in Ukraine

The article examines the effects of sleep disorders on heart rate variability (HRV) in middle-aged women amid wartime conditions in Ukraine. War-related stress increases anxiety levels, leading to dysregulation of the autonomic nervous system and changes in sleep architecture. The main symptoms of sleep disorders include difficulty falling asleep, frequent awakenings, and fragmented sleep. HRV imbalance reflects the strain on the body's adaptive mechanisms and is a sensitive marker of adverse changes.

A frequency-time analysis of HRV was conducted to identify the specific manifestations of sleep disorders induced by stress. The findings reveal that a significant portion (68.5%) of middle-aged women experience sleep disturbances, including reduced sleep duration (63% sleep ≤ 6 hours, 33.7% sleep < 5 hours), frequent nighttime awakenings (76.1% report nighttime awakenings, of whom 43.5% experience them ≥ 3 times per week), prolonged sleep latency (47.8% take over 30 minutes to fall asleep, 25% take more than 60 minutes), daytime dysfunction (71.7% report moderate daytime sleepiness, 19.6% report high levels), and pronounced morning fatigue (57.6% rate their sleep efficiency below 85%), indicating insufficient sleep quality and restoration.

Despite these sleep problems, most participants (77 women; 83.7%) do not use sleeping pills. Only 9 respondents (9.8%) reported taking sleep medications 2-3 times per week. The vast majority (91.3%) experience increased daytime sleepiness of varying severity. Severe sleep disturbances can have systemic effects on the body, highlighting the need for further diagnostics and interventions. Women with sleep disorders exhibit significant activation of the sympathetic nervous system and suppression of parasympathetic regulation (reduced SDNN and RMSSD compared to normal values, increased AMo and LF/HF index).

The results indicate a decline in the body's adaptive capacity due to sympathetic nervous system activation, which intensifies under high-stress conditions. These findings may be useful for developing preventive and therapeutic programs.

Key words: heart rate variability, stress, adaptation, sleep disorders, women, middle age.

Вступ. Порушення сну серед жінок середнього віку є поширеною проблемою, що значно впливає на якість їхнього життя, особливо в умовах воєнних дій.

Стресові події, пов'язані з війною, підвищують рівень тривоги, що призводить до дисрегуляції вегетативної нервової системи та негативно впливає на архітектуру

сну. Основні симптоми порушень сну включають труднощі із засинанням, часті пробудження, поверхневий сон і ранні пробудження. ВСП є важливим показником, що відображає баланс між симпатичною і парасимпатичною активністю, а її порушення свідчать про зміни адаптаційних механізмів організму.

Метою статті є висвітлення результатів дослідження порушень сну та показників варіабельності серцевого ритму у жінок середнього віку в умовах воєнних дій з метою визначення можливих адаптаційних механізмів та розробки рекомендацій для їх корекції.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження виконане в рамках Угоди про навчальну, навчально-методичну, науково-дослідну та просвітницьку співпрацю між Сумським державним педагогічним університетом імені А.С.Макаренка та ТОВ “Мед-Союз” [9]. Дослідження проводилось у період з лютого 2023 року по серпень 2024 року серед жінок середнього віку (45-55 років), які мали скарги на порушення сну. Загальна кількість учасниць дослідної групи становила 92 жінки. Критерії виключення: наявність психічних та хронічних соматичних хвороб. Усі учасниці були ознайомлені з метою та методиками обстеження і надали письмову Інформовану згоду на участь у дослідженні.

Порушення сну вивчалися за допомогою спеціалізованих методик: опитувальники “Шкала денної сонливості Епворта” (Epworth Sleepiness Scale, ESS) та “Пітсбурзький індекс якості сну” (Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI). Для оцінки варіабельності серцевого ритму (BCP) проводилось добове ЕКГ-моніторування із застосуванням системи «КардіоСенс CS» (ТОВ «ХАІ-МЕДИКА», Україна). Аналізували частотно-часові показники BCP: RMSSD, SDNN, AMo, LF/HF. Статистична обробка даних виконувалась за допомогою програм SPSS Statistics 27.

Результати та обговорення. За результатами самооцінки рівня денної сонливості (методика ESS) (табл. 1) встановлено, що більшість обстежених жінок, які в анамнезі мають скарги на якість сну, характеризуються помірним (середнім) ступенем денної сонливості (66 осіб; 71,7%). Високий ступінь сонливості виявлено у 18 осіб (19,6%), у яких сонливість протягом дня суттєво перевищувала норму. Лише 8 жінок (8,7%) показали нормальну денну сонливість.

Таблиця 1

Показники денної сонливості у жінок середнього віку, які мають порушення сну (за методикою ESS)

Рівень денної сонливості	Загальний бал шкали ESS	Результат (M±m)	Кількість осіб (n)	%
Нормальна денна сонливість	0-9	8,0 ± 0,5	8	8,7
Середній ступінь сонливості	10-15	13,5 ± 1,0	66	71,7
Високий ступінь сонливості	16-24	18,5 ± 1,2	18	19,6

Отже, суб’єктивні скарги на проблеми зі сном супроводжуються змінами у режимі денної активності: у переважній більшості обстежених жінок (91,3%) активність

протягом дня супроводжується підвищеною сонливістю різного ступеня вираженості. Аналіз відповідей методики ESS за кількістю набраних балів, що відповідають вираженій сонливості (2-3 бали), засвідчив, що жінки із скаргами на порушення сну найбільш схильні засинати вдень за умов пасивних або розслаблених станів, особливо в ситуаціях “лежачи”, “дивлячись телевізор”, “читаючи”, “після обіду”. Найменшу вагу в денній сонливості мали ситуації “спілкування” та “активної діяльності” (табл. 2). Беззаперечно, денна сонливість у пасивних ситуаціях є природною фізіологічною реакцією організму, особливо в періоди зниження активності. Однак, у жінок із високим індексом сонливості за шкалою ESS надмірна денна сонливість може бути симптомом більш глибоких проблем зі сном та інших проблем, пов’язаних із психікою та/або фізичним здоров’ям.

Таблиця 2

Ймовірність засинання у повсякденних ситуаціях серед жінок із порушеннями сну (ESS)

Питання	% відповідей 2–3 бали	Кількість осіб (n)
лежання вдень для відпочинку	90,2%	83
перегляд телевізора	84,8%	78
поїздка на автомобілі як пасажир протягом години без перерви	80,4%	74
дрімота після обіду (спокійне сидіння після обіду без вживання алкоголю)	80,4%	74
читання сидячи	75,0%	69
пасивне сидіння в громадському місці	69,6%	64
водіння автомобіля в пробці (або тривала зупинка на світлофорі)	50,0%	46
спілкування сидячи з іншою людиною	40,2%	37

Постійну сонливість необхідно розглядати як потенційно небезпечний симптом, що здатний збільшити ризик помилок та травматизації при виконанні повсякденних завдань через пониження уважності на процесі, адже неодноразово показаний її зв’язок із зниженням працездатності (особливо в умовах багатозадачності), концентрації уваги та оперативної пам’яті [12; 13; 19]. Надмірна денна сонливість вважається є серйозною проблемою громадського здоров’я (частота випадків в світі – до 20% [15] і потребує лікування та корекції, адже може призводити до стійких змін когнітивних функцій та вплинути на загальне самопочуття.

Опитувальник PSQI спрямований на ретроспективне суб’єктивне оцінювання респондентом якості власного сну шляхом аналізу 7 ключових його аспектів за останній місяць, що дозволяє виявити і оцінити потенційні порушення сну. З метою детального аналізу та структурування результатів нами було об’єднано компоненти методики за основними аспектами якості сну в такі групи: 1) загальна суб’єктивна оцінка сну (критерії – суб’єктивна якість сну, денна дисфункція (сонливість, втома), використання снодійних засобів (як додатковий фактор, що вказує на проблеми); 2) архітектура та три-

валість сну (критерії – тривалість сну, ефективність сну); 3) проблеми зі сном (критерії – порушення сну, латентність засинання, пробудження серед ночі, ранкова розбитість).

Згідно отриманих результатів, середньогруповий показник за критерієм «якість сну» в досліджуваній групі становив $2,2 \pm 0,6$ бали, що відповідає наявним в анамнезі учасниць суб'єктивним скаргам на сон. При цьому, більшість опитаних жінок (63 особи; 68,5%) вказали на загальну незадоволеність сном, з них: 19 учасниць (20,7%) оцінили його якість як «дуже погану», 23 учасниці (25%) – як «погану», 21 учасниця (22,8%) – як «задовільну» (табл. 3).

За компонентом PSQI «денна дисфункція» отримано результати, що свідчать про високу поширеність серед досліджуваного контингенту відчуття втоми та сонливості, зниження функцій уваги: у 59,8% учасниць виявлено «помірні» та «високі» оцінки.

Не зважаючи на наявні проблеми зі сном, більшість жінок-учасниць (77 осіб; 83,7%) не вживають снодійні препарати. Частоту прийому медикаментів для сну у 2-3 рази на тиждень відзначили лише 9 опитаних (9,8%). Середньогруповий показник даного критерію ($0,9 \pm 0,3$ бали) майже не перевищує встановлених авторами методики нормальних значень.

Отримані результати за другою групою компонентів методики PSQI представлено в таблиці 4. Виявлено суттєві зміни показників тривалості сну серед жінок із скаргами на порушення сну: загалом 68 осіб (63%) мають тривалість сну 6 і менше годин, що нижче рекомендованої норми (7–9 годин).

Особливо критичною є ситуація у 31 жінки (33,7%), які, згідно відповідей, сплять менше 5 годин. Це свідчить про хронічне недосипання, що може призводити до появи когнітивних та психоемоційних порушень, зниження працездатності, а також закладає основу підвищеного ризику таких соматичних захворювань як гіпертензія, ожиріння, порушення метаболізму [14, 16, 17]. Лише 15 опитаних жінок з групи (16,3%) виділяють на сон більше 7 годин, що є малим відсотком у загальній

вибірці та вказує на тенденцію до дефіциту сну в групі.

Окрім зниженої тривалості сну, значна частка учасниць (53 жінки, 57,6%) оцінили ефективність свого сну нижче 85%, що є ознакою порушеної структури сну. Звертає увагу, що у 14 жінок (15,2%) ефективність сну <65%, що означає низький рівень відновлення після сну. Показано, що висока суб'єктивна оцінка неефективності сну може бути маркером прихованих розладів сну (наприклад, апное, синдром неспокійних ніг, інсомнія, фрагментація сну тощо) [4; 6; 11; 18].

Аналіз результатів, пов'язаних із порушеннями процесу сну, віднесені до третьої групи компонентів PSQI, засвідчив, що найбільш типовими порушеннями в досліджуваній групі жінок є нічні пробудження та складність засинання (табл. 5).

Розподіл учасниць по категоріях відповідей засвідчив, що приблизно половина з них (45 осіб; 48,9%) засинали протягом 30 хвилин або менше, що свідчить про відносно хорошу якість ініціації сну серед жінок, які мають порушення сну. Водночас, 23 учасниці (25%) витрачають понад 60 хвилин на засинання, що свідчить про суттєві порушення сну та можливу інсомнію (безсоння). Проблеми з ініціацією сну можуть впливати на загальну якість сну.

Згідно з отриманими даними, нічні пробудження є поширеною проблемою серед досліджуваної групи, оскільки 70 жінок (понад 75%) відзначають їхню наявність. Зокрема, 30 осіб (32,6%) прокидаються 1–2 рази на тиждень, що може свідчити про помірні порушення сну та можливий вплив зовнішніх або психологічних факторів. Водночас 40 осіб (43,5%) повідомили про пробудження ≥ 3 разів на тиждень, що вказує на значні порушення сну, які можуть бути пов'язані з фрагментацією сну, хронічним стресом або фізіологічними розладами (наприклад, інсомнією чи синдромом неспокійних ніг) [7; 10].

Більша частина учасниць (43 жінки; 46,7%) не відчувала ранкової розбитості, що свідчить про задовільну якість відновлення під час сну. Водночас 28 з них (30,4%) відзначили, що відчували втому вранці періо-

Таблиця 3

Суб'єктивна оцінка сну жінками, які мають порушення сну (за методикою PSQI)

Компонент PSQI (M ± m)	Відповіді (категорії) / Кількість осіб (у %)			
	<i>хороша</i>	<i>задовільна</i>	<i>погана</i>	<i>дуже погана</i>
суб'єктивна якість сну ($2,2 \pm 0,6$ бали)	31,5	22,8	25,0	20,7
денна дисфункція ($2,3 \pm 0,5$ бали)	<i>відсутня</i>	<i>легка</i>	<i>помірна</i>	<i>висока</i>
	20,7	19,6	33,7	26,1
використання снодійного ($0,9 \pm 0,3$ бали)	<i>не використовує</i>	<i>1 раз/ тиждень</i>	<i>2 рази/ тиждень</i>	<i>≥ 3 рази/ тиждень</i>
	83,7	6,5	5,4	4,4

Таблиця 4

Особливості архітектури та тривалості сну серед жінок, які мають порушення сну (за методикою PSQI)

Компонент PSQI (M ± m)	Відповіді (категорії) / Кількість осіб (у %)			
	<i>> 7 годин</i>	<i>6–7 годин</i>	<i>5–6 годин</i>	<i>< 5 годин</i>
тривалість сну ($2,3 \pm 0,5$ бали)	16,3	20,7	29,3	33,7
ефективність сну ($2,0 \pm 0,4$ бали)	<i>висока (>85%)</i>	<i>знижена (75–85%)</i>	<i>помірно знижена (65–75%)</i>	<i>низька (<65%)</i>
	42,4	22,8	19,6	15,2

дично, що може бути пов'язано з недостатньою тривалістю або переривчастістю сну. Для 21 жінки (22,8%) виражена ранкова розбитість була регулярним явищем, що є значущою ознакою зниження якості сну.

Слід відзначити, що середньогрупові значенні всіх компонентів PSQI (крім “використання снодійних засобів”) відповідають помірному рівню порушень сну (згідно методики, 0 балів відповідає нормі, 3 бали – вираженим порушенням), що не є критичними та можуть піддаватися корекції за допомогою гігієни сну, психоемоційного менеджменту та/або медичного супроводу. Найвищі значення, наближені до високого рівня порушень, спостерігалися за показниками “денна дисфункція” ($2,3 \pm 0,5$ бали), “тривалість сну” ($2,3 \pm 0,5$ бали) та “пробудження серед ночі” ($2,2 \pm 0,6$ бали). Ці компоненти є ключовими індикаторами порушень сну, оскільки безпосередньо впливають на якість відпочинку, когнітивну та фізичну продуктивність протягом дня. Виявлені зміни можуть свідчити про серйозні проблеми зі сном, що вимагають подальшого аналізу та негайних коригуючих втручань для покращення загального стану здоров'я та самопочуття.

Зважаючи на тісний зв'язок між якістю та структурою сну і балансом взаємодії парасимпатичної та симпатичної гілок автономної нервової системи, а також з метою оцінки впливу порушень сну на функціонування серцево-судинної системи [1; 3], нами було проведено дослідження параметрів варіабельності серцевого ритму серед жінок середнього віку, які мають скарги на дисфункції сну. Результати показали, що наявність порушень сну призводить до суттєвої модуляції показників BCP (табл. 6).

Встановлено, що жінки з порушеннями сну демонструють виражену активацію симпатичної нервової системи та пригнічення парасимпатичної регуляції, підтвердженням чого слід вважати знижені відносно норми середньогрупові значення SDNN та RMSSD ($24,4 \pm 4,7$ мс та $17,9 \pm 3,7$ мс відповідно). Зниження загальної BCP та порушення балансу автономної нер-

вової системи може свідчити про зменшення адаптаційних резервів, високий рівень стресу та накопичення втоми серед осіб даної групи. На користь висновку щодо зростання активності симпатичної НС серед досліджуваного контингенту свідчить і показник АМо, що, згідно отриманих даних, перевищує середні значення для даної вікової групи в 1,5 рази ($62,28 \pm 6,44$; $p < 0,05$).

Аналіз частотних характеристик BCP в досліджуваній групі також свідчить про дисбаланс між симпатичними та парасимпатичними впливами на серцево-судинну систему на тлі порушень сну. Виявлено знижену вагусну активність (низький рівень HF) та знижений симпатичний тонус (LF знаходиться на нижній межі діапазону нормальних значень). Низькі рівні високочастотного компонента пов'язують із зниженням здатності організму ефективно відновлюватися, що може відбуватися через фонові стрес-обставини чи виражені порушення сну. В дослідженнях також показано, що за умов нормального функціонування організму LF-компонент підвищується на тлі фізичних навантажень або стресових реакцій, в той час як його зниження може вказувати на дисбаланс в АНС і, як наслідок, порушення регуляції серцево-судинної системи [5; 8]. Зокрема, результатами дослідження [2] встановлено достовірні кореляційні зв'язки між параметрами BCP та показниками психічного стану у кваліфікованих борців на етапі спеціалізованої базової підготовки: зростання ступеня напруження автономної регуляції та активації симпатичної НС (збільшення LF та співвідношення LF/HF, зниження HF) провокує підвищення психічної втоми та тривоги, і, навпаки, послаблення напруження регуляції ритму серця відображає уповільнення психічної напруги.

Співвідношення LF/HF в дослідній групі дорівнювало $3,42 \pm 0,11$, що перевищує нормальні значення в 3 рази. Значне підвищення LF/HF вказує на стійку симпатичну гіперактивність, що може призводити до порушень відновних процесів під час сну, і водночас розглядається як фактор, який сприяє підвищенню артеріального тиску та збільшує ризик серцево-судинних захворювань.

Таблиця 5

Характеристики сну серед жінок, які мають порушення сну (за методикою PSQI)

Компонент PSQI (М ± m)	Відповіді (категорії) / Кількість осіб (у %)			
латентність засинання ($2,1 \pm 0,5$ бали)	< 15 хв 27,2	16–30 хв 21,7	31–60 хв 26,1	> 60 хв 25
пробудження серед ночі ($2,2 \pm 0,6$ бали)	рідко (≤ 1 раз/тиждень) 23,9	іноді (1–2 рази/тиждень) 32,6	часто (≥ 3 разів/тиждень) 43,5	
ранкова розбитість ($1,7 \pm 0,4$ бали)	немає 46,7	іноді 30,4	часто 22,8	

Таблиця 6

Частотно-часові показники BCP у жінок середнього віку із порушеннями сну

Показник BCP	Референтні значення	Результат (М±m)
SDNN (мс)	30-50	$24,4 \pm 4,7$
RMSSD (мс)	20-40	$17,9 \pm 3,7$
АМо (%)	≈ 40	$62,28 \pm 6,44$
HF (мс ²)	150-700	205 ± 47
LF (мс ²)	400-1500	684 ± 171
LF/HF	0.7-1.3	$3,42 \pm 0,11$

Загалом, отримана клінічна картина модуляції показників ВСР у жінок із порушеннями сну свідчить про потенційно негативний характер змін регуляції серцевого ритму та наявні ознаки стресової дезадаптації організму та виснаження його компенсаторних механізмів.

Висновки.

1. Згідно з отриманими даними, значна частина (68,5%) жінок середнього віку має порушення сну, а саме: скорочення тривалості сну (63% сплять ≤ 6 годин, 33,7% – < 5 годин); часті нічні пробудження (76,1% мають епізоди нічних пробуджень, з них 43,5% – ≥ 3 разів на тиждень); збільшена латентність сну (у 47,8% час засинання перевищує 30 хв, у 25% – більше 60 хв); денна дисфункція (71,7% мають помірну денну сонливість, 19,6% – високу) та виражене відчуття втоми вранці (57,6% оцінили ефективність свого сну нижче 85%), що свідчить про недостатню ефективність та відновлюваність сну. Виражені проблеми зі сном можуть

мати системний вплив на організм вказує на потребу додаткової діагностики та втручання.

2. У жінок середнього віку з порушеннями сну спостерігається значне зниження ВСР, що свідчить про порушення вегетативного балансу. Домінування симпатичної активності у таких осіб збільшує ризик розвитку серцево-судинних захворювань.

3. В умовах воєнних дій стрес і тривожні стани значно посилюють проблеми зі сном, що потребує розробки спеціалізованих програм профілактики та корекції порушень сну, спрямованих на нормалізацію показників ВСР і підвищення адаптаційних можливостей організму.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення кореляційних зв'язків між якістю сну, показниками ВСР та іншими фізіологічними параметрами, а також на розробку індивідуалізованих програм корекції порушень сну.

Література:

1. Ждан В. М., Катеренчук О. І., Іваницький І. В., Кир'ян О. А., Хайменова Г. С. Серцево-судинні ускладнення синдрому обструктивного апное сну: у фокусі порушення реполяризації міокарда. *Східноукраїнський медичний часопис*. 2020. № 8(2). С. 176–181. DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2020;8\(2\):176-181](https://doi.org/10.21272/eumj.2020;8(2):176-181).
2. Коробейников Г., Коханевич А. Особливості психічного стану у кваліфікованих борців. *Єдиноборства*. 2024. № 2(32). С. 52–60. DOI: <https://doi.org/10.15391/ed.2024-2.05>.
3. Ляшенко В. П., Стеценко С. М. Особливості варіабельності серцевого ритму на фоні порушення сну та стресових факторів: теоретичний аспект. *Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки*. 2024. № 1. С. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.1.5>.
4. Ляшенко Ю., Огоренко В. Порівняльна клініко-феноменологічна характеристика тривожно-депресивних розладів невротичного та органічного генезу з порушеннями сну. *Психосоматична медицина та загальна практика*. 2024. № 3(9). URL: <https://ev-ojs.e-medjournal.com/index.php/psp/article/view/516> (дата звернення: 13.01.2025).
5. Наскалова С. С., Антонюк-Щеглова І. А., Бондаренко О. В., Асанов Е. О., Дибя І. А., та ін. Маркери посттравматичного стресу у цивільних чоловіків та жінок різного віку під час російсько-української війни. *Фізіологічний журнал*. 2024. № 70(5). С. 20–29. URL: https://fz.kiev.ua/journals/2024_V.70/5/Fzh-5-2024-20-29.pdf (дата звернення: 13.01.2025).
6. Романенко І. Ю., Третяк О. Е. Метаболічні наслідки розладів сну. Огляд літератури. *Clinical Endocrinology and Endocrine Surgery*. 2022. № 2. С. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.30978/CEES-2022-2-39>.
7. Сагайдак А., Мицько В. Фізіологічні ознаки гострого та хронічного стресу підлітків. *Актуальні питання розвитку галузей науки* : Матер. IV Міжнар. наук. конф., м. Київ, 15 лист. 2024 р. Київ, 2024. С. 587–593. DOI: <https://doi.org/10.62731/mcnd-15.11.2024.008>.
8. Сивохоп Е. М., Чернозуб А. А., Коваль В. В., Тимочко О. І. Варіабельність серцевого ритму як критерій оцінки функціонального стану студентів з гіпокінезією. *Педагогічна інноватика: Сучасність та перспективи*. 2024. № 4. С. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.32782/ped-uzhnu/2024-4-20>.
9. Угода про співпрацю між Сумським державним педагогічним університетом імені А.С.Макаренка та ТОВ «Мед-Союз». 2024. URL: https://pgf.sspu.edu.ua/images/2024/docs/dogovir_medsoyuz_2024_314e2.PDF (дата звернення: 21.03.2023).
10. Чернякова О., Гришко О., Гончарук Є. Особливості впливу депривації сну на когнітивні функції та психічне здоров'я сучасних студентів в умовах воєнного стану. *Current scientific goals, approaches and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference*, Riga, August 9, 2024. Riga, 2024.. P. 74–78. URL: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/2013> (дата звернення: 21.03.2023).
11. Chaput J.-P., Dutil C. Lack of sleep as a contributor to obesity in adolescents: impacts on eating and activity behaviors. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2016. Vol. 13, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12966-016-0428-0>.
12. Haavisto M.-L., Porkka-Heiskanen T., Hublin C., Härmä M., Mutanen P. et al. Sleep restriction for the duration of a work week impairs multitasking performance. *Journal of Sleep Research*. 2010. Vol. 19, no. 3. P. 444–454. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00823.x>.
13. Lowe C. J., Safati A., Hall P. The neurocognitive consequences of sleep restriction: A meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Review*. 2017. Vol. 80. P. 586–604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.010>.
14. Ramos A. R., Wheaton A. G., Johnson D. A. Sleep deprivation, sleep disorders, and chronic disease. *Preventing Chronic Disease*. 2023. Vol. 20. DOI: <http://dx.doi.org/10.5888/pcd20.230197>.
15. Slater G., Steier J. Excessive daytime sleepiness in sleep disorders. *Journal of thoracic disease*. 2012. Vol. 4, no. 6. P. 608–616. DOI: <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2012.10.07>.
16. Tobaldini E., Costantino G., Solbiati M., Cogliati C., Kara T. et al. Sleep, sleep deprivation, autonomic nervous system and cardiovascular diseases. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2017. Vol. 74. P. 321–329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.004>.

17. Zuraikat F. M., Laferrère B., Cheng B., Scaccia S. E., Cui Z. et al. Chronic insufficient sleep in women impairs insulin sensitivity independent of adiposity changes: results of a randomized trial. *Diabetes Care*. 2024. Vol. 47, no. 1. P. 117–125. DOI: <https://doi.org/10.2337/dc23-1156>.
18. Owens J. Insufficient sleep in adolescents and young adults: an update on causes and consequences. *Pediatrics*. 2014. Vol. 134, no. 3. P. e921–e932. DOI: <https://doi.org/10.1542/peds.2014-1696>.
19. Wüst L. N., Capdevila N. C., Lane L. T., Reichert C. F., Lasauskaite R. Impact of one night of sleep restriction on sleepiness and cognitive function: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev*. 2024. Vol. 76. P. 101–940. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2024.101940>.

References:

1. Zhdan, V. M., Katerenchuk, O. I., Ivanytskyi, I. V., Kyr'ian, O. A., Khaimenova, H. S. (2020). Sertsevo-sudynni uskladnennia syndromu obstruktyvnoho apnoe snu: u fokusi porushennia repolaryzatsii miokarda [Cardiovascular complications of obstructive sleep apnea syndrome: Focus on myocardial repolarization abnormalities]. *Skhidnoukrainskyi medychnyi chasopys*, 8(2), 176–181. [https://doi.org/10.21272/eumj.2020;8\(2\):176-181](https://doi.org/10.21272/eumj.2020;8(2):176-181) [in Ukrainian].
2. Korobeinikov, H., Kokhanevych, A. (2024). Osoblyvosti psikhichnoho stanu u kvalifikovanykh bortsiv [Peculiarities of the mental state of qualified wrestlers]. *Yedynoborstva*, 2(32), 52–60. <https://doi.org/10.15391/ed.2024-2.05/> [in Ukrainian].
3. Liashenko, V. P., Stetsenko, S. M. (2024). Osoblyvosti variabelnosti sertsevoho rytmu na foni porushennia snu ta stresovykh faktoriv: teoretychnyi aspekt [Peculiarities of heart rate variability against the background of sleep disturbance and stress factors: theoretical aspect]. *Slobozhanskyi naukovyi visnyk. Seriya: Pryrodnychi nauky*, 1, 43–49. <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.1.5> [in Ukrainian].
4. Liashchenko, Yu., Ohorenko, V. (2024). Porivnialna kliniko-fenomenolohichna kharakterystyka tryvozno-depresyynykh rozladiv nevrotichnoho ta orhanichnoho genezu z porushenniamy snu [Comparative clinical and phenomenological characteristics of anxiety-depressive disorders of neurotic and organic genesis with sleep disorders]. *Psykhosomatychna medytsyna ta zahalna praktyka*, 3(9). URL: <https://ev-ojs.e-medjournal.com/index.php/psp/article/view/516> [in Ukrainian].
5. Naskalova, S. S., Antoniuk-Shcheglova, I. A., Bondarenko, O. V., Asanov, E. O., Dyba, I. A., et al. (2024). Markery posttraumatychnoho stresu u tsyvilnykh cholovikiv ta zhink riznoho viku pid chas rosiisko-ukrainskoi viiny [Markers of post-traumatic stress in civilian men and women of different ages during the Russian-Ukrainian war]. *Fiziolohichni zhurnal*, 70(5), 20–29. URL: https://fz.kiev.ua/journals/2024_V.70/5/Fzh-5-2024-20-29.pdf [in Ukrainian].
6. Romanenko, I., Tretiak, O. (2022). Metabolichni naslidky rozladiv snu. Ohliad literatury [Metabolic consequences of sleep disorders. Literature review]. *Clinical Endocrinology and Endocrine Surgery*, 2, 39–46. <https://doi.org/10.30978/CEES-2022-2-39> [in Ukrainian].
7. Sahaidak, A., Mytsko, V. (2024). Fiziolohichni oznaky hostroho ta khronichnoho stresu pidlitkiv [Physiological signs of acute and chronic stress in adolescents]. *Aktualni pytannia rozvytku haluzei nauky*. Kyiv, 587–593. <https://doi.org/10.62731/mcnd-15.11.2024.008> [in Ukrainian].
8. Syvokhop, E. M., Chernozub, A. A., Koval, V. V., Tymochko, O. I. (2024). Variabelnist sertsevoho rytmu yak kryterii otsinky funktsionalnoho stanu studentiv z hipokineziieiu [Heart rate variability as a criterion for assessing the functional state of students with hypokinesia]. *Pedahohichna innovatyka: Suchasnist ta perspektyvy*, 4, 134–140. <https://doi.org/10.32782/ped-uzhnu/2024-4-20> [in Ukrainian].
9. Uhoda pro spivpratsiu mizh Sumskym derzhavnym pedahohichnym universytetom imeni A.S. Makarenka ta TOV «Med-Soiuz» pro navchalnu, navchalno-metodychnu, naukovu-doslidnu ta prosvitnytsku spivpratsiu. (2024). URL: https://pgf.sspu.edu.ua/images/2024/docs/dogovir_medsoyuz_2024_314e2.PDF [in Ukrainian].
10. Cherniakova, O., Hryshko, O., Honcharuk, Ye. (2024). Osoblyvosti vplyvu depyvatsii snu na kohnityvni funktzii ta psikhichne zdorov'ia suchasnykh studentiv v umovakh voiennoho stanu [Peculiarities of the impact of sleep deprivation on cognitive functions and mental health of modern students under martial law]. *Current scientific goals, approaches and challenges: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the II International Scientific and Theoretical Conference*. Riga, 74–78. URL: <https://previous.scientia.report/index.php/archive/article/view/2013> [in Ukrainian].
11. Chaput, J.-P., Dutil, C. (2016). Lack of sleep as a contributor to obesity in adolescents: Impacts on eating and activity behaviors. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12966-016-0428-0>.
12. Haavisto, M.-L., Porkka-Heiskanen, T., Hublin, C., Härmä, M., Mutanen, P., et al. (2010). Sleep restriction for the duration of a work week impairs multitasking performance. *Journal of Sleep Research*, 19(3), 444–454. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2010.00823.x>.
13. Lowe, C. J., Safati, A., Hall, P. (2017). The neurocognitive consequences of sleep restriction: A meta-analytic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 80, 586–604. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.07.010>.
14. Ramos, A. R., Wheaton, A. G., Johnson, D. A. (2023). Sleep deprivation, sleep disorders, and chronic disease. *Preventing Chronic Disease*, 20. <https://doi.org/10.5888/pcd20.230197>.
15. Slater, G., Steier, J. (2012). Excessive daytime sleepiness in sleep disorders. *Journal of Thoracic Disease*, 4(6), 608–616. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2012.10.07>.
16. Tobaldini, E., Costantino, G., Solbiati, M., Cogliati, C., Kara, T., et al. (2017). Sleep, sleep deprivation, autonomic nervous system and cardiovascular diseases. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 74, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.07.004>.
17. Zuraikat, F. M., Laferrère, B., Cheng, B., Scaccia, S. E., Cui, Z., et al. (2024). Chronic insufficient sleep in women impairs insulin sensitivity independent of adiposity changes: Results of a randomized trial. *Diabetes Care*, 47(1), 117–125. <https://doi.org/10.2337/dc23-1156>.
18. Owens, J. (2014). Insufficient sleep in adolescents and young adults: An update on causes and consequences. *Pediatrics*, 134(3), e921–e932. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-1696>.
19. Wüst, L. N., Capdevila, N. C., Lane, L. T., Reichert, C. F., Lasauskaite, R. (2024). Impact of one night of sleep restriction on sleepiness and cognitive function: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 76, 101940. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2024.101940>.

СЕЗОННИЙ РИТМ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ РЕПРОДУКТИВНОЇ ЗДАТНОСТІ РОСЛИН *CALLA PALUSTRIS* L. В УМОВАХ ІНТРОДУКЦІЇ

Чіков Ігор Васильович,

молодший науковий співробітник відділу трав'янистих рослин
Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України
ORCID ID: 0000-0003-3209-6230

Куземко Анна Аркадіївна,

доктор біологічних наук,
провідний науковий співробітник відділу
геоботаніки та екології

Інституту ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України
ORCID ID: 0000-0002-9425-2756
Scopus Author ID: 56366188800
Web of Science ResearcherID: K-5674-2016

Діденко Інна Петрівна,

кандидат біологічних наук,
завідувач відділу трав'янистих рослин
Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України
ORCID ID: 0000-0002-4198-3432
Scopus Author ID: 59353269100

Джус Людмила Леонідівна,

молодший науковий співробітник відділу трав'янистих рослин
Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України
ORCID ID: 0000-0003-3586-7432
Scopus Author ID: 59359717900

Бойко Ірина Василівна,

кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник відділу трав'янистих рослин
Національного дендрологічного
парку «Софіївка» НАН України
ORCID ID: 0000-0002-4643-6315

У даній статті наведено результати фенологічних спостережень рослин *Calla palustris ex situ* Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України. Установлено календарні межі та тривалість основних фенологічних фаз розвитку даного виду в умовах *ex situ*. Встановлено, залежність настання фенофаз досліджуваних рослин від суми ефективних температур. Вегетативна фаза настає у другій-третьій декаді квітня, при цьому спостерігається широкий діапазон сум ефективних температур по роках досліджень: від 78,2°C до 145,5°C. Фаза бутонізації розпочиналася за суми ефективних температур від 192,7°C (2022 р.) до 231,8°C (2023 р.). Бутонізацію відмічено у І-ІІ декаді травня, тривалість фази – 4-11 діб. Початок фази квітнення фіксували за широкого температурного діапазону сум ефективних температур від 229,7°C до 457,8°C. Рослини квітнули з ІІ декади травня по І декаду червня. Динаміка тривалості цієї фази варіює від 8 діб (2020 р.) до 14 діб (2022 р.). Фаза дозрівання насіння наступала у ІІІ декаді липня (2020 р.) по І декаду вересня (2023 р.). Тривалість значно не змінювалась, 18 діб (2023 р.), 19 діб (2020-2022 рр.) та 24 доби (2021 р.). Але слід зазначити, що з кожним роком тривалість дозрівання збільшується у бік вересня. Фаза відмирання розпочиналася у ІІ – ІІІ декаді вересня, за суми ефективних температур 2045,8°C – 2139,9°C, а закінчувалася у ІІ декаді жовтня (2147,8°C – 2411,6°C). Загалом, ця фаза триває від 29 до 33 діб.

Вегетаційний період рослин *C. palustris ex situ* НДП «Софіївка», за роки досліджень, тривав 169–180 діб. В умовах культури рослини *C. palustris* проходять повний цикл сезонного розвитку.

Загальний коефіцієнт семеніфікації незначно коливається по роках і в цілому складає 70–80%. За нашими спостереженнями, такий показник вказує на необхідність стратифікації, а нерегулярне насінне відновлення в умовах культури потребує подальшого вивчення більш пізніх етапів репродуктивного циклу. Репродуктивна здатність досліджуваного виду характеризується середніми показниками, що дає можливість штучного розмноження насінням.

Ключові слова: водно-болотні угіддя, фенологія, насіння, культивування.

Chikov Ihor, Kuzemko Anna, Didenko Inna, Dzhus Liudmyla, Boiko Iryna. Seasonal rhythm of development and features of reproductive capacity of *Calla palustris* L. plants in introduction conditions

This article presents the results of phenological observations of *C. palustris* ex situ in the National Dendrological Park "Sofiyivka" of the National Academy of Sciences of Ukraine. The dates of onset, duration and end of phenological phases were determined. The dependence of the onset of the phenological phases of the studied plants on the sum of effective temperatures was established. The vegetative phase occurs in the second or third decade of April, with a wide range of effective temperatures over the years of research: from 78.2°C to 145.5°C. The budding phase began at the sum of effective temperatures from 192.7°C (2022) to 231.8°C (2023). The budding was observed in the I-II decade of May; the duration of phase duration was 4-11 days. The beginning of the flowering phase was recorded at a wide temperature range of the sum of effective temperatures from 229.7°C to 457.8°C. Plants bloomed from the second decade of May to the first decade of June. The dynamics of the duration of this phase varied from 8 days (2020) to 14 days (2022). The seed ripening phase occurred in the third decade of July (2020) to the first decade of September (2023). The duration did not change significantly: 18 days (2023), 19 days (2020–2022), and 24 days (2021). However, it should be noted that the ripening duration shifts towards September every year. Senescence phase began in the second to third decade of September, with the sum of effective temperatures of 2045.8°C–2139.9°C, and ended in the second decade of October (2147.8°C–2411.6°C). In general, this phase lasts from 29 to 33 days.

Over the years of research, the vegetation period of *C. palustris* plants ex situ National Dendrological Park "Sofiyivka" lasted 169–180 days. Under culture conditions, plants go through a complete cycle of seasonal development.

The overall seeding rate fluctuates slightly over the years, generally 70–80%. According to our observations, this indicator indicates the need for stratification, and irregular seed renewal in culture requires further study of the later stages of the reproductive cycle. The reproductive capacity of the studied species is characterized by average indicators, which makes it possible to artificially propagate characterized by average indicators, which makes it possible to propagate artificially by seeds.

Key words: wetlands, phenology, seeds, cultivation.

Вступ. Останні події в Україні (COVID-19, воєнне вторгнення російської федерації) відсунули проблеми кліматичних змін на другий план. Однак ці зміни вже виявляються, охоплюють різні сфери нашого життя, породжують похідні каскадні непередбачувані процеси, вирішення яких є складним і тривалим. Сучасне потепління клімату відбувається надзвичайно стрімко. Середня температура планети ще ніколи не зростала з такою неймовірною швидкістю. Біологічні види й екосистеми не встигають виробити відповідні пристосування до таких умов [2, с. 5]. Найбільш вразливими є прісноводні водно-болотні угіддя, так як від підвищення температури повітря вони все більше висушуються, що впливає на ріст та розвиток рослинності у них. Тому стан їх збереження залежить від детальних знань про поширення, біологію та екологію рослин.

Одним з вразливих прибережно-водних рослин є *Calla palustris* L. –представник родини Araceae Juss. Поширений у Північній й Середній Європі, східних районах Північної Америки [7, с. 127; 10, с. 15]. У Європі цей вид поширений у – Норвегії, Швеції, Фінляндії, Данії, Нідерландах, Бельгії з Люксембургом, Франції, Швейцарії, Німеччині, Польщі, Австрії з Ліхтенштейном, Чехії, Словаччині, Румунії, країнах Балтії (Естонія, Латвія, Литва), Білорусі, усій європейській частині росії та Туреччині [11; 7, с. 127].

Завдяки своїй декоративності рослини *C. palustris* висаджують й на штучно створених ділянках. Культивується у Великій Британії та Ірландії [12, с. 164; 11].

В Україні *C. palustris* розповсюджений у Поліссі, у Лісостепу та біля підніжжя Карпат – зрідка [6, с. 208]. У Вінницькій, Донецькій, Івано-Франківській, Закарпатській, Полтавській, Сумській, Тернопільській, Харківській, Хмельницькій, Черкаській, Чернівецькій та м. Київ цей вид занесений до Офіційних переліків регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України [9, с. 9, 41, 57, 98, 108, 120, 137, 141, 145]. Культивуються рослини у Державному дендрологічному

парку «Олександрія» НАН України [3, с. 39; 5, с. 42], Ботанічному саду Львівського національного університету ім. Івана Франка [5, с. 42], Ботанічному саду ім. акад. О.В. Фоміна [1, с. 111] та Національному дендрологічному парку «Софіївка» НАН України [7, с. 127].

Метою наших досліджень було з'ясувати сезонний ритм росту й розвитку та особливості репродуктивної біології рослин *C. palustris* ex situ Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України (НДП «Софіївка»).

Матеріали та методи. Для досягнення поставленої мети передбачалося визначення календарних термінів початку фенологічних фаз, міжфазних періодів та їх тривалість. Також встановлювали залежність настання фенофаз від суми ефективних температур за період вегетації. Дослідження проводили ex situ НДП «Софіївка», впродовж 2020–2023 рр. Фенологічні фази та міжфазні періоди виділено згідно методичних рекомендацій, укладених Г.В. Драбинюк – фахівцем з рекреації регіонального ландшафтного парку «Приінгульський» [8]. Метеорологічні показники взяті з Уманської гідрометеорологічної станції, яка межує безпосередньо з НДП «Софіївка». Погодні умови, у роки досліджень, відзначалися коливанням температур й кількістю опадів (рис. 1).

Репродукцію визначають як процес формування структур, що забезпечують розмноження (генеративних особин, плодів на пагоні та насіння в одному плоді) [4, с. 72]. Для оцінки репродуктивної здатності ми використовували значення фактичної насінневої продуктивності (кількості насіння, що утворюється в одному плоді, на одному пагоні або на одній особині, упродовж вегетаційного сезону).

Результати та обговорення. У НДП «Софіївка» рослини *C. palustris* інтродуковано у 2012 р., які були привезені з приватного розсадника (с. Ясногородка, Фастівського р-ну, Київської обл.) й висаджено у штучну мініводоюму, площею 3 м², на інтродукційній ділянці ім. В. В. Мітіна (квартал 1).

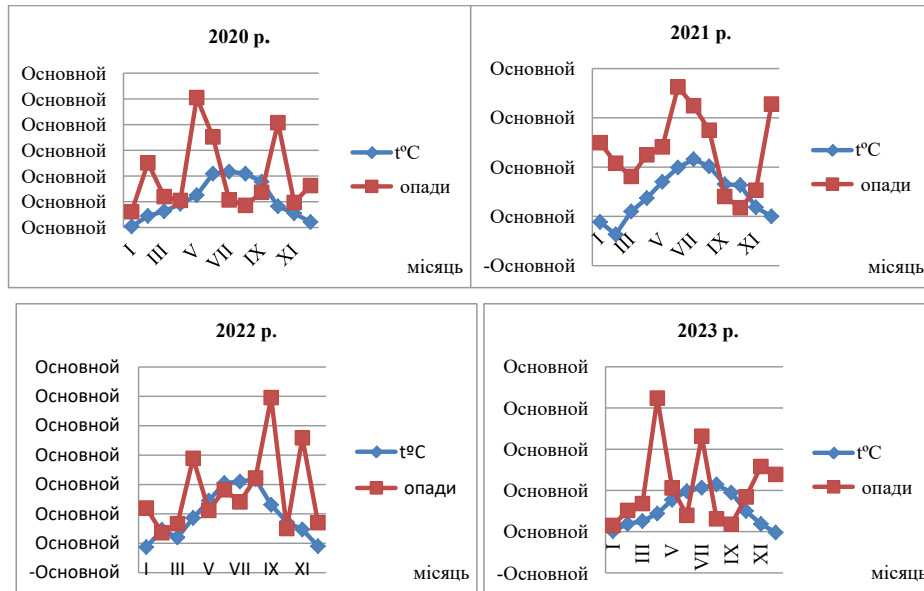


Рис. 1. Метеодані умов досліджень упродовж 2020–2023 рр.

За роки досліджень, з квітня до листопада, відмічали температуру повітря, кількість опадів та мінімальну температуру поверхні ґрунту. Найвищі показники температури повітря були характерні для 2021 р. при найменшому забезпеченні вологою, найнижча температура при кращому забезпеченні вологою була у 2023 р. Середньомісячна мінімальна температура поверхні ґрунту була найнижчою у 2020 р., а 9–10 травня спостерігали замо-

розки до $-2,6^{\circ}\text{C}$. (рис. 1). Зниження температури поверхні ґрунту вплинуло на польову схожість насіння *C. palustris*.

Вегетативна фаза настає у другій–третьій декаді квітня, при цьому спостерігається широкий діапазон сум ефективних температур по роках досліджень: від $78,2^{\circ}\text{C}$ до $145,5^{\circ}\text{C}$ (табл. 1, рис. 2).

Фаза бутонізації розпочинається за суми ефективних температур від $192,7^{\circ}\text{C}$ (2022 р.) до $231,8^{\circ}\text{C}$ (2023 р.)

Таблиця 1

Сума ефективних температур, вища 5°C , необхідна для проходження фенологічних фаз розвитку *C. palustris*

Фази розвитку	Роки			
	2020	2021	2022	2023
Вегетативна фаза (сходи)	125,4	81,1	78,2	145,5
Бутонізація	228,2	227,2	192,7	231,8
Початок квітвання	305,1	340,2	229,7	329,9
Масове квітвання	325,0	384,4	259,7	369,0
Кінець квітвання	357,3	457,8	354,7	447,6
Початок дозрівання	1357,1	1427,1	1572,8	1398,5
Кінець дозрівання	1651,7	1784,1	1890,7	1679,9
Початок відмирання	2066,1	2045,8	2081,9	2139,9
Кінець відмирання	2408,0	2147,8	2248,6	2411,6

Місяць	Квітень			Травень			Червень			Липень			Серпень			Вересень			Жовтень			Тривалість вегетативного періоду, днів
Рік/Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2020																						180
2021																						174
2022																						174
2023																						169



Рис. 2. Фенологічні спектри сезонного розвитку рослин *C. palustris*

(табл. 1). Бутонізацію відмічено у І–ІІ декаді травня, тривалість фази – 4–11 діб (рис. 2).

Упродовж травня кількість опадів варіює від 22,4 мм (2022 р.) до 101 мм (2020 р.), але ця різниця суттєво не вплинула на темпи розвитку рослин (рис. 1).

Початок фази квітання фіксували за широкого температурного діапазону сум ефективних температур від 229,7°C до 457,8°C (табл. 1). Рослини квітували з І декади травня по І декаду червня. Динаміка тривалості цієї фази варіює від 8 діб (2020 р.) до 14 діб (2022 р.). Упродовж травня-червня 2020 року, випало значно менше опадів, що, ймовірно, пов'язано з швидким закінченням фази квітання (рис. 1, 2).

Фаза дозрівання насіння наступала у ІІІ декаді липня (2020 р.) по І декаду вересня (2023 р.) (табл. 1, рис. 2). Тривалість значно не змінювалась, 18 діб (2023 р.), 19 діб (2020-2022 рр.) та 24 доби (2021 р.). Але слід зазначити, що з кожним роком тривалість дозрівання зміщується у бік вересня (рис. 2).

Фаза відмирання розпочиналася у ІІ–ІІІ декаді вересня, за суми ефективних температур 2045,8°C – 2139,9°C (рис. 1, 2), а закінчувалася у ІІ декаді жовтня (2147,8°C – 2411,6°C) (рис. 1, 2). Загалом, ця фаза триває від 29 до 33 діб (рис. 2).

Отже, вегетаційний період рослин *C. palustris ex situ* НДП «Софіївка», за роки досліджень, тривав 169–180 діб. Такі показники істотною мірою залежать від температури та водозабезпечення.

Потенційні можливості формування і проростання насіння визначаються їх структурними особливостями – розміром, масою, будовою, тощо. Ці показники є важливою формою спеціалізації у насіннєвому розмноженні видів, оскільки визначають їхню здатність до розселення як у популяціях, так і за їх межами. Відомості про насіннєву продуктивність *C. palustris* за певних екологічних умов у вітчизняній і зарубіжній літературі нечисленні та носять фрагментарний характер.

Плід *C. palustris* – ягодоподібний, паракарпний, багатонасінний, заповнений прозорим драглистим вмістом, $0,8 \pm 0,3$ см у діаметрі, $0,9 \pm 0,3$ см завдовжки. За період досліджень в одному плоді містилося від 1 до 9 насінин. Вага 1000 насінин становить $5,92 \pm 0,23$ г. Зріле насіння – гладеньке, блискуче, довгасто-овальне, світло-коричневе, з 12–13 поздовжніми темно-коричневими смужками, $4,05 \pm 0,45$ мм завдовжки, $2,05 \pm 0,25$ мм у діаметрі (рис. 3).

Загальний коефіцієнт семеніфікації незначно коливається по роках і в цілому складає 70–80%. За нашими спостереженнями, такий показник вказує на необхідність стратифікації, а нерегулярне насінне відновлення в умовах культури потребує подальшого вивчення більш пізніх етапів репродуктивного циклу.



Рис. 3. Насіння та плід *C. palustris*

Ягоди зібрані у щільне початкоподібне супліддя $4,0 \pm 0,8$ см завдовжки, $2,5 \pm 0,3$ см у діаметрі (рис. 4). У суплідді, за нашими підрахунками, знаходяться $41,0 \pm 0,5$ ягід, насіннєва продуктивність, у розрахунку на одне щільне супліддя, становить $204,0 \pm 0,8$ насінин.



Рис. 4. Супліддя *C. palustris*

Висновки. За результатами спостережень з'ясовано дати настання, тривалості та закінчення фенологічних фаз рослин *C. palustris* в умовах Національного дендрологічного парку “Софіївка” НАН України. Встановлено, залежність настання фенофаз досліджуваних рослин від суми ефективних температур. Рослини *C. palustris*, за роки досліджень, вегетували упродовж 169-180 діб за суми ефективних температур 81,1-2411,6 °C. В умовах *ex situ* рослини *C. palustris* проходять повний цикл сезонного розвитку, характеризуються середніми показниками репродуктивної здатності, що дає можливість штучного розмноження насінням, але необхідне з'ясування причин слабкого насінного поновлення *C. palustris* при інтродукції. Отримані результати спостережень можуть використовуватися при організації сприяння природного та штучного поновлення популяцій *C. palustris*.

Література:

1. Ботанічний сад ім. акад. О.В. Фоміна. Каталог рослин. – Природно-заповідні території України. Рослинний світ / Т.Л. Андрієнко та ін. : відп. ред. В.А. Соломаха. Київ : Фітосоціоцентр. Вип. 7, 2007. 320 с.
2. Дідух Я.П. Рослинний світ України в аспекті кліматичних змін. Київ : Наукова думка. 2023. ISBN 978-966-00-1868-6. DOI: <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1868-6>.
3. Дойко Н.М., Калашнікова Л.В., Рубіс В.Л. Каталог трав'янистих рослин Державного дендрологічного парку "Олександрія" Національної академії наук України / за ред. С.І. Галкіна, Біла Церква : ТОВ "Білоцерківдрук", 2013. 65 с.
4. Кагало О., Паньків Н. Насіннєва продуктивність *Coronilla coronata* L. (Fabaceae) у популяціях на північно-західному Поділлі (Україна) // *Вісник Львівського університету. Серія біологія* 2005. Вип. 39. С. 71-82.
5. Каталог декоративних трав'янистих рослин ботанічних садів і дендропарків України: Довідниковий посібник / С.П. Машковська та ін.: за ред. С.П. Машковської. Київ, 2015. 282 с. (електронне видання).
6. Краснов В.П., Орлов О.О, Ведмідь М.М. Атлас рослин-індикаторів і типів лісорослинних умов Українського Полісся. Новоград-Волинський, 2019. 488 с.
7. Рідкісні та зникаючі види колекції Національного дендрологічного парку "Софіївка" НАН України: довідник / А.А. Куземко та ін. Київ : ПАЛИВОДА А.В., 2015. 180 с.
8. Методичні рекомендації щодо ведення фенологічних спостережень за рослинами на території природно-заповідного фонду. URL: <https://pryingul.inf.ua/articles/MR-fenolog-2016.pdf> (дата звернення 10.01.2025).
9. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України (довідкове видання) / укладачі: Т.Л. Андрієнко, М.М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2018. 150 с.
10. Чіков І.В. Методичні рекомендації з вирощування водних та прибережно-водних рослин у Правобережному Лісостепу України. Київ : ПАЛИВОДА А.В., 2016. 69 с.
11. POWO. Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet. URL: <https://powo.science.kew.org/>. (дата звернення: 15.01.2025)
12. Preston C.D., Croft J.M. Aquatic Plants in Britain and Ireland. Harley Books: Boston: Colchester. 2021. 365 p.

References:

1. Botanichniy sad im. akad. O.V. Fomina. Kataloh roslyn. – Pryrodno-zapovitni terytorii Ukrainy. Roslynniy svit (2007) [Botanichniy sad im. akad. O.V. Fomina. Kataloh roslyn. – Pryrodno-zapovitni terytorii Ukrainy. Roslynniy svit]. Kyiv : Fitosotsiotsentr. Vyp. 7, 2007. 320 p. [in Ukrainian].
2. Didukh, Ya.P. (2023). Roslynniy svit Ukrainy v aspekti klimatichnykh zmin [Flora of Ukraine in terms of climate change.]. Kyiv : Naukova dumka. 157 p. ISBN 978-966-00-1868-6. DOI: <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1868-6>. [in Ukrainian].
3. Doiko, N.M., Kalashnikova, L.V., Rubis, V.L. (2013). Kataloh travianyistyk roslyn Derzhavnoho dendrolohichnoho parku "Oleksandriia" Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy [Catalogue of herbaceous plants of the State Dendrological Park "Alexandria" of the National Academy of Sciences of Ukraine]. Bila Tserkva : TOV "Bilotserkivdruk", 65 p. [in Ukrainian].
4. Kahalo, O., Pankiv, N. (2005). Nasinnieva produktyvnist *Coronilla coronata* L. (Fabaceae) u populiatsiiakh na pivnichno-zakhidnomu Podilli (Ukraina) [Seed productivity of *Coronilla coronata* L. (Fabaceae) in populations in northwestern Podillya (Ukraine)]. *Visn. Lviv. un-tu. Ser. biol.* Vyp. 39. P. 71-82. [in Ukrainian].
5. Kataloh dekoratyvnykh travianyistyk roslyn botanichnykh sadiv i dendroparkiv Ukrainy: Dovidnykovyi posibnyk (2015) [Catalogue of ornamental herbaceous plants of botanical gardens and arboreturns of Ukraine: A reference guide]. Kyiv. 282 p. (elektronne vydannia). [in Ukrainian].
6. Krasnov, V.P., Orlov, O.O, Vedmid, M.M. (2019). Atlas roslyn-indykatoriv i typiv lisoroslynnnykh umov Ukrainskoho Polissia [Atlas of indicator plants and types of forest vegetation conditions in Ukrainian Polissya]. Novohrad-Volynskiy, 488 p. [in Ukrainian].
7. Ridkisni ta znykaiuchi vydy kolektsii Natsionalnoho dendrolohichnoho parku "Sofiivka" NAN Ukrainy: dovidnyk [Rare and endangered species of the collection of the National Dendrological Park 'Sofiyivka' of the National Academy of Sciences of Ukraine: a guide] / A.A. Kuzemko ta in. Kyiv : Palyvoda A.V., 2015, 180 p. [in Ukrainian].
8. Metodichni rekomendatsii shchodo vedennia fenolohichnykh sposterezhen za roslynamy na terytorii pryrodno-zapovidnoho fondu [Methodological recommendations for conducting phenological observations of plants on the territory of the nature reserve fund]. URL: <https://pryingul.inf.ua/articles/MR-fenolog-2016.pdf> (data zvernennia 10.01.2025).
9. Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy (dovidkove vydannia) / ukladachi: T.L. Andriienko, M.M. Perehrym. Kyiv : Alterpres, 2018. 150 s.
10. Chikov, I.V. (2016). Metodichni rekomendatsii z vyroshchuvannia vodnykh ta pryberezhno-vodnykh roslyn u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Methodological recommendations for growing aquatic and coastal aquatic plants in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. Kyiv : Palyvoda A.V., 69 p. [in Ukrainian].
11. POWO (2024). Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; <https://powo.science.kew.org/> Retrieved 17 December 2024.
12. Preston, C.D., Croft, J.M. (1997). *Aquatic Plants in Britain and Ireland*. Harley Books: Colchester.

2. ЕКОЛОГІЯ

УДК 574.502.3/7.504

DOI <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.7>

ЗАКОНОМІРНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У РІЗНОВІКОВИХ ОСОБИН ПЛІТКИ ДНІПРОВСЬКОГО (ЗАПОРІЗЬКОГО) ВОДОСХОВИЩА

Ананьєва Таміла Володимирівна,

кандидатка біологічних наук, доцентка

Дніпровського державного аграрно-економічного університету

ORCID ID: 0000-0001-8798-6834

Scopus Author ID: 7003366001

Web of Science Researcher ID: X-9858-2018

Шарамок Тетяна Сергіївна,

кандидатка сільськогосподарських наук, доцентка

Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

ORCID ID: 0000-0003-3523-5283

Scopus Author ID: 57200548053

Web of Science Researcher ID: U-9232-2017

Визначали рівні вмісту і закономірності накопичення радіонуклідів у молоді (0+, 1+, 2+) та статевозрілих (3–4+) особин плітки звичайної (*Rutilus rutilus* L.), яка є поширеним об'єктом рибного промислу в Дніпровському водосховищі та може слугувати індикаторним видом. Вміст штучних (^{137}Cs , ^{90}Sr) і природних радіонуклідів (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) визначали на сцинтиляційному спектрометрі γ -випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» та спектрометрі β -випромінювання СЕБ-01-150 (Україна) та виражали як питому радіоактивність у Бк/кг природної сирової ваги. Встановлено, що в нижній частині Дніпровського водосховища у молоді плітки рівні ^{137}Cs і ^{90}Sr рівномірно збільшувалися з віком на 39% і 85% відповідно; серед природних радіоізоотопів рівень ^{226}Ra зменшувався на 32,5%, а вміст ^{232}Th збільшувався на 42% у трьохліток (2+) плітки порівняно з цьоголітками (0+). У Самарській затоці рівні ^{137}Cs і ^{90}Sr у трьохліток плітки збільшувалися з віком рівномірно і перевищували у 1,85 і 2,55 рази вміст відповідних радіонуклідів у цьоголіток, коливання вмісту природних радіонуклідів у молоді плітки складали 12–26%, за винятком ^{232}Th , вміст якого у двохліток плітки збільшувався на 69%. За убаванням середнього значення коефіцієнтів накопичення у біологічних тканинах молоді плітки з нижньої частини Дніпровського водосховища природні і штучні радіонукліди можна розташувати у вигляді послідовного ряду: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. В Самарській затоці значення коефіцієнта накопичення ^{232}Th у тканинах молоді (0+ і 2+) плітки суттєво збільшувалося і ранговий ряд за здатністю радіоізоотопів до біоаккумуляції мав вигляд: $^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. У статевозрілих особин плітки, вилученої з різних частин Дніпровського водосховища, за зменшенням значень коефіцієнту накопичення радіонуклідів у тканинах і органах можна побудувати наступний ранговий ряд: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}$. Збільшення рівнів штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у статевозрілих особин порівняно з цьоголітками складало відповідно 44,2 і 29,1% в нижній частині водосховища, тоді як у Самарській затоці накопичення обох радіонуклідів мало насичений характер, а їх вміст зростав у 1,8 раз. За значеннями питомої активності радіоізоотопів природного походження ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K у біологічних тканинах молоді і статевозрілих особин плітки не було виявлено їх значного накопичення зі збільшенням віку риби, різноспрямовані коливання їх вмісту складали від 10 до 40%.

Ключові слова: штучні радіонукліди, природна радіоактивність, плітка, молодь риб, Дніпровське водосховище.

Ananieva Tamila, Sharamok Tetiana. Patterns of radionuclides accumulation in various age individuals of roach in the Dnipro (Zaporizhzhya) Reservoir

It had been determined the content levels and patterns of radionuclide accumulation in juvenile (0+, 1+, 2+) and sexually mature (3–4+) individuals of roach (*Rutilus rutilus* L.), which is an object of fishing and can serve as an indicator species in the Dnipro Reservoir. The contents of artificial (^{137}Cs , ^{90}Sr) and natural radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) were determined on a scintillation spectrometer γ -radiation SEG-001 "AKP-S" and a β -radiation spectrometer SEB-01-150 (Ukraine) and expressed as specific radioactivity in Bq/kg of natural wet weight. It was established that in the lower part of the Dnipro Reservoir in juvenile roach the levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr uniformly increased with age by 39% and 85%, respectively; among natural radioisotopes, the level of ^{226}Ra decreased by 32.5%, and the content of ^{232}Th increased by 42% in three-year-old (2+) roach compared to this year's (0+) one. In the Samara Bay, the levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr in three-year-old roach increased uniformly with age and exceeded the content of the corresponding radionuclides in this year's roach by 1.85 and 2.55 times, respectively. The fluctuations in the content of natural radionuclides in young roach were 12–26%, with the exception of ^{232}Th , the content of which in two-year-old roach increased by 69%. In descending order of the average value of the accumulation coefficients in biological tissues of young roach from the lower part of the Dnipro reservoir, natural and artificial radionuclides can be arranged in the form of a sequential series: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. In the Samara Bay, the value of the accumulation coefficient of ^{232}Th in the tissues of juvenile (0+ and 2+) roach increased significantly and the rank order according to the ability of radioisotopes to bioaccumulation was as follows: $^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$. In sexually mature individuals of bream taken from different parts of the Dnipro Reservoir, the following rank order can be constructed based on the decreasing values

of the accumulation coefficient of radionuclides in tissues and organs: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}$. The increase in the levels of artificial radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in sexually mature individuals compared to this year's individuals was 44.2% and 29.1%, respectively, in the lower part of the reservoir, while in the Samara Bay the accumulation of both radionuclides was saturated, and their content increased by 1.8 times. According to the values of the specific activity of natural radioisotopes ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K in the biological tissues of juvenile and sexually mature individuals of the roach, their significant accumulation with increasing age of the fish was not detected, and the multidirectional fluctuations of their content were from 10% to 40%.

Key words: artificial radionuclides, natural radioactivity, roach, juvenile fish, Dnipro Reservoir.

Вступ. Збільшення інтенсивності радіаційного фону, що супроводжує поширення ядерної енергетики і технологічних процесів первинного ядерно-паливного циклу, поряд зі зростанням загрози радіаційних аварій в сучасних умовах військових дій, вимагають всебічного дослідження закономірностей поведінки у навколишньому середовищі радіонуклідів і дії іонізуючих випромінювань на живі організми [1–4].

Дніпро та його притоки були забруднені радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС у 1986 році. Штучні радіонукліди представляють собою велику небезпеку для природних вод, оскільки вони навіть в незначних концентраціях впливають на водні організми, зокрема на рибу [5; 6]. Інтерес до проблем водної радіоекології визначається низкою причин. По-перше, у водойми надходять радіонукліди в результаті випадання з атмосфери, рідкого і твердого стоку з суші [7; 8]. По-друге, специфічні фізико-хімічні властивості водного середовища забезпечують винятково високе накопичення деяких радіонуклідів водною біотою і в цілому акумуляція радіоактивних речовин живою речовиною у водних екосистемах відносно середовища значно вища, ніж на суші [9]. По-третє, деякі види організмів у водному середовищі характеризуються достатньо високою радіочутливістю і можуть слугувати індикаторами радіоактивного забруднення [10; 11]. По-четверте, водне середовище є важливим джерелом харчових ресурсів людини, постачальником білків та інших цінних поживних речовин для людини [3; 4]. В умовах ризику радіоактивного забруднення водойм важливо вивчати специфічну поведінку та міграцію радіонуклідів у компонентах гідроекосистем, акумуляцію в тканинах живого організму, особливо риби, яка є джерелом харчування людини [12].

Тому метою проведених досліджень стало визначення рівнів вмісту і закономірностей накопичення радіонуклідів у молоді та статевозрілих особин плітки звичайної (*Rutilus rutilus* L.), яка з одного боку є поши-

реним об'єктом рибного промислу, а з іншого – важливим елементом у біотичній складовій водної екосистеми, що може слугувати індикаторним видом [13].

Матеріал і методи. Збір та обробку іхтіологічних проб проводили класичними іхтіологічними методами на двох ділянках Дніпровського водосховища, які відрізняються за гідрологічним режимом і характеризуються різним ступенем антропогенного навантаження [14–16]. Матеріалом слугували риби – цьоголітки (0+), двохлітки (1+), трьохлітки (2+) та дорослі особини (3–4+), зібрані під час науково-дослідних обловів у весняний та літній період 2023 року.

Лов молоді проводили мальковою волокушею (довжина 1 м, вічко від 4 до 7 мм) в прибережній літоральній зоні на глибині до 1,7 м. Відбір проб здійснювався в період максимальної концентрації молоді – з 9 години ранку до 17 години вечора. Виллов дорослих особин здійснювали стандартним набором ставних сіток з вічком від 30 до 120 мм. Вилучення водних живих ресурсів проводилися згідно діючого законодавства та сучасних вимог і інструкцій до робіт по вивченню іхтіологічних комплексів [10; 17]. Первинну обробку проб риби проводили в лабораторних умовах.

Вміст штучних (^{137}Cs , ^{90}Sr) і природних радіонуклідів (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) визначали на сцинтиляційному спектрометрі γ -випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» та спектрометрі β -випромінювання СЕБ-01-150 (Україна). Активність радіонуклідів виражена в Бк/кг природної сирови ваги [18–20].

Коефіцієнт накопичення радіонуклідів в тканинах визначали як відношення концентрації радіонуклідів у пробі (Бк/кг) до концентрації радіонуклідів у воді (Бк/кг). Статистичний аналіз даних проводили за допомогою стандартного пакету програм Microsoft Excel, 2010.

Результати дослідження. В результаті проведених досліджень були визначені рівні вмісту штучних та природних радіонуклідів у тканинах молоді плітки різного віку (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні вмісту штучних і природних радіонуклідів у молоді плітки Дніпровського водосховища (М $\pm$ м)

Вік молоді плітки	Рівні вмісту радіонуклідів, Бк/кг сирови ваги				
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Нижня частина Дніпровського водосховища					
0+	5,27 $\pm$ 1,57	2,13 $\pm$ 0,22	39,57 $\pm$ 7,70	42,03 $\pm$ 3,48	96,63 $\pm$ 7,27
1+	5,73 $\pm$ 0,69	3,58 $\pm$ 0,67*	37,43 $\pm$ 0,44	39,80 $\pm$ 1,82	91,85 $\pm$ 1,82
2+	7,33 $\pm$ 0,46*	3,97 $\pm$ 0,49*	30,70 $\pm$ 2,25*	59,87 $\pm$ 8,60*	100,4 $\pm$ 5,63
Самарська затока					
0+	3,63 $\pm$ 1,63	1,57 $\pm$ 0,57	40,48 $\pm$ 0,92	40,62 $\pm$ 1,42	94,52 $\pm$ 2,12
1+	5,88 $\pm$ 0,32*	2,40 $\pm$ 0,51*	30,10 $\pm$ 2,53	49,58 $\pm$ 1,90*	87,60 $\pm$ 8,70
2+	6,65 $\pm$ 1,35*	4,00 $\pm$ 1,00*	41,95 $\pm$ 4,55	68,95 $\pm$ 1,95*	99,60 $\pm$ 3,40

* – достовірні зміни відносно рівнів вмісту радіонуклідів у молоді (0+).

Виявлено, що вміст ^{137}Cs зростав у тканинах різновікової молоді. У трюхліток він збільшився на 39% порівняно з цьоголітками в нижній частині водосховища, а в Самарській затоці виявлено його збільшення на 62% у двохліток та на 85% у трюхліток відносно цьоголіток. Вміст ^{90}Sr у двохліток і трюхліток плітки збільшувався відповідно на 67% і 85% відносно цьоголіток в нижній частині. В Самарській затоці вміст ^{90}Sr у двохліток збільшився на 53%, у трюхліток – у 2,5 рази відносно цьоголіток. Таким чином, простежується інтенсивне накопичення штучних радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у молоді плітки з віком.

Аналіз вмісту природних радіонуклідів у різновікових особин молоді плітки виявив зниження концентрації ^{226}Ra з часом. У трюхліток в нижній частині водосховища зменшення вмісту ^{226}Ra складало 32,5% відносно цьоголіток, проте рівні радіонукліду в тканинах двохліток і цьоголіток статистично не відрізнялися. В Самарській затоці вміст ^{226}Ra у двохліток плітки зменшувався на 26%, у трюхліток повертався до рівня цьоголіток.

Вміст ^{232}Th у трюхліток плітки був збільшений на 42% відносно цьоголіток, у двохліток майже не відрізнявся від вмісту в тканинах цьоголіток у нижній частині. В Самарській затоці вміст ^{232}Th рівномірно збільшувався у тканинах молоді плітки, відповідно на 22% і 69% у двохліток і трюхліток у порівнянні з цього-

літками. Таким чином, можна відмітити повільне накопичення ^{232}Th з часом.

Коливання вмісту ^{40}K складали 3–8% у різновікової молоді плітки на обох досліджуваних ділянках водосховища, що свідчить про рівноважний стан міграції радіоактивного ізотопу і відсутність біоаккумуляції. Також слід відмітити, що кількість ^{40}K у молоді плітки значно перевищує вміст інших, як природних так і штучних радіонуклідів.

За абсолютними показниками вмісту радіонуклідів у молоді плітки можна побудувати послідовний ряд за вибуванням, характерний для обох ділянок Дніпровського водосховища: $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr}$.

Таким чином, у молоді плітки вміст радіонуклідів змінювався на обох ділянках відбору проб з однаковою тенденцією – спостерігалось накопичення ^{137}Cs , ^{90}Sr , та ^{232}Th з віком, проте вміст ^{226}Ra і ^{40}K переважно залишався на сталому рівні. Також можна відмітити незначне переважання абсолютних показників вмісту радіонуклідів у біологічних тканинах молоді плітки в Самарській затоці порівняно з нижньою частиною водосховища.

Швидкість накопичення природних та штучних радіонуклідів різновіковою молоддю плітки з води демонструють коефіцієнти накопичення (табл. 2).

Як видно з таблиці, найбільш високі коефіцієнти

Таблиця 2

**Коефіцієнти накопичення штучних і природних радіонуклідів у молоді плітки
Дніпровського водосховища**

Вік молоді плітки	Коефіцієнти накопичення				
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Нижня частина Дніпровського водосховища					
0+	131,67	30,47	37,68	89,43	19,75
1+	143,12	51,07	35,63	84,67	18,77
2+	183,33	56,66	29,23	127,37	20,53
Самарська затока					
0+	72,7	26,05	39,29	92,29	18,21
1+	117,5	39,95	29,20	112,65	16,87
2+	133,0	66,65	40,72	156,7	19,18

Таблиця 3

**Рівні вмісту штучних і природних радіонуклідів у тканинах і органах плітки в нижній частині
Дніпровського (Запорізького) водосховища ($M \pm m$)**

Вид біологічної тканини	Вміст радіонуклідів, Бк/кг				
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Нижня частина Дніпровського водосховища					
М'язи	7,6 $\pm$ 1,27	2,75 $\pm$ 0,38	55,33 $\pm$ 7,01	58,25 $\pm$ 4,07	119,05 $\pm$ 17,27
Кістки	13,7 $\pm$ 3,35	5,25 $\pm$ 1,07	61,55 $\pm$ 6,61	53,7 $\pm$ 12,18	207,1 $\pm$ 11,82
Луска	5,7 $\pm$ 0,40	4,05 $\pm$ 1,36	34,9 $\pm$ 2,87	35,65 $\pm$ 8,60	112,05 $\pm$ 15,63
Зябра	1,80 $\pm$ 0,13	1,00 $\pm$ 0,08	44,60 $\pm$ 3,12	47,10 $\pm$ 3,29	75,80 $\pm$ 10,21
Печінка	10,20 $\pm$ 2,71	3,20 $\pm$ 0,22	45,40 $\pm$ 4,02	69,20 $\pm$ 10,50	97,90 $\pm$ 16,85
Самарська затока					
М'язи	6,7 $\pm$ 0,46	2,88 $\pm$ 0,36	32,98 $\pm$ 3,12*	43,68 $\pm$ 2,97*	130,53 $\pm$ 21,51
Кістки	9,93 $\pm$ 0,64*	4,8 $\pm$ 0,21	48,6 $\pm$ 2,39*	63,5 $\pm$ 7,36*	106,71 $\pm$ 12,71*
Луска	5,73 $\pm$ 0,85	2,26 $\pm$ 0,48*	35,7 $\pm$ 3,40	34,4 $\pm$ 6,40	97,37 $\pm$ 10,34
Зябра	2,35 $\pm$ 0,16	0,95 $\pm$ 0,07	36,6 $\pm$ 2,89	39,3 $\pm$ 4,85	76,2 $\pm$ 11,96
Печінка	7,75 $\pm$ 1,15*	3,25 $\pm$ 0,23	39,65 $\pm$ 5,20*	61,4 $\pm$ 5,19	94,1 $\pm$ 12,94

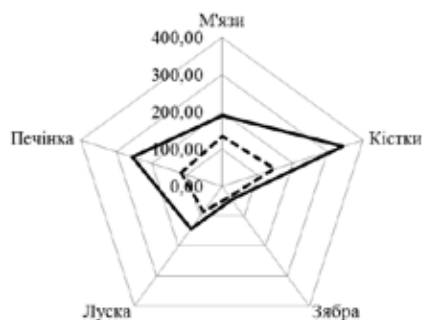
*– достовірні зміни відносно рівнів вмісту радіонуклідів у риб в нижній частині Дніпровського водосховища.

накопичення мають ^{137}Cs , ^{90}Sr і ^{232}Th , що свідчить про потужну щільність фіксації цих радіонуклідів біологічними тканинами. Встановлено збільшення значень коефіцієнтів накопичення в часі, відповідно до зростання молоді риби. Відсутність залежності коефіцієнтів накопичення від віку і розміру риб свідчить про слабку здатність до біоаккумуляції для ^{226}Ra і ^{40}K .

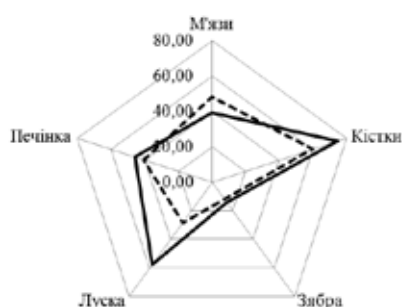
За показниками накопичення штучних і природних радіонуклідів молоддю плітки їх можна розташувати в послідовні ряди за вибуванням: $^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$ – в нижній частині Дніпровського водосховища; $^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$ – в Самарській затоці.

Аналіз результатів дослідження вмісту радіонуклідів у статевозрілих особин плітки з Дніпровського водосховища дозволив визначити їх розподіл в окремих тканинах і органах риби (табл. 3).

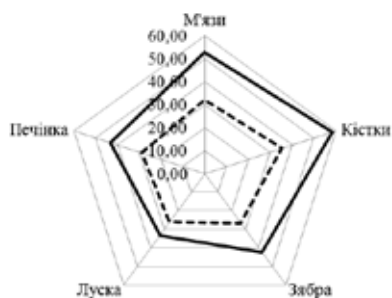
Найбільша кількість як штучних, так і природних радіонуклідів містилася в кістках риб, що викликано як специфічними властивостями радіоактивних елементів, так і морфо-функціональними особливостями тканини. Кісткова тканина має досить повільний фізіологічний обмін і депонує необхідні мікроелементи. Оскільки радіонукліди виступають хімічними аналогами деяких мікроелементів, вони зв'язуються в кістковій тканині на тривалий час. Таке зосередження радіоактивних елементів може чинити негативний вплив на організм, оскільки спричинює хронічне внутрішнє опромінення тканин і органів. Дещо менший вміст радіонуклідів був у м'язовій тканині та печінці, що зумовлено їх більш інтенсивним метаболізмом. До того ж печінка затримує радіонукліди як детоксикаційний орган. Нижчий рівень радіоізоотопів спостерігали в лусці, що виконує захисну



I



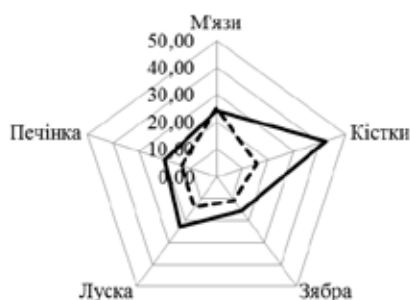
II



III



IV



— Нижня частина водосховища
- - - Самарська затока

V

Рис. 1. Коефіцієнти накопичення штучних і природних радіонуклідів у біологічних тканинах плітки Дніпровського (Запорізького) водосховища: I – ^{137}Cs , II – ^{90}Sr , III – ^{226}Ra , IV – ^{232}Th , V – ^{40}K

пограничну та механічно-захисну функції і характеризуються низьким процесом обміну речовин. Слиз, що виділяється на поверхню луски риб, зв'язує токсичні та радіоактивні речовини, захищаючи організм. Найменший вміст радіонуклідів був у зябрах, тканини яких мають швидкий метаболізм і прямий обмін речовинами з водою.

Порівнюючи рівні вмісту радіонуклідів в органах та тканинах дорослих особин плітки з обох досліджуваних ділянок Дніпровського водосховища, можна сказати, що більшість показників переважали в його нижній частині. Так, у Самарській затоці порівняно з нижньою частиною Дніпровського водосховища рівень ^{137}Cs у м'язах риб був нижчий на 11,8%, в кістках – на 27,5%, в печінці – на 24,0%. Показник вмісту ^{90}Sr у внутрішніх тканинах риб майже не змінювався в обох ділянках водосховища, але його вміст в лусці риб з Самарської затоки був нижчим на 44,1%. Еквітропний радіонуклід ^{90}Sr потрапляє до луски риб, головним чином, з води, чим і пояснюється коливання його рівнів [21].

Показники ^{226}Ra в м'язах, кістках і печінці риб з Самарської затоки були нижчим на 40,4%, 21,0%, та 12,7% відповідно. Концентрація ^{232}Th в м'язах риб з Самарської затоки була нижче на 25,0% чим у риб з нижньої частини Дніпровського водосховища, проте в кістках вміст ^{232}Th переважав на 18,2%.

Відмічені значні коливання вмісту ^{40}K в кістковій тканині риб з Самарської затоки порівняно з нижньою частиною Дніпровського водосховища. Для інших тканин показники були сталими, не відрізнялися статистично.

Порівнюючи показники вмісту радіонуклідів в тканинах різновікових особин плітки, виявили, що збільшення рівнів штучних радіоізотопів ^{137}Cs і ^{90}Sr у статевозрілих особин порівняно з цьоголітками складало відповідно 44,2 і 29,1% в нижній частині водосховища, тоді як у Самарській затоці накопичення обох радіонуклідів мало насичений характер, а їх вміст зростав у 1,8 раз. За значеннями питомої активності радіоізотопів природного походження ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K у біологічних тканинах молоді і статевозрілих особин плітки не було виявлено їх значного накопичення зі збільшенням віку риби, різноспрямовані коливання їх вмісту складали від 10 до 40%.

У статевозрілих особин плітки, вилученої з різних частин Дніпровського водосховища, за зменшенням значень коефіцієнтів накопичення радіонуклідів у тканинах і органах можна побудувати наступний ранговий ряд:

$$^{137}\text{Cs} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{90}\text{Sr} > ^{40}\text{K}.$$

Аналіз коефіцієнтів накопичення радіонуклідів у статевозрілих особин плітки, відібраних в двох ділянках Дніпровського водосховища, показав, що їх значення були нижчими майже для всіх радіоактивних елементів у Самарській затоці (рис. 1), що свідчить про меншу швидкість їх нагромадження в біологічних тканинах риб.

Можна припустити, що на процеси міграції радіонуклідів значною мірою впливали гідрологічні умови Самарської затоки – ступінь евтрофікації водойми внаслідок слабкої проточності та висока мінералізація води в порівнянні з нижньою частиною водосховища.

Крім того, отримані дані підтверджують, що накопичення радіонуклідів в організмі плітки відбувається переважно за рахунок їх надходження з кормовими об'єктами і залежить від первинного потрапляння до водного середовища (рис. 1) [22].

Висновки. На підставі результатів проведених досліджень можна стверджувати, що промислові риби є перспективним об'єктом для вивчення радіонуклідного забруднення гідроекосистем, яке впливає на організми гідробіонтів, їх чисельність і на стан довкілля в цілому. Визначення вмісту радіонуклідів у рибах дає об'єктивну оцінку рівнів радіоактивного забруднення водного середовища, оскільки риби виступають ефективними біоіндикаторами.

Вміст досліджуваних радіонуклідів у рибах Дніпровського (Запорізького) водосховища не перевищував встановлені в Україні допустимі рівні питомої радіоактивності для риби як харчового продукту. Таким чином, можна стверджувати, що в умовах існуючого забруднення водосховища важливе значення має подальше всебічне вивчення акумуляції радіоактивності рибами, постійний контроль вмісту радіонуклідів в екосистемах, що є необхідним заходом для оцінки їх надходження в організм людини з рибною продукцією.

Література:

1. Гречанюк М. О., Кашпарова О. В., Павленко П. М., Левчук С. Є., Маскін В. І., Кашпаров В. О. Радіоактивне забруднення і дози внутрішнього опромінення риби в озері Глибоке Чорнобильської зони відчуження. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022, 3(97). DOI: <https://doi.org/dopovidi2022.03.003>
2. Гречанюк М. О., Кашпарова О. В., Павленко П. М., Левчук С. Є., Маскін В. І., Кашпаров В. О. Гранично допустимі концентрації радіонуклідів у водоймах. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2022, 5(99). DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.05.002>
3. Lee S. H., Oh J. S., Lee K. B., Lee J. M., Hwang S. H., Lee M. K., Kwon E. H., Kim C. S., Choi I. H., Yeo I. Y., Yoon J. Y., Im, J. M. Evaluation of abundance of artificial radionuclides in food products in South Korea and sources. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2018, 184–185. P. 46–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.008>
4. Романчук Л. Д., Вербельчук С. П., Вербельчук Т. В. Особливості формування дози внутрішнього опромінення населення за споживання риби з водойм Полісся України. *Агроекологічний журнал*. 2016, 1. С. 127–131.
5. Гудков Д. І., Каглян А. Є., Нанба К., Вада Т., Киреев С. І., Беляев В. В., Юрчук Л. П. Вплив зміни гідрологічного режиму на динаміку питомої активності радіонуклідів у рибі водойми-охолоджувача Чорнобильської АЕС. *Матеріали Наукової конференції Інституту ядерних досліджень НАНУ* (21–25 вересня 2020 р.). Київ, 2020. С. 300–301. DOI: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/124/51124743.pdf
6. Каглян О. Є., Гудков Д. І., Киреев С. І., Кленус В. Г., Беляев В. В., Юрчук Л. П., Дроздов В. В., Гупало О. О. Динаміка питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs у представників іхтіофауни водойм Чорнобильської зони відчуження. *Ядерна фізика та енергетика*. 2021, 22. С. 62–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062>

7. Pepin, S., Dehandschutter, B., Claes, J., Biermans, G., Nootens, S., Sombré, L., Poffijn, A., Escourrou, C., Bietlot, E., Loo, M. Enhanced natural radioactivity in leachate and groundwater of Belgian landfills. *Radioprotection*. 2021, 56(4). P. 309–318. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2021015>
8. Дворецький А. І., Сапронова В. О., Байдак Л. А., Маренков О. М., Білоконь Г. С., Просяник Ю. І., Зайченко О. Ю. Радіоекологія водойм Придніпров'я. *Вісник Житомирського НАЕУ*. 2016, № 1 (55):3. С. 283–290.
9. Metian M., Pouil S., Fowler S. W. Radiocesium accumulation in aquatic organisms: A global synthesis from an experimentalist's perspective. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019, 198. P. 147–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.11.013>.
10. Маренков О.М., Корженевська П. О., Нестеренко О. С. Радіоекологічні моніторингові дослідження іхтіофауни Першотравенського водосховища. *Екологічні науки*. 2022, 6(45). С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.6>
11. Пількевич Ю. Г., Розорінов Г. М., Ткаченко Т. М. Радіоактивне забруднення риб і вимірювання малих інтенсивностей іонізуючих випромінювань. *Молодий вчений*. 2021, 5(93). С. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-5-93-3>
12. Hubanova, N., Horchanok, A., Novitskii, R., Sapronova, V., Kuzmenko, O., Grynevych, N., Priszajhnjuk, N., Lieshchova, M., Slobodeniuk, O., Demyanyuk, O. Accumulation of radionuclides in Dnipro reservoir fish. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019, 9(2). P. 227–231.
13. Каглян О. Є., Гудков Д. І. Спосіб визначення питомої активності ^{90}Sr у представників іхтіоценозу прісноводних екосистем за його вмістом у плітці звичайній (*Rutilus rutilus* L.). *Патент на корисну модель*. UA137116U, 19, 10.10.2019.
14. Шарамок Т. С., Федоненко О. В., Курченко В. О., Ніколенко Ю. В. Гідроекологічна оцінка Запорізького водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. 2019, 24(2). С. 147–161. DOI: <http://dx.doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-12>
15. Єсіпова Н., Гудим Н. Гідроекологічний моніторинг Запорізького (Дніпровського) водосховища. *Scientific Collection «InterConf»*, 2023, 149. P. 271–275. DOI: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2925>
16. Fedonenko O., Yakovenko V., Ananieva T., Sharamok T., Yesipova N., Marenkov O. Fishery and environmental situation assessment of water bodies in the Dnipropetrovsk region of Ukraine. *World Scientific News*. 2018, 92(1). P. 1–138.
17. Маренков О. М., Корженевська П. О., Голуб І. В. Накопичення радіонуклідів природного та штучного походження рибами Першотравенського водосховища (Дніпропетровська область, Україна). *Екологічні науки*. 2022, 3(42). С. 43–48. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.7>
18. Сінченко В.Г. Спектрометричний контроль за вмістом радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у морепродуктах та сільськогосподарській їхарчовій продукції: метрологічний аспект випробувань неконцентрованих зразків. *Наукові праці. Сер.: Техногенна безпека. Радіобіологія*. 2017, 277(289). С. 91–100.
19. Сінченко В. Г. Спектрометричне визначення вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr у поверхневих водах суші в контексті оцінки їх якості за екологічними критеріями. *Науково-технічний журнал*. 2020, 1(21). С. 57–69. DOI: [http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1\(21\)-57-69](http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1(21)-57-69)
20. Ананьєва Т. В., Федоненко О. В., Шаповаленко З. В. Міграція радіонуклідів у молоді плітки звичайної на акваторії Запорізького водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. 2016, 21(1-2). С. 110–121.
21. Zalewska T., Saniewski M., Suplińska M., Rubel B. ^{90}Sr in fish from the southern Baltic Sea, coastal lagoons and freshwater lake. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016, 158–159. P. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.03.024>
22. Kashparova O., Teien H. C., Pavlenko P., Salbu B., Eide D. M., Levchuk S., Jensen K. A., Protsak V., Hrechaniuk M., Kashparov V. Clean feed as countermeasure to reduce the ^{90}Sr and ^{137}Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2023, 258. P. 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107091>.

References:

1. Hrechaniuk, M. O., Kashparova, O. V., Pavlenko, P. M., Levchuk, S. Ye., Maksin, V. I., Kashparov, V. O. (2022). Radioaktyvne zabrudnennia i dozy vnutrishnoho oprominennia ryby v ozeri Hlyboke Chornobylskoi zony vidchuzhennia [Radioactive contamination and doses of internal irradiation of fish in the Deep Lake of the Chornobyl exclusion zone]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 3 (97) [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/dopovidi2022.03.003>
2. Hrechaniuk, M. O., Kashparova, O. V., Pavlenko, P. M., Levchuk, S. Ye., Maksin, V. I., Kashparov, V. O. (2022). Hranychno dopustymi kontsentratsii radionuklidiv u vodoimakh [Threshold limit values of radionuclides in the waterbodies]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 5(99) [in Ukrainian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.05.002>
3. Lee, S. H., Oh, J. S., Lee, K. B., Lee, J. M., Hwang, S. H., Lee, M. K., Kwon, E. H., Kim, C. S., Choi, I. H., Yeo, I. Y., Yoon, J. Y., Im, J. M. (2018). Evaluation of abundance of artificial radionuclides in food products in South Korea and sources. *Journal of Environmental Radioactivity*, 184–185, 46–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.008>.
4. Romanchuk, L. D., Verbelchuk, S. P., Verbelchuk, T. V. (2016). Osoblyvosti formuvannia dozy vnutrishnoho oprominennia naseleennia za spozhyvannia ryby z vodoim Polissia Ukrainy [Peculiarities of the formation of the internal radiation dose of the population due to the consumption of fish from the reservoirs of Polissya, Ukraine]. *Ahroekologichnyi zhurnal*, 1, 127–131 [in Ukrainian].
5. Hudkov, D. I., Kahlia, A. Ye., Nanba, K., Vada, T., Kyrieiev, S. I., Beliaiev, V. V., Yurchuk, L. P. (2020). Vplyv zminy hidrolozhichnoho rezhymu na dynamiku pytomoi aktyvnosti radionuklidiv u rybi vodoimy-okholodzhuvacha Chornobylskoi AES [Influence of changes of hydrological regime on dynamics of specific activity of radionuclides in fish of the

- Chernobyl NPP Cooling Pond]. *Materialy Naukovoï konferentsii Instytutu yadernykh doslidzhen NANU* (September 21–25, 2020, Kyiv, 300–301 [in Ukrainian]. DOI: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/124/51124743.pdf
6. Kahlian, O. Ye., Hudkov, D. I., Kirieiev, S. I., Klenus, V. H., Bieliaiev, V. V., Yurchuk, L. P., Drozdov, V. V., Hupalo, O. O. (2021). Dynamika pytomoi aktyvnosti ^{90}Sr i ^{137}Cs u predstavnykiv ikhtiofauny vodoim Chornobylskoi zony vidchuzhennia [Dynamics of specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs in representatives of ichthyofauna of water bodies of the Chernobyl Exclusion Zone]. *Nuclear Physics and Energy*, 22, 62–73 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062>
 7. Pepin, S., Dehandschutter, B., Claes, J., Biermans, G., Nootens, S., Sombré, L., Poffijn, A., Escourrou, C., Bietlot, E., Loo, M. (2021). Enhanced natural radioactivity in leachate and groundwater of Belgian landfills. *Radioprotection*, 56(4), 309–318. DOI: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2021015>
 8. Dvoretzkyi, A. I., Sapronova, V. O., Baidak, L. A., Marenkov, O. M., Bilokon, H. S., Prosianyk, Yu. I., Zaichenko, O. Yu. (2016). Radioekolohiia vodoim Prydniprovia. [Radioecology of water bodies of the Dnieper region]. *Visnyk ZhNAEU*, № 1(55):3, 283–290 [in Ukrainian].
 9. Metian, M., Pouil, S., Fowler, S. W. (2019). Radiocesium accumulation in aquatic organisms: A global synthesis from an experimentalist's perspective. *Journal of Environmental Radioactivity*, 198, 147–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.11.013>
 10. Marenkov, O. M., Korzhenevska, P. O., Nesterenko, O. S. (2022). Radioekolohichni monitorynhovi doslidzhennia ikhtiofauny Pershotravenskoho vodoskhovyshcha. [Radioecological monitoring studies of the ichthyofauna of the Pershotravensk Reservoir]. *Ekolohichni nauky*, 6(45), 35–41 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.6>
 11. Pilkevych, Yu. H., Rozorinov, H. M., Tkachenko, T. M. (2021). Radioaktyvne zabrudnennia ryb i vymyruvannia malykh intensyvnopei ionizuiuchykh vyprominiuvan [Radioactive contamination of fish and measurement of low intensities of ionizing radiation]. *Molodyi vchenyi*, 5(93), 14–19 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-5-93-3>
 12. Hubanova, N., Horchanok, A., Novitskii, R., Sapronova, V., Kuzmenko, O., Grynevych, N., Prisjajhnjuk, N., Lieshchova, M., Slobodeniuk, O., Demyanyuk, O. (2019). Accumulation of radionuclides in Dnipro reservoir fish. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(2), 227–231.
 13. Kahlian, O. Ye., Hudkov, D. I. (2019). Sposib vyznachennia pytomoi aktyvnosti ^{90}Sr u predstavnykiv ikhtiotseozu prysnovodnykh ekosystem za yoho vmistom u plittsi zvychainii (*Rutilus rutilus* L.) [Method for determining the specific activity of ^{90}Sr in representatives of ichthyocenosis of freshwater ecosystems based on its content in common rudd (*Rutilus rutilus* L.)]. *Patent for a utility model UA137116U*, 19, 10.10.2019 [in Ukrainian].
 14. Sharamok T. S., Fedonenko O. V., Kurchenko V. O., Nikolenko Yu. V. (2019). Hidroekolohichna otsinka Zaporizkoho vodoskhovyshcha [Hydroecological assessment of the Zaporizhzhia Reservoir]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 24(2), 147–161 [in Ukrainian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/2-12>
 15. Yesipova, N., Hudym N. (2023). Hidroekolohichni monitorynh Zaporizkoho (Dniprovskoho) vodoskhovyshcha [Hydroecological monitoring of the Zaporizhzhia (Dnipro) reservoir]. *Scientific Collection «InterConf»*, (149), 271–275 [in Ukrainian]. DOI: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/2925>
 16. Fedonenko, O., Yakovenko, V., Ananieva, T., Sharamok, T., Yesipova, N., Marenkov, O. (2018). Fishery and environmental situation assessment of water bodies in the Dnipropetrovsk region of Ukraine. *World Scientific News*, 92(1), 1–138.
 17. Marenkov, O. M., Korzhenevska, P. O., Holub, I. V. (2022). Nakopychennia radionuklidiv pryrodnoho ta shtuchnoho pokhodzhennia rybamy Pershotravenskoho vodoskhovyshcha (Dnipropetrovska oblast, Ukraina). [Accumulation of radionuclides of natural and artificial origin by fish of the Pershotravensk Reservoir (Dnipropetrovsk region, Ukraine)]. *Ekolohichni nauky*, 3(42), 43–48 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.7>
 18. Sinchenko, V. H. (2017). Spektrometrychnyi kontrol za vmistom radionuklidiv ^{137}Cs i ^{90}Sr u moreproduktakh ta silskohospodarskii i kharchovii produktsii: metrolohichni aspekt vyprobuvan nekontsentrovanykh zrazkiv [Spectrometric control of the content of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in seafood and agricultural and food products: metrological aspect of testing non-concentrated samples]. *Naukovi pratsi. Ser.: Tekhnohenna bezpeka. Radiobiolohiia*, 277(289), 91–100 (in Ukrainian).
 19. Sinchenko, V. H. (2020). Spektrometrychne vyznachennia vmistu ^{137}Cs i ^{90}Sr u poverkhnevyykh prisnykh vodakh sushi v konteksti otsinky yikh yakosti za ekolohichnymy kryteriiamy [Spectrometric determination of ^{137}Cs and ^{90}Sr content in surface freshwaters of land in the context of assessing their quality according to ecological criteria]. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal*, 1(21), 57–69 [in Ukrainian]. DOI: [http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1\(21\)-57-69](http://dx.doi.org/10.31471/2415-3184-2020-1(21)-57-69)
 20. Ananieva, T. V., Fedonenko, O. V., Shapovalenko, Z. V. (2016). Mihratsiia radionuklidiv u molodi plitky zvychainoi na akvatorii Zaporizkoho vodoskhovyshcha [The radionuclide migration in juvenile roach in the Zaporozhian reservoir]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*, 21(1-2), 110–121 [in Ukrainian].
 21. Zalewska, T., Saniewski, M., Suplińska, M., Rubel, B. (2016). ^{90}Sr in fish from the southern Baltic Sea, coastal lagoons and freshwater lake. *Journal of Environmental Radioactivity*, 158–159, 38–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.03.024>
 22. Kashparova, O., Teien, H. C., Pavlenko, P., Salbu, B., Eide, D. M., Levchuk, S., Jensen, K. A., Protsak, V., Hrechaniuk, M., Kashparov, V. (2023). Clean feed as countermeasure to reduce the ^{90}Sr and ^{137}Cs levels in fish from contaminated lakes. *Journal of Environmental Radioactivity*, 258, 107091. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.107091>

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИДОБУВАННЯ ТИТАНУ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Горишнякова Яна Вікторівна,
аспірантка

Науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
ORCID ID: 0000-0001-7468-8301

Аніщенко Людмила Яківна,
доктор технічних наук, доцент,

Науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»,
ORCID ID: 0000-0003-2993-7828
Scopus Author ID: 57220194078

У даній статті пропонуються основні засади управління екологічною безпекою процесу видобування розсіпних титанових руд шляхом аналізу взаємозалежності факторів, що впливають на довкілля. Особлива увага приділяється розробці ієрархічної моделі, за допомогою якої визначаються найбільш критичні фактори впливу, оцінюються умови накопичення наслідків небезпечних впливів та ефективність природоохоронних заходів. Шляхом застосування методу аналізу ієрархій (MAI), адаптованого до екологічних завдань, забезпечується структурований підхід до оцінювання факторів впливу та оптимізації заходів щодо зниження негативного впливу гірничих робіт. Запропоновано багаторівневу ієрархічну структуру, що включає глобальну мету – екологічна безпека видобування, ключові екологічні критерії, їхні детальні підфактори та заходи щодо мінімізації впливу, як передбачені в проєкті, так і додаткові, за результатами післяпроєктного моніторингу. По результатам виконаного аналізу виділено найбільші загрози для довкілля, а саме, хімічне забруднення підземних і поверхневих вод, порушення гідродинамічного режиму підземних вод та деградація ґрунтового покриву. Встановлено, що ці фактори мають найвагоміший вплив на стан довкілля та потребують реалізації першочергових природоохоронних заходів. Зроблено висновок, що за допомогою запропонованого методу аналізу ієрархій можливо не лише оцінити фактори впливу на довкілля, а й розробити обґрунтовані рішення щодо зниження негативного впливу відкритого видобування титану на навколишнє середовище. Запропонований підхід є ефективним інструментом екологічного менеджменту у гірничодобувній промисловості, оскільки дозволяє системно оцінювати та прогнозувати наслідки діяльності підприємств видобувного сектору. Адаптація запропонованої методики до умов видобутку інших видів корисних копалин відкриває можливості для широкого її застосування у сфері екологічного регулювання та сталого розвитку мінерально-сировинної бази.

Ключові слова: гірничодобувна діяльність, післяпроєктний моніторинг, титанові руди, водне середовище, екологічна безпека, екологічна оцінка, багатокритеріальний аналіз.

Horyshnyakova Yana, Anishchenko Lyudmilla. Environmental Safety Assessment of Titanium Mining Using the Analytic Hierarchy Process

This study aims to assess the environmental safety of open-pit titanium mining by applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) to identify critical environmental impact factors and optimize corresponding mitigation strategies. The research contributes to the advancement of sustainable resource extraction by proposing a structured decision-making framework tailored to complex ecological challenges. A multi-criteria hierarchical model was developed, incorporating geological, hydrological, and ecological indicators relevant to titanium mining operations. The AHP method was adapted for environmental applications to enable systematic pairwise comparisons of impact factors, based on expert judgment and supported by post-project environmental monitoring data. This approach facilitated the determination of factor priority and the evaluation of mitigation alternatives. The results indicate that chemical contamination of surface and groundwater, disruption of hydrodynamic regimes, and soil degradation represent the most significant environmental risks. Priority mitigation measures include land reclamation, closed-loop water circulation systems, and long-term ecological restoration, aimed at minimizing negative impacts and enhancing ecosystem resilience. The study presents a novel application of AHP in the context of titanium mining, introducing an integrated framework that combines expert-based evaluation with empirical monitoring data. This fusion enhances predictive accuracy and supports informed decision-making in environmental management. The proposed approach serves as a practical tool for mining companies, environmental consultants, and regulatory agencies to assess ecological risks, improve monitoring systems, and implement sustainable mining practices. The methodology is adaptable to other sectors within the extractive industry facing similar environmental concerns. The integration of AHP with dynamic environmental monitoring demonstrates a high potential for assessing and mitigating the environmental impacts of open pit mining. This supports adaptive management and helps to balance industrial activity with environmental sustainability. Future research should explore hybrid modeling approaches to further enhance the predictive capabilities and accuracy of impact assessment.

Key words: mining activities, post-project monitoring, titanium ores, water environment, environmental safety, environmental assessment, multi-criteria analysis.

Вступ. Розвиток гірничодобувної галузі передбачає обов'язкове врахування екологічних аспектів на всіх етапах виробничого процесу [1, с. 31]. Видобування титану, зокрема відкритим кар'єрним способом, супроводжується значним антропогенним навантаженням на довкілля, що проявляється у порушенні природних ландшафтів, деградації ґрунтів, зміні гідрогеологічного режиму підземних вод, а також забрудненні та виснаженні водних ресурсів [2, с. 212]. У зв'язку з цим, особливого значення набуває впровадження післяпроектного моніторингу (ППМ) як інструменту оцінки фактичних екологічних наслідків та ефективності реалізованих природоохоронних заходів [3, с. 47].

Попри впровадження сучасних екологічних стандартів, залишається потреба у вдосконаленні методів екологічної оцінки, що враховували б складну взаємодію між техногенними процесами та природним середовищем не лише на етапі планування, а й у межах ППМ [4, с. 23]. Традиційні підходи, засновані на лінійному аналізі окремих компонентів екосистем, часто формують фрагментовані висновки, що ускладнює формування цілісної оцінки екологічної безпеки діяльності.

Матричні методи оцінювання, які належать до групи експертних, частково вирішують ці проблеми, однак характеризуються низкою обмежень: громіздкістю реалізації, складністю агрегування оцінок, обмеженою прогностичною здатністю та недостатньою об'єктивністю [5]. У зв'язку з цим, метод аналізу ієрархій, що реалізує холистичний підхід [6; 7] і дозволяє структурувати та кількісно оцінити складні системи, є доцільним для екологічного обґрунтування рішень у сфері гірничо-видобувної промисловості.

МАІ, запропонований Т. Сааті [6; 7], передбачає побудову багаторівневої ієрархічної моделі, де вершина представляє загальну ціль, а нижні рівні – критерії, субкритерії та альтернативи. Елементи ієрархії взаємопов'язані, що дозволяє оцінювати проблему в її системному контексті. Процедура включає попарне порівняння елементів за шкалою Сааті, побудову матриць домінування, перевірку узгодженості експертних оцінок та обчислення пріоритетів для прийняття обґрунтованого рішення.

Адаптація МАІ до екологічних задач відкриває можливості для об'єктивного оцінювання екологічної безпеки планованої діяльності, визначення критично важливих факторів впливу та формування ефективної програми ППМ.

МАІ достатньо широко використовується в екологічних дослідженнях як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Даний метод віднайшов застосування у вирішенні завдань щодо визначення найбільш прийнятних методів захисту ґрунтів [8], для оцінки ефективності видобувних робіт при розробці вторинних родовищ корисних копалин [9] та оцінки екологічних наслідків видобування корисних копалин підземним способом [10; 11].

В роботах [12; 13] детально розглянуто використання МАІ для оцінки впливу видобувних процесів на водні ресурси. Використання методу аналізу ієрархій дозволяє ефективно виконувати комплексну еколого-

аналітичну оцінку впливу техногенних факторів на довкілля [14]. Водночас у науковій літературі відсутні цілісні підходи до використання МАІ в контексті формування структурованої концепції післяпроектного моніторингу для родовищ титанових руд.

Наукова новизна цього дослідження полягає у розробці та апробації адаптованої методики використання МАІ для багатокритеріального аналізу екологічної безпеки на прикладі Межирічного родовища розсипних титанових руд. Вперше запропоновано інтеграцію МАІ з еколого-геохімічними характеристиками конкретного об'єкта, що дозволило виявити найбільш критичні фактори впливу, обґрунтувати необхідність ППМ та сформуванню його програму й регламент проведення. Запропонований підхід може бути адаптований для аналогічних об'єктів гірничо-видобувної промисловості, що підвищує його практичну цінність.

Метою дослідження є наукове обґрунтування застосування адаптованого методу аналізу ієрархій для проведення комплексної багатокритеріальної оцінки екологічної безпеки видобувної діяльності на Межирічному родовищі з подальшим визначенням критичних факторів впливу, формуванням підходів до ППМ і розробленням його програми.

Основні завдання дослідження включають ідентифікацію ключових екологічних факторів впливу, побудову багаторівневої моделі оцінювання, аналіз ефективності природоохоронних заходів та оптимізацію системи моніторингу на основі результатів багатокритеріального аналізу.

Матеріали та методи. Для комплексної оцінки впливу на довкілля та управління екологічною безпекою планованої діяльності у науковій практиці УКРНДІЕП використовується метод аналізу ієрархій (МАІ), адаптований до завдань оцінки впливу на довкілля (ОВД), стратегічної екологічної оцінки (СЕО), екологічної експертизи, післяпроектного моніторингу (ППМ) та післяпроектного аналізу [15]. Адаптація методу включала розробку алгоритму, моделей типових ієрархічних структур, вербальних таблиць визначень та характеристик зв'язків між елементами ієрархій, а також модифікацію шкали відносної важливості факторів. Усі ці розробки інтегровані в сертифікований програмний продукт, який активно використовується у практиці.

На відміну від більшості попередніх програм, створений програмний продукт дозволяє будувати багаторівневі ієрархії для необмеженої кількості порівнюваних варіантів і факторів. При побудові ієрархій і проведенні подальших розрахунків зберігаються всі проміжні етапи, що дозволяє повертатися до попередніх етапів аналізу для виправлення помилок і вдосконалення результатів. Паралельно з аналізом заповнюється вербальна таблиця зв'язків між елементами ієрархії, що допомагає візуалізувати взаємозв'язки і уточнювати оцінки.

Для оцінки екологічної безпеки видобутку розсипних титанових руд на Межирічному родовищі в рамках післяпроектного моніторингу використовувався зазначений сертифікований програмний продукт, розроблений УКРНДІЕП [15]. Методологія передбачає

експертно-аналітичне оцінювання шляхом попарного порівняння критеріїв і факторів впливу за адаптованою шкалою Т. Сааті [16], що забезпечує отримання узгоджених результатів і об'єктивність оцінки.

Для підвищення точності оцінок та зменшення впливу суб'єктивних факторів застосовувався механізм колективної експертизи [17–19], що дозволило коригувати попередні висновки на основі узгоджених думок фахівців. Ключовим фактором при виборі експертів було їх обізнаність із законодавчою та методичною документацією щодо ОВД, а також ознайомлення з попередньою практикою застосування адаптованого МАІ для оцінки впливу на довкілля. Експертам надавались матеріали, що стосуються оцінюваної планованої діяльності, умов її виконання та факторів впливу на навколишнє середовище в зоні впливу оцінюваної діяльності. До групи експертів залучався системний аналітик.

Для виконання комплексного аналізу використовувались результати попередніх і поточних польових спостережень, проведених УКРНДІЕП в рамках науководослідних робіт на замовлення ТОВ «МЕЖИРІЧЕНСЬКИЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ». Зокрема, були використані результати робіт «Розробка програми післяпроектного екологічного моніторингу та методів проведення контролю щодо впливу на довкілля планованої діяльності з видобування та збагачення титанових руд Ісаківської та Південної ділянок Межирічного родовища» (г/д № 1240/2.2 від 16.03.2020 р.) та «Здійснення післяпроектного екологічного моніторингу в межах району видобування та збагачення титанових руд Ісаківської та Південної ділянок Межирічного родовища» (г/д № 1362/2.2 від 26.01.2021 р.; г/д № 1570/2.2 від 05.01.2022 р.). Крім того, використовувались результати стандартних лабораторних хіміко-аналітичних досліджень проб води та ґрунтів, а також математичне моделювання гідродинамічних процесів і аналітичні розрахунки гідрогеологічних параметрів.

Залучення різноманітних методів дозволило провести всебічну оцінку стану навколишнього середовища в межах Межирічного родовища титанових розсипів та визначити критичні фактори впливу, що потребують додаткових природоохоронних заходів.

Результати та їх обговорення. Екологічно безпечне видобування титанових руд є складною багатофакторною системою, що охоплює технологічні, екологічні, економічні та соціальні аспекти. При цьому враховуються геологічні характеристики родовища, особливості планованої діяльності та наявні механізми екологічного управління. Для структурованої оцінки таких складних систем у дослідженні було застосовано метод аналізу ієрархій (МАІ), що дозволив розділити вплив видобувних робіт на декілька рівнів і провести багатокритеріальний аналіз потенційних екологічних наслідків.

Ієрархічна структура оцінки екологічної безпеки. У рамках дослідження побудовано ієрархію з 8 рівнів [20, с. 199], кожен з яких відображає конкретний аспект управління екологічною безпекою видобувної діяльності.

Рівень 1. Геологічні характеристики родовища (GeoX). Визначаються різноманітні геологічні параметри родовища, такі як геоморфологічні, гідрогеологічні, геохімічні тощо.

Рівень 2. Складові планованої діяльності (ВД). На даному рівні оцінюється безпосередній процес видобутку корисних копалин, їх переробка транспортування та інші етапи. Визначається, який із оцінюваних етапів буде мати суттєвіший вплив на складові довкілля.

Рівень 3. Кластери наслідків впливу (Н). На цьому рівні оцінюються який з кластерів: прямі чи опосередковані наслідки впливу планованої діяльності є вагомими для складових довкілля.

Рівень 4. Основні наслідки впливів (НВ). На цьому рівні надається детальний опис того, як планована діяльність може змінити ландшафт, ґрунти, водні ресурси, біорізноманіття, а також здатність території підтримувати життєдіяльність людей.

Рівень 5. Критерії безпеки навколишнього середовища (К). На цьому рівні виконується оцінка впливу на конкретні складові навколишнього середовища: повітря, ґрунти, вода, біота, що дозволяє виділити найбільш вразливі елементи екосистеми.

Рівень 6. Управління екологічною безпекою (ХПВ). На цьому рівні оцінюється, наскільки ефективно можна регулювати екологічну безпеку, у тому числі за допомогою регуляцій і заходів з мінімізації впливів.

Рівень 7. Адміністративний рівень управління (ЗРЗ). Виконується оцінка адміністративних заходів, включаючи державний, регіональний та місцевий рівні, для забезпечення екологічної безпеки.

Рівень 8 (заключний). Плановані заходи з безпеки (ЗБ). На цьому рівні наводяться заходи, які спрямовані на моніторинг, контроль, прогнозування та впровадження кращих доступних технологій для мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Порівняльний аналіз за рівнями. Для кожного рівня проводився попарний аналіз критеріїв, що дозволило визначити найбільш значущі фактори, а також оцінити можливість зменшення їх негативного впливу за допомогою природоохоронних заходів [20, с. 200–202].

На **Рівні 1** порівнювалися критерії **GeoX1, GeoX2, GeoX3, GeoX4, GeoX5, GeoX6, GeoX7** та визначалося, який з критеріїв буде більш значущим та впливовим у порівнянні з кожним іншим стосовно впливу планованої діяльності на стан екологічної безпеки.

На **Рівні 2** порівнювалися критерії **ВД1, ВД2, ВД3, ВД4, ВД5, ВД6** та визначалося, який з видів планованої діяльності (видобувної діяльності) буде мати більш суттєвий вплив на екологічний стан в аспекті критерію позначеного елементу вищого рівня (**GeoX**).

На **Рівні 3** порівнювалися критерії **Н1, Н2** та визначалося, який із наслідків впливу (прямий або опосередкований) буде більш вагомим для екологічної безпеки у відповідності до факторів впливу планованої діяльності параметрів, характеристик, показників позначених елементом верхнього вищого рівня (**ВД**).

На **Рівні 4** порівнювалися критерії **НВ1, НВ2, НВ3, НВ4, НВ5, НВ6, НВ7, НВ8** та визначалося, які із наслід-

ків впливів в рамках відповідного кластеру (**H1, H2**) матиме суттєвіше значення, у порівнянні з іншими, в аспекті екологічної безпеки планованої діяльності.

На Рівні 5 порівнювалися критерії **K1, K2, K3, K4** та визначалося, яка зі складових навколишнього природного середовища зазнає та може зазнати більш суттєвих змін від кожного з наслідків вищого рівня (**HВ**).

На Рівні 6 порівнювалися критерії **ХПВ1, ХПВ2, ХПВ3, ХПВ4** та визначалося значущість кожної з характеристик впливу для елементів вищого рівня (**K**).

На Рівні 7 порівнювалися критерії **ЗРЗ1, ЗРЗ2, ЗРЗ3** та визначалося, наскільки рівень реалізації заходів у відношенні до елементів вищого рівня (характеристики впливу (**ХПВ**)) є більш дієвим щодо зменшення наслідків впливу планованої діяльності.

На Рівні 8 порівнювалися критерії **ЗБ1, ЗБ2, ЗБ3, ЗБ4, ЗБ5, ЗБ6, ЗБ7, ЗБ8, ЗБ9** та визначалося, який із зазначених елементів заходів безпеки для кожного елемента вищого рівня (**ЗРЗ**) є більш суттєвим, впливовим та дієвим у порівнянні з іншими.

Застосування методу попарних порівнянь за шкалою Т. Сааті дозволило обчислити вагові коефіцієнти кожного критерію. Результати перевірялись за індексом узгодженості (CI) та відношенням узгодженості (CR); при значенні $CR < 0,1$ вважалося, що судження експертів узгоджені [16]. Такий підхід дає змогу всебічно оцінити критичні впливи на довкілля та розробити заходи щодо їх мінімізації.

Визначення критичних екологічних факторів. Аналіз ієрархічної моделі дозволив виокремити основні зовнішні чинники, що впливають на екологічну безпеку видобування титанових руд:

- екологічні обмеження (охорона ґрунтів, водних ресурсів та атмосферного повітря);
- законодавче регулювання (міжнародні екологічні норми, національні нормативно-правові акти, екологічні квоти);
- технологічний прогрес (впровадження сучасних методів видобування з мінімальним впливом на довкілля);
- соціальні аспекти (громадський контроль, екологічна відповідальність підприємств);
- економічна доцільність (ефективність застосування екологічно чистих технологій).

Серед найбільш критичних факторів впливу були визначені [20]:

- деградація ґрунтів (порушення структури земель – 26,14%, втрата родючого шару – 19,19%);
- забруднення водних ресурсів (зміни у гідродинамічному та гідрохімічному режимі підземних і поверхневих вод – 14,09%);
- забруднення атмосферного повітря (викиди пилу, важких металів, шкідливих газів – 2,66%);
- негативний вплив на біорізноманіття (знищення природних екосистем, зменшення чисельності видів флори та фауни – 8,83%);
- накопичення токсичних відходів (акумуляція радіоактивних елементів, хімічне забруднення територій – 6,12%).

Екологічні заходи мінімізації впливів. На основі виконаної оцінки були запропоновані такі природоохоронні заходи, як рекультивация земель, впровадження замкнених систем водокористування, застосування пілозахисних і фільтраційних технологій, впровадження енергозберігаючих рішень та використання біотехнологічних методів очищення.

На фінальному етапі запропоновано низку конкретних технологічних рішень, зокрема:

- екологічно безпечні методи збагачення руди,
- перехід до підземного видобутку,
- моніторинг довкілля в режимі реального часу,
- використання відновлюваних джерел енергії,
- раціональне управління та переробка відходів.

Переваги МАІ у порівнянні з іншими методами екологічної оцінки.

Унікальність підходу на основі МАІ полягає у поєднанні системності, кількісної точності та гнучкості, що особливо важливо при оцінці складних і багатовимірних процесів, таких як вплив видобувної діяльності на довкілля.

На відміну від інших методів екологічної оцінки – наприклад, експертного опитування, бальної оцінки або SWOT-аналізу – МАІ дозволяє не просто ранжувати фактори впливу, а побудувати чітку логічну структуру з кількох рівнів, яка відображає взаємозв'язки між усіма елементами системи. Це критично важливо у випадку Межирічного родовища, де впливи мають як локальний, так і регіональний масштаб, і стосуються різних екосистемних компонентів (вода, ґрунт, повітря, біота).

Ще однією унікальною рисою є можливість кількісної обробки якісних суджень, зокрема, експертних оцінок, які перетворюються на вагові коефіцієнти через попарне порівняння. Завдяки цьому МАІ дозволяє інтегрувати різноспрямовані дані (екологічні, економічні, соціальні) в єдину систему, забезпечуючи об'єктивну та прозору оцінку. Крім того, МАІ має вбудовані механізми перевірки узгодженості суджень експертів, що робить результати більш достовірними та науково обґрунтованими. У традиційних методах така перевірка або взагалі відсутня, або проводиться лише формально.

Ключовою перевагою є динамічність підходу. Ієрархічна структура легко адаптується до змін: при появі нових даних, зміні технологій або умов проекту можна швидко оновити відповідні рівні ієрархії без необхідності перебудови всієї системи аналізу.

Таким чином, унікальність підходу МАІ в контексті дослідження Межирічного родовища полягає у можливості поетапно, прозоро й гнучко оцінити складну екологічну ситуацію, врахувати різні типи впливів і запропонувати оптимальні рішення для підвищення рівня екологічної безпеки, що значно перевищує можливості традиційних методів.

Висновки. У ході дослідження обґрунтовано доцільність використання адаптованого методу аналізу ієрархій (МАІ) для оцінювання екологічної безпеки видобування титанових руд на Межирічному родо-

вищі. Запропонований підхід дозволив структурувати складну систему екологічного аналізу на вісім взаємопов'язаних рівнів, що охоплюють геологічні характеристики, технологічні процеси, наслідки впливів, критерії оцінювання, механізми управління, адміністративні рівні та природоохоронні заходи.

Застосування МАІ, адаптованого до екологічних завдань, дозволило виявити найбільш критичні фактори впливу, серед яких найбільшу вагу мали: деградація ґрунтів (26,14%), втрата родючого шару (19,19%), зміни у гідродинамічному та гідрохімічному режимі вод (14,09%), забруднення атмосфери (2,66%), негативний вплив на біорізноманіття (8,83%) та накопичення токсичних відходів (6,12%).

Отримані дані слугували науковим підґрунтям для розробки програми післяпроектного екологічного моніторингу та регламенту періодичності й методів спостереження в зоні впливу об'єктів ТОВ «МЕЖИРІЧЕНСЬКИЙ ГЗК». МАІ дозволив теоретично обґрунтувати доцільність постійного моніторингу найбільш уразливих компонентів довкілля (зокрема, підземних та поверхневих вод) та визначити перелік пріоритет-

них показників контролю (хлориди, сульфати, загальна жорсткість, сухий залишок, титан, марганець).

Проведене дослідження підтвердило, що системний підхід, заснований на МАІ, забезпечує високу надійність оцінок, дозволяє враховувати взаємозв'язки між різними чинниками впливу та оперативно адаптувати управлінські рішення до змін у середовищі. Це створює умови для інтеграції екологічної безпеки у стратегічні пріоритети розвитку ресурсодобувної галузі, зокрема у контексті післявоєнного відновлення економіки України.

Таким чином, використання МАІ, адаптованого до екологічних завдань, у контексті управління екологічною безпекою відкритого видобування титанових руд (на прикладі Межирічного родовища) дозволяє системно оцінювати впливи на довкілля, розробляти ефективні заходи з охорони навколишнього середовища, оптимізувати процес екологічного моніторингу та забезпечувати збалансоване використання природних ресурсів. Запропонований підхід може стати основою для подальшого вдосконалення екологічного менеджменту та сприяти сталому розвитку видобувної галузі з урахуванням екологічних пріоритетів.

Література:

1. Hoxha E., Symochko L., Pinheiro M. N. C. The environmental impact of mining activities in Europe: a comprehensive analysis. *EQA – International Journal of Environmental Quality*, 2024. № 66. С. 30–42. DOI <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/20521>
2. Маркіна Н.К., Горишнякова Я.В. Оцінка стану складових довкілля в зоні впливу видобувної діяльності Межиріченського гірничо-видобувного комбінату по результатам комплексного моніторингу. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. м.Харків, 15-16 верес. 2022 р. Харків, 2022. С. 212–214. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2022.pdf>
3. Маркіна Н.К., Горишнякова Я.В. Наукове обґрунтування організації післяпроектного гідрохімічного моніторингу в титанодобувних регіонах. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2023. Випуск 2 (139). С. 46–54. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.2.6>
4. Аніщенко Л.В., Горишнякова Я.В. Комплексна оцінка екологічної безпеки видобування титану відкритим способом на етапі післяпроектного моніторингу. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф. м.Харків, 14–15 верес. 2023 р. Харків, 2023. С. 22–27. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2023.pdf>
5. Leopold L.B., Clarke F.E., Hanskow B.B. A prouder for evolution environmental impact. 1971. 13 p.
6. Thomas L. Saaty, Kevin P. Kearns. Analytical planning: The organization of systems. RWS Publications, 1991. 208 p.
7. Thomas L. Saaty, Luis G. Vargas. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Springer Science & Business Media, 2012. 333 p.
8. A. Kh. Hamdoon Al-Rahbi, M. F.M. Abushammala, Wajeeha A. Qazi. Application of the analytic hierarchy process for management of soil erosion in Oman. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 2020. Vol. 12. № 1. P. 104–116. URL: https://www.ijahp.org/index.php/IJAHp/article/view/683?utm_source=chatgpt.com
9. Patyk, M.; Bodziony, P. Application of the Analytical Hierarchy Process to Select the Most Appropriate Mining Equipment for the Exploitation of Secondary Deposits. *Energies* 2022, 15, 5979. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15165979>. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/16/5979>
10. Wang X., Liu B., He S., Yuan H., Ji D., Qi L., Song Y., Xu W. An Analytic Hierarchy Process Method to Evaluate Environmental Impacts of In Situ Oil Shale Mining. *Sustainability*, 2024, 16, 1363. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16041363>
11. Shome S.D., Mhaske S.N., Chakravorty S. (2024). Assessment of Environmental Severity Around the Mining Region Using GIS-Based AHP Model: A Case Study of the Dongri Buzurg Manganese Ore Mine, India. *J. Inst. Eng. India Ser. D* 105, 769–794. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40033-023-00518-2>
12. Wu, Q., Fan, S., Zhou, W. (2013). Application of the Analytic Hierarchy Process to Assessment of Water Inrush: A Case Study for the No. 17 Coal Seam in the Sanhejian Coal Mine, China. *Mine Water Environ* 32, 229–238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10230-013-0228-6>
13. Aryafar A., Yousefi S., Doulati Ardejani, F. (2013). The weight of interaction of mining activities: groundwater in environmental impact assessment using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP). *Environmental Earth Sciences* 68, 2313–2324. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1910-x>
14. Adamova, G. V. Comprehensive Ecological and Analytical Assessment of the “Car-Road-Environment System” on the Example of the Road M-29 Section. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 2021. № 25. P. 55–69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05>

15. Комп'ютерна програма «PROGRAM OF ANALYTICAL SYSTEM OF STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT. ANALYTIC HIERARCHY/NETWORK PROCESS» / Л.А. Пісня, Л.Я. Аніщенко, Б.С. Свердлов, С.Б. Свердлов. – Номер свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір: 121616, Дата реєстрації авторського права: 06.12.2023, Об'єкт авторського права, до якого належить твір: 16. Комп'ютерні програми. Дата публікації: 29.12.2023, Номер бюлетеня: 78. URL: <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>.

16. Технології системного аналізу. Метод аналізу ієрархій. Основні етапи методу аналізу ієрархій. URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1189269/mod_resource/content/0/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%205%202024.pdf

17. Терентьев О.О., Київська К.І., Делембовський М.М., Серпинська О.І. Методи експертних оцінок в системі прийнятих рішень : навч. посібник. Київ, 2020. 116 с.

18. Олексієнко Р.Ю., Донець А.О. Місце експертної оцінки у прийнятності управлінських рішень. *Економіка та суспільство*, 2021. Випуск 46/2021. С. 101–108. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/381>. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-59>

19. Гордєєва І.О. Оцінка адаптивності управління організацією методом аналізу ієрархій за критеріями ефективності та своєчасності прийняття рішень. *Ефективна економіка*. 2021. № 7. URL: http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/7_2021/90.pdf. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.7.88>

20. Горишнякова Я.В., Аніщенко Л.Я., Пісня Л.А., Маркіна Н.К. Результати та особливості експертно-аналітичного оцінювання екологічно безпечного видобування розсіпів титану на прикладі Межирічного родовища. *Екологічна безпека : проблеми і шляхи вирішення* : матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф. м. Харків, 19–20 верес. 2024 р. Харків, 2024. С. 199–205. URL: http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf

References:

1. Hoxha, E., Symochko, L., Pinheiro, M. N. C. (2025). The environmental impact of mining activities in Europe: a comprehensive analysis. *EQA – International Journal of Environmental Quality*, 66, 30–42. DOI: <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/20521>.

2. Markina, N. K., Horyshniakova, Ya. V. (2022). Otsinka stanu skladovykh dovykillya v zoni vplyvu vydobuval'noy diyal'nosti Mezhyrichens'koho hirnychodobyvnoho kombinatu po rezul'tatam kompleksnoho monitorynhu [Assessment of the state of environmental components in the area of influence of mining activities of the Mezhyrichensky mining and processing plant based on the results of comprehensive monitoring]. *Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya* [Environmental safety: problems and solutions] (pp. 212–214). Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, September 15-16 2022), UKRNDIEP. URL: <https://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2022.pdf> [in Ukrainian].

3. Markina, N. K., Goryshnyakova, Ya. V. (2023). Naukove obgruntuvannya orhanizatsii pisliaproiektnoho hidrokhimichnoho monitorynhu v tytanodobuvnykh rehionakh [Scientific justification for organization post-project hydrochemical monitoring in titanium mining regions]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, (2)139, 46–54. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.2.6> [in Ukrainian].

4. Anishchenko, L. Ya., Horyshniakova, Ya. V. (2023). Kompleksna otsinka ekolohichnoi bezpeky vydobuvannya tytanu vidkrytyim sposobom na etapi pisliaproiektnoho monitorynhu [Comprehensive assessment of environmental safety in open-pit titanium mining at the post-project monitoring stage]. In *Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya* [Environmental safety: Problems and solutions] (pp. 22–27). Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, September 14–15, 2023). UKRNDIEP. URL: <http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2023.pdf> [in Ukrainian].

5. Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanskow, B. B. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. 13 p.

6. Saaty, T. L., Kearns, K. P. (1991). Analytical planning: The organization of systems. *RWS Publications*. 208 p.

7. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2012). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. *Springer Science & Business Media*. 333 p.

8. Al-Rahbi, A. Kh. H., Abushammala, M. F. M., Qazi, W. A. (2020). Application of the analytic hierarchy process for management of soil erosion in Oman. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 12(1), 104–116. URL: https://www.ijahp.org/index.php/IJAHp/article/view/683?utm_source=chatgpt.com.

9. Patyk, M., Bodziony, P. (2022). Application of the Analytical Hierarchy Process to select the most appropriate mining equipment for the exploitation of secondary deposits. *Energies*, 15(16), 5979. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15165979>.

10. Wang, X., Liu, B., He, S., Yuan, H., Ji, D., Qi, L., Song, Y., Xu, W. (2024). An Analytic Hierarchy Process method to evaluate environmental impacts of in situ oil shale mining. *Sustainability*, 16, 1363. DOI: <https://doi.org/10.3390/sul6041363>.

11. Shome, S. D., Mhaske, S. N., Chakravorty, S., et al. (2024). Assessment of environmental severity around the mining region using GIS-based AHP model: A case study of the Dongri Buzurg Manganese Ore Mine, India. *Journal of the Institution of Engineers (India), Series D*, 105, 769–794. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40033-023-00518-2>.

12. Wu, Q., Fan, S., Zhou, W., et al. (2013). Application of the analytic hierarchy process to assessment of water inrush: A case study for the No. 17 coal seam in the Sanhejian coal mine, China. *Mine Water and the Environment*, 32, 229–238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10230-013-0228-6>.

13. Aryafar, A., Yousefi, S., & Doulati Ardejani, F. (2013). The weight of interaction of mining activities: Groundwater in environmental impact assessment using fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). *Environmental Earth Sciences*, 68, 2313–2324. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1910-x>.

14. Adamova, G. V. (2021). Comprehensive ecological and analytical assessment of the “car-road-environment system” on the example of the road M-29 section. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (25), 55–69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05>.
15. Pisia, L. A., Anishchenko, L. Ya., Sverdlov, B. S., Sverdlov, S. B. (2023). PROGRAM OF ANALYTICAL SYSTEM OF STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT. ANALYTIC HIERARCHY/NETWORK PROCESS (Computer software). Certificate of copyright registration No. 121616, registered on December 6, 2023. URL: <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>
16. Tekhnolohii systemnoho analizu. Metod analizu ierarkhii. Osnovni etapy metodu analizu ierarkhii [System Analysis Technologies. Analytic Hierarchy Process. Main Stages of the Analytic Hierarchy Process] (2024). URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1189269/mod_resource/content/0/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%205%2024.pdf [in Ukrainian].
17. Terentieiev, O. O., Kyivska, K. I., Delembovskyi, M. M., & Serpynska, O. I. (2020). Metody ekspertnykh otsinok v systemi pryiniatnykh rishen: navchalnyi posibnyk [Methods of expert evaluations in the decision-making system: Textbook] (116 p.) [in Ukrainian].
18. Oleksienko, R. Yu., & Donets, A. O. (2021). Mistse ekspertnoi otsinky u pryiniatnosti upravlinskykh rishen [The role of expert evaluation in the acceptability of managerial decisions]. *Ekonomika ta suspilstvo : Economy and Society*, 46, 101–108. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/381> DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-59> [in Ukrainian].
19. Hordiieva, I. O. (2021). Otsinka adaptivnosti upravlinnia orhanizatsiiei metodom analizu ierarkhii za kryteriiamy efektyvnosti ta svoiechiasnosti pryiniattia rishen [Evaluation of organizational management adaptability using the analytic hierarchy process based on effectiveness and timeliness criteria]. *Efektivna ekonomika : Efficient Economy*, 7. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/7_2021/90.pdf. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.7.88> [in Ukrainian].
20. Horishniakova, Ya. V., Anishchenko, L. Ya., Pisia, L. A., Markina, N. K. (2024). Rezultaty ta osoblyvosti ekspertno-analitychnoho otsiniuvannia ekolohichno bezpechnoho vydobuvannia rozsyviv tytanu na prykladi Mezhyrichnoho rodovyscha [Results and features of expert-analytical assessment of environmentally safe titanium placer mining on the example of the Mezhyrichne deposit]. In *Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia* [Environmental safety: Problems and solutions] (pp. 199–205). Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, September 19–20, 2024). UKRNDIEP. URL: http://www.niep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf [in Ukrainian].

ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН У ЛУЧНОМУ, НЕМОРАЛЬНОМУ ТА РУДЕРАЛЬНОМУ ФЛOROЦЕНОТИПАХ НПП «ГОЛОСІЇВСЬКИЙ»

Діденко Ігор Анатолійович,

кандидат сільськогосподарських наук,

доцент кафедри екології та ландшафтного дизайну

Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет»

ORCID ID: 0000-0002-8070-3501

Бондар Юлія Олегівна,

кандидат біологічних наук, доцент,

завідувачка кафедри екології та ландшафтного дизайну

Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет»

ORCID ID: 0009-0002-8568-6541

Курчій Богдан Олексійович,

доктор біологічних наук,

доцент кафедри екології та ландшафтного дизайну

Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет»

ORCID ID: 0000-0002-1043-6014

Марченко Ольга Анатоліївна,

кандидат біологічних наук,

доцент кафедри екології та ландшафтного дизайну

Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет»

ORCID ID: 0000-0002-2419-4191

У статті досліджено екологічні передумови формування продуктивності та оцінено потенціал лікарських рослин у лучному, неморальному та рудеральному флороценотипах на території Національного природного парку «Голосіївський». Проведено аналіз видового складу лікарських рослин, їхнього середнього проективного покриття, рясності, виходу сировини та біологічного запасу. Дослідження ґрунтувалися на маршрутному методі флористичних обстежень із закладенням пробних площ, що дозволило визначити просторовий розподіл лікарських рослин та їхню продуктивність у різних флороценотипах. Результати показали, що лучні флороценотипи характеризуються високою чисельністю лікарських видів, серед яких найбільший біологічний запас продемонстрували кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* L.), материнка звичайна (*Organum vulgare* L.) та конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.). У неморальних угрупованнях найпродуктивнішими виявилися чистотіл великий (*Chelidonium majus* L.), медунка темна (*Pulmonaria obscura* Dumort) та кропива дводомна (*Urtica dioica* L.). Рудеральні флороценотипи містять значний потенціал лікарської сировини завдяки щириці звичайній (*Amaranthus retroflexus* L.), кульбабі лікарській (*Taraxacum officinale* L.) та лободі білій (*Chenopodium album* L.), що свідчить про їхню здатність до активного відновлення та зростання в антропогенно порушених екосистемах.

Отримані дані дозволяють оцінити продуктивний потенціал лікарських рослин та перспективи їх раціонального використання. Особливу увагу приділено питанням екологічної стійкості та можливості відновлення лікарської флори без порушення природних екосистем. Зроблено висновки щодо необхідності регламентованого збору лікарських рослин у межах зони регульованої рекреації, що може сприяти підтримці природного балансу та сталому використанню природних ресурсів парку.

Ключові слова: лікарські рослини, біологічний запас, проективне покриття, рясність, лучні, неморальні та рудеральні флороценотипи, НПП «Голосіївський».

Didenko Ihor, Bondar Yulia, Kurchii Bohdan, Marchenko Olga. Ecological prerequisites for productivity formation and assessment of the potential of medicinal plants in meadow, nemoral, and ruderal florocenotypes of the Holiivskyi National Nature Park

The article investigates the ecological prerequisites for productivity formation and assesses the potential of medicinal plants in the meadow, nemoral, and ruderal florocenotypes within the territory of the Holiivskyi National Nature Park. An analysis of the species composition of medicinal plants, their average projective cover, abundance, raw material yield, and biological stock was conducted. The research was based on the route method of floristic surveys with the establishment of sample plots, allowing for the determination of the spatial distribution of medicinal plants and their productivity in different florocenotype. The results showed that meadow florocenotypes are characterized by a high abundance of medicinal species, with the highest biological stock observed in *Taraxacum officinale* L., *Organum vulgare* L. and *Trifolium pratense* L. In nemoral communities, the most productive species were *Chelidonium*

*majus L., Pulmonaria obscura Dumort and Urtica dioica L.. Ruderal florocenotypes contain significant medicinal raw material potential due to *Amaranthus retroflexus L., Taraxacum officinale L. and Chenopodium album L., indicating their ability to actively regenerate and grow in anthropogenically disturbed ecosystems.**

The obtained data make it possible to assess the productive potential of medicinal plants and the prospects for their rational use. Special attention is given to the issues of ecological sustainability and the possibility of restoring medicinal flora without disrupting natural ecosystems. Conclusions emphasize the necessity of regulated harvesting of medicinal plants within the controlled recreation zone, which may contribute to maintaining natural balance and ensuring the sustainable use of the park's natural resources.

Key words: medicinal plants, biological stock, projective cover, abundance, meadow, nemoral, and ruderal florocenotypes, Holosiivskyi National Nature Park.

Вступ. Лікарські рослини відіграють важливу роль у підтримці біорізноманіття та забезпеченні екосистемних послуг природних ландшафтів [1, с. 114]. На території Національного природного парку «Голосіївський» зустрічається значна кількість видів лікарських рослин, які зростають у різних флороценотипах – лучному, неморальному та рудеральному. Кількість досліджень, що оцінюють продуктивний потенціал цих видів у межах природоохоронних територій є вкрай недостатньою. З огляду на природоохоронний статус НПП «Голосіївський» і необхідність збереження рослинного покриву, важливим завданням є оцінка продуктивності лікарських рослин без порушення екологічної рівноваги.

Аналіз наукової літератури свідчить про значний інтерес науковців до вивчення фіторізноманіття та екологічних закономірностей формування фітоценозів природоохоронних територій. Зокрема, значний внесок у дослідження лісових фітоценозів зробили такі вчені, як П. І. Лакида, Б. В. Дубровець, О. М. Мельник, Р. Д. Васишин, В. В. Бокоч, які розглядали структурно-функціональні особливості, біопродуктивність та екологічні чинники, що визначають розвиток лісових екосистем [2].

Питанням складу та структури лучних фітоценозів присвячені роботи Панченка С. М., Горової Я. М., Дяченко Л. Л., які детально досліджували флористичний склад, типи угруповань та фактори середовища, що визначають їхнє поширення, а також взаємозв'язки між екологічними умовами та фітоценотичною структурою [3].

Дослідження рудеральної та степової рослинності у природно-антропогенних ландшафтах були висвітлені у працях Шапошникової А. О., Мойсієнка І. І., Пономарьової А. А., зокрема у контексті вивчення фіторізноманіття регіонального ландшафтного парку «Долина курганів». Їх дослідження містять цінні відомості щодо збереження природного потенціалу лікарських рослин в умовах трансформованих екосистем [4].

Прядко О. І. будучи одним із авторів Літопису природи Національного природного парку «Голосіївський» у підрозділі про «Сучасний стан фіторізноманіття водотоків Голосіївського лісу» робить акцент на зміні фітоценозів під впливом антропогенного навантаження. Також описує кліматичні зміни останніх років, що чинять свій негативний ефект та спричиняють суттєві зміни гідрологічного режиму окремих ставків та водотоку в цілому. Внаслідок цього відбуваються значні зміни у рослинних угрупованнях та зникнення в першу чергу найбільш чутливих видів рослин, появу нових адвентивних видів [5].

Попри наявність широкого спектру наукових праць, залишається актуальним питання комплексного дослід-

ження екологічних передумов формування лікарської рослинної сировини в умовах різних фітоценозів Національного природного парку «Голосіївський». Зокрема, потребують уваги такі аспекти, як вплив типу флороценотипу (лучного, неморального, рудерального) на продуктивність та потенціал лікарських видів, адаптивні механізми рослин до умов середовища, рівень біоценотичної стабільності угруповань та екологічна роль лікарських рослин у структурі ценозу.

Матеріали та методи. Дослідження проводилися впродовж травня – серпня 2023–2024 рр. на території центральної частини НПП «Голосіївський». Було вивчено 16 видів різних родин лікарських рослин.

Під час вивчення флори досліджуваної території застосовували маршрутний метод флористичних досліджень, що передбачав прокладання профільної лінії та фіксацію видового складу рослин уздовж неї. Під час дослідження лісових флороценотипів маршрути прокладали з меншою частотою – через 100, 200 або, в окремих випадках, 500 метрів, залежно від різноманітності рослинного покриву на території. У лучних флороценотипах маршрути розташовували щільніше – з інтервалом 25–30 метрів. Закладання пробних ділянок використовували як один із методів стаціонарного геоботанічного дослідження. Їх розмір визначали відповідно до типу рослинності: у лісових флороценотипах площа пробних ділянок становила 16 м², а для вивчення трав'янистих рослин уздовж профільної лінії закладали ділянки розміром 1×1 м. На цих ділянках детально аналізували морфологічні особливості рослин, їх екологічні характеристики та інші ключові параметри.

Закладання кількох пробних ділянок проводилось рендомізованим методом, що забезпечував випадковість вибору та незалежність однієї ділянки від іншої. Рослини визначалися за Визначником рослин України [6]. Для визначення рясності видів користувались шкалою Друде [7, с. 19]: Сор 3 – дуже рясно, заростями; Сор 2 – дуже рясно; Сор 1 – рясно; Soc – досить рясно; Sol – багато видів; Sp – декілька видів; Un – поодинокі види. Віднесення видів лікарських рослин до певного флороценотипу здійснювали за класифікацією Заврухи Б. В. [8, с. 244–245].

Розрахунок виходу сировини з 1% проективного покриття та обчислення біологічного запасу лікарських рослин проводився відповідно до загальноприйнятих методичних підходів, які використовуються при оцінці фіторесурсів у природних екосистемах. Основною методикою, на яку ми спиралися, є методика, описана у працях Ю. Р. Шеляг-Сосонка [9] та Зузук Б.М., Зузук Л.Б. [10, с. 48–67].

Суть методики полягає в наступному: вихід сировини з 1% проективного покриття (в кг/га) визначався на основі довідкових значень. Цей показник відображає середню кількість біомаси, яку можна зібрати з одного гектара за умови, що рослина займає 1% площі проективного покриття. Біологічний запас лікарської сировини (в тонах) розраховувався за формулою:

$$З = П \times В \times S / 1000$$

де:

З – біологічний запас сировини, т;

П – середній відсоток проективного покриття виду на досліджуваній території, %;

В – вихід сировини з 1% проективного покриття, кг/га;

S – досліджувана площа, га;

1000 – коефіцієнт переведення з кілограмів у тони.

Результати дослідження. У ході досліджень був проведений еколого-ценотичний аналіз флори. Аналіз проведених польових досліджень дав змогу визначити рівень проективного покриття, рясність окремих видів (Табл. 1), вихід лікарської сировини та розрахувати біологічні запаси рослин (Табл. 2). Отримані результати дозволяють не лише оцінити сучасний стан популяцій лікарських рослин, а й виявити закономірності їх поширення та продуктивності у різних екологічних умовах досліджуваної території.

Встановлено, що представлені видами лучні угруповання займають різні екологічні ніші. Найвищий рівень проективного покриття (5 балів) має кульбаба лікарська, яка має рясність Сор 3, що свідчить про її значну поширеність та домінуючу роль у лучних фітоценозах. Високий рівень проективного покриття (4 бали) також має конюшина лучна (Сор 2), яка формує щільний покрив завдяки активному вегетативному розростанню. Помірне проективне покриття (3 бали)

характерне для шавлії лучної, суховершків звичайних, чини лучної та грициків звичайних, які мають рясність Сор 1. Це вказує на їх стабільну присутність, але менший рівень домінування. Материнка звичайна має мінімальне проективне покриття (1 бал) та позначена як Un, що означає її рідкісне зростання в цьому флороценоотипі.

Неморальний флороценоотип є лісовим угрупованням з тіньовитривалими видами, що пристосовані до специфічних умов середовища. Найбільше проективне покриття (5 балів) у глухій кропиві білої, має рясність Сор 3, що вказує на її значну присутність у складі неморального рослинного угруповання. Високі показники проективного покриття (4 бали) має чистотіл великий (Сор 2), який формує густий підлісок у затінених місцях. Кропива дводомна та медунка темна мають помірне проективне покриття (2 бали) та належать до категорії Soc, що означає їх часту, але не домінуючу присутність у лісових фітоценозах. Кульбаба лікарська у цьому середовищі має проективне покриття 3 бали та віднесена до Сор 1, що свідчить про її помірну кількість у лісових екосистемах.

Рудеральний флороценоотип включає види, що зростають на антропогенно порушених територіях, узбіччях, пустирях та інших екосистемах з підвищеним рівнем стресових факторів. Найбільше проективне покриття (4 бали) мають лобода біла та кульбаба лікарська, що віднесені до Сор 2. Їх висока конкурентоздатність дозволяє займати значні площі на порушених територіях. Грицики звичайні мають середній рівень покриття (2 бали) та позначені як Soc, що свідчить про їхню звичайну, але не надмірну присутність у цих екосистемах. Полин гіркий, кропива дводомна та щиріця звичайна мають низький рівень проективного покриття (1 бал) та позначені як Sol (поодинокі)

Таблиця 1

Еколого-ценотичний аналіз лікарських рослин НПП «Голосіївський»

№ п/п	Флороценоотип	Вид	Рясність	Проективне покриття, балів
1	Лучний	Шавлія лучна (<i>Salvia pratensis</i> L.)	Cop 1	3
2		Суховершки звичайні (<i>Prunella vulgaris</i> L.)	Cop 1	3
3		Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	Cop 3	5
4		Ромашка лікарська (<i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert.)	Sol	2
5		Материнка звичайна (<i>Origanum vulgare</i> L.)	Un	1
6		Чина лучна (<i>Lathyrus pratensis</i> L.)	Cop 1	3
7		Конюшина лучна (<i>Trifolium pratense</i> L.)	Cop 2	4
8		Грицики звичайні (<i>Capsella bursa pastoris</i> L.)	Cop 1	3
9	Неморальний	Глуха кропива біла (<i>Lamium album</i> L.)	Cop 3	5
10		Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	Soc	2
11		Чистотіл великий (<i>Chelidonium majus</i> L.)	Cop 2	4
12		Медунка темна (<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort.)	Soc	2
13		Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	Cop 1	3
14	Рудеральний	Полин гіркий (<i>Artemisia absinthium</i> L.)	Sol	1
15		Лобода біла (<i>Chenopodium album</i> L.)	Cop 2	4
16		Грицики звичайні (<i>Capsella bursa pastoris</i> L.)	Soc	2
17		Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	Cop 2	4
18		Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	Sol	1
19		Щиріця звичайна (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	Sol	1

Біологічний запас ресурсів лікарських рослин НПП «Голосіївський»

№ п/п	Флороценотип	Вид	Середнє проективне покриття, %	Вихід сировини з 1% проективного покриття, кг	Досліджувана площа, га	Біологічний запас, т
1	Лучний	Шавлія лучна (<i>Salvia pratensis</i> L.)	19,0	0,018	1100	3762,0
2		Суховершки звичайні (<i>Prunella vulgaris</i> L.)	15,5	0,011		1875,5
3		Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	41,8	0,030		13794,0
4		Ромашка лікарська (<i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert.)	10,2	0,014		1570,8
5		Материнка звичайна (<i>Origanum vulgare</i> L.)	9,1	0,083		8308,3
6		Чина лучна (<i>Lathyrus pratensis</i> L.)	17,4	0,022		4210,8
7		Конюшина лучна (<i>Trifolium pratense</i> L.)	21,0	0,023		5313,0
8		Грицики звичайні (<i>Capsella bursa pastoris</i> L.)	22,6	0,009		2237,4
9	Неморальний	Глуха кропива біла (<i>Lamium album</i> L.)	34,6	0,027	6700	62591,4
10		Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	19,1	0,021		26873,7
11		Чистотіл великий (<i>Chelidonium majus</i> L.)	33,9	0,035		79495,5
12		Медунка темна (<i>Pulmonaria obscura</i> Dumort.)	19,5	0,029		37888,5
13		Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	20,4	0,031		42370,8
14	Рудеральний	Полин гіркий (<i>Artemisia absinthium</i> L.)	10,7	0,024	750	1926,0
15		Лобода біла (<i>Chenopodium album</i> L.)	31,2	0,034		7956,0
16		Грицики звичайні (<i>Capsella bursa pastoris</i> L.)	20,6	0,009		1390,5
17		Кульбаба лікарська (<i>Taraxacum officinale</i> L.)	35,8	0,030		8055,0
18		Кропива дводомна (<i>Urtica dioica</i> L.)	27,6	0,018		3726,0
19		Щириця звичайна (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.)	30,2	0,067		15175,5

екземпляри), що вказує на їхню епізодичну зустрічальність у рудеральних екосистемах.

У таблиці 2 представлено дані щодо біологічного запасу лікарських рослин у різних флороценотипах на території досліджуваних площ. Основні показники включають середнє проективне покриття видів, вихід сировини з 1% проективного покриття та розрахований біологічний запас.

Лучні угруповання представлені переважно багаторічними трав'янистими рослинами, які характеризуються високою щільністю травостою та значною продуктивністю. Серед лікарських видів, що домінують у цьому флороценотипі, виділяється кульбаба лікарська, яка має найбільший біологічний запас – 13794,0 т. Це пояснюється її високим середнім проективним покриттям (41,8%) та значним виходом сировини з 1% покриття (0,030 кг). Другу позицію за біологічними запасами займає материнка звичайна, яка формує запас 8308,3 т. Вона має порівняно невелике проективне покриття (9,1%), проте характеризується високим виходом сировини (0,083 кг), що свідчить про її високу продуктивність на лучних ділянках. Конюшина лучна також має значний біологічний запас – 5313,0 т. Це один із ключових компонентів лучного ценозу, що відіграє важливу роль у біологічному збагаченні ґрунту завдяки своїй здатності до фіксації азоту. Значні запаси також спостерігаються у чини лучної – 4210,8 т та шавлії лучної – 3762,0 т, що свідчить про їх активну участь

у формуванні рослинного покриву та стабільні екологічні характеристики.

Лісові угруповання мають інший характер формування рослинності. Тут представлені тіньовитривалі та вологолюбні види, які пристосовані до умов помірного освітлення та більш родючих ґрунтів. Найбільший біологічний запас у цьому флороценотипі має чистотіл великий – 79495,5 т. Цей вид відзначається високим середнім проективним покриттям (33,9%) та продуктивністю (0,035 кг на 1% покриття), що робить його перспективним у фітотерапії. Другим за запасами є кульбаба лікарська, яка накопичує 42370,8 т сировини. Її значні запаси як у неморальному, так і в лучному флороценотипах підтверджують її високу екологічну пластичність та здатність до активного розселення.

Медунка темна формує запас 37888,5 т, що свідчить про її хорошу пристосованість до умов лісових біоценозів. Ця рослина є важливим ранньовесняним медоносом і лікарською культурою. Інші значні за продуктивністю види – кропива дводомна (26873,7 т) та глуха кропива біла (62591,4 т), що підкреслює високу роль цих видів у формуванні рослинного покриву неморального типу.

Рудеральні угруповання характеризуються високою динамікою змін видового складу, наявністю значної частки бур'янів та антропогенно-залежних рослин. Лідером за біологічним запасом є щириця звичайна, що накопичує 15175,5 т лікарської сировини. Вона демонструє високий вихід сировини (0,067 кг) і велике

середнє проєктивне покриття (30,2%), що свідчить про її агресивність та високу конкурентоспроможність. Кульбаба лікарська також представлена в рудеральному флороценоотипі з біологічним запасом 8055 т, що вкотре підтверджує її здатність до зростання в різних умовах. Значні запаси формує лобода біла – 7956,0 т та кропива дводомна – 3726,0 т, що вказує на їхню роль у формуванні рослинного покриву рудеральних екосистем. Важливим представником є полин гіркий, що формує 1926,0 т запасу. Ця рослина має значну цінність у народній медицині, що робить її перспективним видом для подальшого дослідження.

Висновки. Отже, в ході досліджень було виявлено, що лучний, неморальний та рудеральний флороценоотипи НПП «Голосіївський» формують кількісно і якісно різний біологічний запас представлених лікарських рослин. Так, кульбаба лікарська демонструє стабільно високі показники проєктивного покриття у всіх трьох флороценоотипах, що підтверджує її екологічну пластичність. Крім того, цей вид має один із найвищих показників виходу сировини, що забезпечує значний рівень загальної продуктивності незалежно від

місця зростання. Проте, глуха кропива біла та чистотіл великий мають найбільше проєктивне покриття серед неморальних видів, що вказує на їхню високу конкурентоспроможність у лісових екосистемах. Це свідчить також про їхню здатність формувати стабільну біомасу в умовах зниженої освітленості та сталого вологісного режиму. Лучні види, такі як шавлія лучна, суховершки звичайні, чина лучна, грицики звичайні, мають помірне проєктивне покриття (3 бали), що свідчить про їхню рівномірну представленість у лучному флороценоотипі. Їх продуктивність є передбачуваною завдяки стабільним умовам освітлення та структури угруповань, а середній вихід біомаси забезпечує доцільність заготівельної діяльності на таких територіях. Рудеральні види демонструють неоднорідний рівень проєктивного покриття та менший біологічний запас – від високого у лободи білої до низького у щиріці звичайної, що відображає специфіку росту на антропогенно змінених територіях. Умови таких середовищ можуть змінюватись, що впливає на нестабільність продуктивності, хоча окремі види демонструють високий потенціал за сприятливих умов.

Література:

1. Andreichenko Sergii, Didenko Ihor, Amber Artur, Vasylenko Olha. Ecological and economic efficiency of harvesting medicinal plant raw materials. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*. Vol. 10 (2023). P. 113-119.
2. Лакида П.І., Дубровець Б.В., Мельник О.М., Василюшин Р.Д., Бокоч В.В. Киснепродукувальна здатність лісових фітоценозів Національного природного парку «Голосіївський». *Журнал «Лісове і садово-паркове господарство»*. 2019. №15. С. 169-173.
3. Панченко С.М., Горова Я.М., Дяченко Л.Л. Склад та структура лучних фітоценозів в заплаві Десни у зв'язку з їх екосистемною роллю. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія Агрономія і біологія*. 2014. Вип. 9 (28). С. 3-6.
4. Шапошникова А.О., Мойсієнко І.І., Пономарьова А.А. Фіторізноманіття перспективного регіонального ландшафтного парку «Долина курганів» (Херсонська область, Україна). *Природничий альманах. Сер. : Біологічні науки*. 2014. Вип. 20. С. 23-39
5. Прядко О.І., Скільський І.В., Василюк О.В. Літопис природи Національного природного парку «Голосіївський». Чернівці : Друк Арт. 2023. Т. 15. С. 64-65.
6. Барбарич А.І., Брадєс Є.М., Вісюлін О.Д., Котов М.І. Визначник рослин України : учбовий посібник. Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного АН УРСР. Київ : Урожай, 1965. 875 с.
7. Гапон С.В. Довідник з геоботаніки. Полтава : ФОП Кулібаба, 2022. 133 с.
8. Заверуха Б.В., Мінарченко В.М. Наукові основи ресурсознавства лікарських рослин. *Український ботанічний журнал*. 2000. Т. 57, № 3. С. 243-249.
9. Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій. *Український ботанічний журнал*. 2003. Вип. 60 (1). С. 6-17.
10. Зузук Б.М., Зузук Л.Б. Ресурсознавство лікарських рослин. Підручник для студентів фармацевтичних факультетів. Вінниця : Нова книга, 2009. С. 48-67.

References:

1. Andreichenko, S., Didenko, I., Amber, A., Vasylenko, O. (2023). Ecological and economic efficiency of harvesting medicinal plant raw materials. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*, Vol. 10, pp. 113-119.
2. Lakida, P.I., Dubrovets, B.V., Melnyk, O.M., Vasilyshyn, R.D., Bokoch, V.V. (2019). Kysneproduktsiynе zdatnist' lisovykh fitotsenoziv Natsional'noho pryrodnoho parku "Holosiivskyi" [Oxygen-producing capacity of forest phytocoenoses of the Holosiivskyi National Nature Park]. *Lisove i sadovo-parkove hospodarstvo – Forestry and Landscape Gardening*, no. 15, pp. 169-173 [in Ukrainian].
3. Panchenko, S.M., Horova, Ya.M., Dyachenko, L.L. (2014). Sklad ta struktura luchnykh fitotsenoziv v zaplavi Desny u zv'yazku z yikh ekosystemnoyu rollyu [Composition and structure of meadow phytocoenoses in the Desna floodplain in connection with their ecosystem role]. *Visnyk Sums'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Ser.: Ahronomiia i biolohiia – Bulletin of Sumy National Agrarian University. Ser.: Agronomy and Biology*, no. 9(28), pp. 3-6 [in Ukrainian].
4. Shaposhnykova, A.O., Moisiienko, I.I., Ponomarova, A.A. (2014). Fitoryznomannittia perspektynoho rehional'noho landsaftnoho parku "Dolyna kurhaniv" (Kherson's'ka oblast', Ukraina) [Phytodiversity of the prospective regional landscape park "Valley of the Kurgans" (Kherson region, Ukraine)]. *Pryrodnychiy almanakh. Ser.: Biolohichni nauky – Natural Almanac. Ser.: Biological Sciences*, (20), pp. 23-39 [in Ukrainian].

5. Pryadko, O.I., Skilskyi, I.V., Vasylyuk, O.V. (2022). Litopys pryrody Natsional'noho pryrodnoho parku «Holosiivskyi» [Chronicle of Nature of the Holosiivskyi National Nature Park]. Chernivtsi : Druk Art, Vol. 15. pp. 64–65 [in Ukrainian].
6. Barbarich, A.I., Bradis, Ye.M., Visiulin, O.D., Kotov, M.I. (1965). Vyznachnyk roslyn Ukrainy: uchbovyi posibnyk [Plant Identifier of Ukraine: textbook]. Kyiv : Urozhai, 875 p. [in Ukrainian].
7. Gapon, S.V. (2022). Dovidnyk z heobotaniky [Handbook of Geobotany]. Poltava: FOP Kulibaba, 133 p. [in Ukrainian].
8. Zaverukha, B.V., Minarchenko, V.M. (2000). Naukovi osnovy resursoznavstva likarskykh roslyn [Scientific principles of medicinal plant resource science]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal – Ukrainian Botanical Journal*, no. 57(3), pp. 243–249 [in Ukrainian].
9. Shelyag-Sosonko, Yu.R. (2003). Heobotanichne raionuvannia Ukrainy ta sumizhnykh terytorii [Geobotanical zoning of Ukraine and adjacent territories]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal – Ukrainian Botanical Journal*. Vol. 60, no. 1. pp. 6–17 [in Ukrainian].
10. Zuzuk, B.M., & Zuzuk, L.B. (2009). Resursosnavstvo likars'kykh roslyn: Pidruchnyk dlia studentiv farmatsevtichnykh fakultetiv [Resource science of medicinal plants: A textbook for students of pharmaceutical faculties]. Vinnytsia : Nova Knyha, pp. 48-67 [in Ukrainian].

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ СМІТТЄЗВАЛИЩ НА ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ: ОЦІНКА ТА ШЛЯХИ МІНІМІЗАЦІЇ

Домусчи Світлана Василівна,

PhD, вчитель фізики

Кулевчанського опорного закладу-ліцею з початковою школою та гімназією
Кулевчанської сільської ради Білгород-Дністровського району Одеської області
ORCID ID: 0000-0003-3375-2682

Тригуб Валентина Іванівна,

кандидат географічних наук,

доцент кафедри географії України, ґрунтознавства і земельного кадастру
Одеського національного університету імені І. І. Мечникова
ORCID ID: 0000-0002-4436-2017

У статті досліджено екологічний вплив несанкціонованих сміттєзвалищ на ґрунтовий покрив, визначено основні забруднювачі та їх вплив на фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунту. Несанкціоновані звалища є джерелом значної кількості токсичних речовин (важкі метали, органічні сполуки, мінеральні солі, мікропластик, тощо). Встановлено, що такі забруднювачі змінюють кислотно-лужний баланс ґрунтів, порушують їхню структуру, зменшують біологічну активність та знижують родючість.

Для оцінки стану ґрунту проведено комплексне дослідження, яке включало аналіз рН, вмісту гумусу, іонний склад водної витяжки та біотестування. Зразки ґрунту відібрано у контрольній зоні, на території сміттєзвалища та на прилеглій присадибній ділянці. Виявлено, що рівень рН у зоні впливу сміттєзвалища підвищений, що може зумовлювати зниження доступності мікроелементів та негативно впливати на ріст рослин. Результати біотестування із використанням гороху посівного (*Pisum sativum* L.) показали, що у забруднених ґрунтах значно зменшується відсоток проростання насіння, а також спостерігається уповільнення росту як надземної, так і підземної частини рослин, що вказує на підвищену токсичність ґрунту внаслідок накопичення забруднювачів.

Для мінімізації негативного впливу несанкціонованих сміттєзвалищ запропоновано комплекс заходів. Одним з яких є рекультивація порушених земель, яка передбачає механічне очищення територій, використання методів біоремедіації та фіторемедіації для природного відновлення ґрунтів. Важливим є впровадження систематичного екологічного моніторингу забруднених територій для своєчасного виявлення змін у стані ґрунтів та вжиття необхідних заходів щодо їхньої рекультивації. Запропоновано також заходи щодо покращення поводження з відходами, включаючи впровадження ефективних методів утилізації, роздільного збирання сміття та переробки відходів. Важливим кроком є підвищення рівня екологічної обізнаності населення, що сприятиме зменшенню кількості стихійних звалищ і збереженню ґрунтового покриву. Враховуючи екологічні ризики, необхідно посилити контроль за діяльністю промислових та побутових секторів, які генерують відходи, та забезпечити ефективну систему екологічного менеджменту на рівні громад і регіонів.

Збереження родючості ґрунтів та екологічної рівноваги вимагає комплексного підходу, що включає наукові дослідження, практичні заходи з очищення та відновлення ґрунтів, а також удосконалення законодавчої бази у сфері поводження з відходами. Результати дослідження можуть бути використані для розробки природоохоронних програм та екологічних стратегій щодо запобігання деградації земель і покращення стану довкілля.

Ключові слова: екологічний стан ґрунту, несанкціоновані сміттєзвалища, забруднення ґрунту, біотестування, рекультивація, важкі метали, біоремедіація, рН ґрунту, мінеральні солі, деградація земель.

Domuschy Svitlana, Trigub Valentyna. Environmental impact of unauthorized landfills on soil cover: assessment and mitigation strategies

The article examines the environmental impact of unauthorized landfills on soil cover, identifying key pollutants and their effects on the physicochemical and biological properties of soil. Unauthorized landfills serve as sources of significant amounts of toxic substances, including heavy metals, organic compounds, mineral salts, and microplastics. It has been established that these pollutants alter the soil's acid-base balance, disrupt its structure, reduce biological activity, and decrease fertility.

To assess soil conditions, a comprehensive study was conducted, including pH analysis, humus content evaluation, ionic composition of the aqueous extract, and biotesting. Soil samples were collected from a control area, within the landfill site, and from an adjacent residential plot. The findings indicate that the pH level in the landfill-affected area is elevated, which may lead to reduced micronutrient availability and negatively affect plant growth. Biotesting using garden pea (*Pisum sativum* L.) revealed a significant decrease in seed germination rates and inhibited growth of both aerial and root parts in contaminated soils, indicating increased toxicity due to pollutant accumulation.

A set of measures has been proposed to minimize the negative impact of unauthorized landfills. One key approach is the reclamation of degraded lands, involving mechanical site cleanup and the application of bioremediation and phytoremediation techniques to facilitate natural soil restoration. Systematic environmental monitoring of contaminated areas is essential for timely detection of changes in soil conditions and implementation of appropriate reclamation strategies.

Additional measures to improve waste management practices have been suggested, including the introduction of effective waste disposal methods, separate waste collection, and recycling. Raising public environmental awareness is a crucial step toward reducing the number of illegal dumpsites and preserving soil cover. Given the ecological risks, stricter control over industrial and household waste-generating activities is necessary, along with the development of an efficient environmental management system at the community and regional levels.

The preservation of soil fertility and ecological balance requires a comprehensive approach that integrates scientific research, practical measures for soil remediation and restoration, and improvements to the legislative framework for waste management. The study's findings can be used to develop conservation programs and environmental strategies aimed at preventing land degradation and enhancing environmental conditions.

Key words: soil ecological state, unauthorized landfills, soil contamination, biotesting, reclamation, heavy metals, bioremediation, soil pH, mineral salts, land degradation.

Вступ. Забруднення ґрунтів є однією з ключових екологічних проблем сучасного світу, що впливає на якість життя людей, стан довкілля та перспективи сталого розвитку суспільства. У багатьох країнах, включаючи Україну, питання ефективного поводження з відходами залишається нерозв'язаним через брак належної інфраструктури, низький рівень екологічної культури населення та недосконалість законодавчої бази.

Одним із найнебезпечніших джерел забруднення ґрунту є несанкціоновані сміттєзвалища, що утворюються внаслідок хаотичного скидання відходів у непризначених для цього місцях. Такі звалища містять широкий спектр забруднювачів: органічні відходи, пластик, важкі метали, токсичні хімічні сполуки та інші шкідливі речовини, які поступово проникають у ґрунт, змінюючи його фізико-хімічні характеристики.

Ґрунтовий покрив є життєво важливим компонентом екосистеми, що виконує низку важливих функцій: регулює біогеохімічні цикли, підтримує родючість земель, впливає на якість питної води та атмосферного повітря. Однак його забруднення може мати довготривалі негативні наслідки, включаючи втрату продуктивності ґрунту, деградацію земель та порушення природних біоценозів.

Дослідження впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на стан ґрунтів є важливим завданням сучасної екологічної науки, оскільки результати таких досліджень можуть бути використані для розробки ефективних заходів з відновлення забруднених земель та мінімізації негативного впливу відходів на довкілля.

Проблема забруднення ґрунтів несанкціонованими сміттєзвалищами досліджується не лише вітчизняними, а й зарубіжними науковцями. У міжнародній практиці велика увага приділяється оцінці впливу відходів на фізико-хімічні властивості ґрунту, біологічну активність мікроорганізмів, а також методам відновлення деградованих земель.

Al-Khatib et al. [15] вивчали вплив несанкціонованих сміттєзвалищ на навколишнє середовище в країнах, що розвиваються. Вони зазначають, що значна частина токсичних відходів, зокрема важкі метали та органічні сполуки, проникає в ґрунтові води та спричиняє серйозні екологічні ризики.

У дослідженні Smith [18] проаналізовано довготривалий вплив полігонів твердих побутових відходів на родючість ґрунтів. Вчений підкреслює, що накопичення органічних та неорганічних забруднювачів може призводити до змін у структурі ґрунту та зменшення його продуктивності.

Zhang et al. [19] зосередили увагу на впливі пластикових відходів на структуру та водопроникність ґрунтів. Їхні дослідження доводять, що мікропластик може змінювати пористість ґрунту, що впливає на доступність води та поживних речовин для рослин.

Одним із ефективних підходів до відновлення забруднених ґрунтів є біоремедіація та фіторемедіація. Khan et al. [17] досліджували використання рослин для видалення важких металів з ґрунту. Вони встановили, що такі культури, як гірчиця (*Brassica juncea*) та соняшник (*Helianthus annuus*), здатні акумулювати значні концентрації токсичних речовин.

Huang et al. [16] розглядали мікробні методи очищення ґрунтів і наголошували, що використання спеціалізованих бактерій та грибів сприяє розкладу токсичних органічних сполук та прискорює процеси природного відновлення ґрунту.

Отже, аналіз міжнародних досліджень підтверджує, що проблема забруднення ґрунтів несанкціонованими сміттєзвалищами є глобальною. Зарубіжні науковці пропонують ефективні методи оцінки та відновлення деградованих земель, зокрема через біоремедіацію, фіторемедіацію та застосування мікробних технологій. Включення цих підходів у практику екологічного управління дозволить зменшити негативний вплив відходів на навколишнє середовище.

У дослідженні вітчизняного вченого Губарева В. М. [3] приділяється увага екологічній безпеці ґрунтів у зонах впливу відходів. Вчений зазначає, що несанкціоновані звалища є основним джерелом важких металів, які здатні накопичуватися в ґрунті протягом тривалого часу, негативно впливаючи на його властивості.

У роботі Білан О. Ю. [1] висвітлюється проблема сміттєзвалищ в Україні, їх вплив на екологічний стан регіонів та перспективи вирішення цієї проблеми. Автор наголошує, що через відсутність належного контролю кількість несанкціонованих звалищ постійно зростає, що спричиняє значні екологічні ризики.

Методи біотестування забруднених ґрунтів, які дозволяють оцінити їх токсичний вплив на рослинність, детально розглядаються у працях Мельника А. В. [12]. Вчений доводить, що біотестування є ефективним інструментом оцінки екологічного стану ґрунтів, оскільки дозволяє швидко виявляти негативний вплив забруднювачів на ріст і розвиток рослин.

Дослідження Сидоренко Н. М. [14] присвячене оцінці впливу полігонів твердих побутових відходів на фізико-хімічні властивості ґрунтів. Авторка зазначає,

що поблизу полігонів відбувається інтенсивне накопичення нітратів, фосфатів і важких металів, що може призводити до вторинного забруднення ґрунтових вод.

У роботі Ковальчука І. О. [11] аналізується вплив промислових відходів на родючість ґрунтів у зонах техногенного навантаження. Вчений звертає увагу на те, що в умовах тривалого впливу токсичних елементів відбувається поступове зниження біологічної активності ґрунтових мікроорганізмів, що ускладнює природні процеси самоочищення.

Петренко В. Г. [13] досліджує проблеми рекультивації земель після впливу сміттєзвалищ і наголошує на необхідності використання фітореMediaції як одного з екологічно безпечних методів відновлення ґрунтового покриву. Автор наводить результати експериментальних досліджень із застосуванням біоенергетичних культур (верба, міскантус), які сприяють очищенню ґрунту від важких металів.

У більшості досліджень акцент робиться на загальнодержавний рівень проблеми, тоді як питання локального забруднення, наприклад, у сільських населених пунктах, вивчено недостатньо. Це створює необхідність подальшого вивчення впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на місцеві екосистеми та розробки ефективних заходів з відновлення забруднених територій.

Метою даної роботи є оцінка впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на ґрунтовий покрив села Кулевча Білгород-Дністровського району Одеської області, визначення основних забруднювачів та їхнього впливу на рослинність за допомогою біотестування.

Матеріали та методи. Дослідження проводилося в селі Кулевча Білгород-Дністровського району Одеської області з метою оцінки впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на стан ґрунтового покриву. Дослідження включало хімічний аналіз ґрунтових зразків, біотестування із використанням рослинної тест-культури та оцінку екологічного ризику, спричиненого забрудненням.

Для реалізації поставлених завдань були обрані три основні ділянки:

1. Парк ім. С. Л. Пілева (контрольна зона) – територія з природною рослинністю та відсутністю впливу сміттєзвалища. Використовується як еталон для порівняння.

2. Сміттєзвалище – зона накопичення побутових та будівельних відходів, що зазнає значного антропогенного навантаження.

3. Присадибна ділянка (100 м від сміттєзвалища) – територія, що знаходиться у потенційній зоні впливу сміттєзвалища, використовується для вирощування рослин.

Відбір проб та їх підготовка для подальших досліджень здійснювався за загальноприйнятими методиками [10]. Зразки ґрунту були відібрані методом конверту з кожної ділянки на глибину 0–20 см.

Визначення фізико-хімічних властивостей досліджуваних ґрунтових зразків проводилося у лабораторії ПНДЛ-4 Одеського національного університету імені І. І. Мечникова. Аналіз ґрунтових зразків включав визначення наступних показників:

- **Вміст гумусу** визначався за методом Тюріна [4].
- **pH ґрунтового розчину** вимірювався потенціометричним методом у водній витяжці [9].
- **Вміст солей** визначався за допомогою водної витяжки та іонного аналізу [5–8].

Біотестування є важливим методом оцінки екологічного стану ґрунту, оскільки дозволяє визначити його токсичність шляхом аналізу росту та розвитку тест-культури. У даному дослідженні було використано горох посівний (*Pisum sativum* L.) як чутливий біоіндикатор, а визначені показники дозволили оцінити рівень впливу забруднення ґрунту на рослини [2].

Біотестування включало визначення наступних показників:

- **Відсоток проростання насіння (%)**, який показує загальний вплив ґрунту на схожість рослин. Зниження цього показника вказує на токсичність ґрунту.
- **Довжина надземної частини (см)**, яка відображає ріст пагонів. Їхнє скорочення свідчить про несприятливі умови.
- **Довжина кореневої системи (см)** – коріння першими реагують на забруднення. Чим воно коротше, тим сильніший негативний вплив ґрунту.

Дані параметри допомагають оцінити стан ґрунту та його придатність для рослин.

Зазначені визначення оброблялися статистично за допомогою програми Microsoft Excel.

Отримані результати дозволять зробити висновки щодо ступеня забруднення ґрунтів та розробити практичні рекомендації для їх рекультивації.

Результати дослідження. Оцінка фізико-хімічних характеристик ґрунтових зразків дозволила виявити зміни, що відбулися внаслідок впливу несанкціонованого сміттєзвалища.

Реакція ґрунтового середовища (pH) є одним із ключових показників, що визначає його фізико-хімічні властивості, біологічну активність і здатність підтримувати ріст рослин. Від рівня pH залежить доступність мінеральних речовин, активність мікроорганізмів та інтенсивність хімічних реакцій у ґрунті.

В усіх досліджуваних ґрунтових зразках (рис. 1) визначено лужну реакцію середовища (pH > 7). Найвищий рівень (pH=8,15) спостерігався у ґрунті безпосередньо на сміттєзвалищі, що може бути наслідком розкладання органічних відходів, золи, накопичення будівельних матеріалів, які впливають на pH ґрунту. Такий результат відповідає висновкам Сидоренко Н. М. [14], яка зазначає, що у ґрунтах поблизу полігонів твердих побутових відходів відбувається значне підвищення pH, що ускладнює доступність мікроелементів для рослин і порушує біологічну активність ґрунтових мікроорганізмів. Дослідження Zhang et al. [19] також показали, що накопичення пластикових відходів сприяє підвищенню лужності ґрунту, що корелює з нашими результатами.

У ґрунті присадибної ділянки, що розташована на відстані 100 м від сміттєзвалища, рівень pH є найнижчим. У контрольному зразку (паркова зона) рівень pH = 7,57, що відповідає зональним ґрунтам.

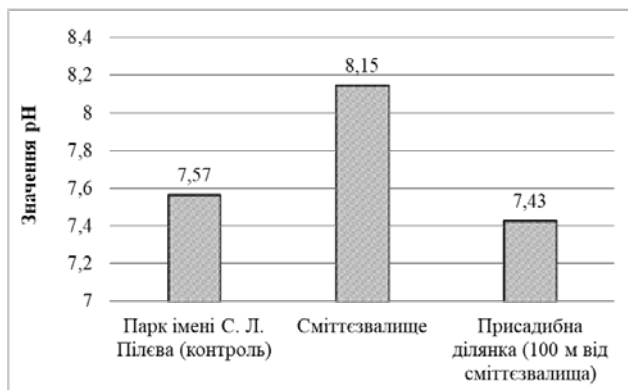


Рис. 1. Реакція середовища досліджуваних ґрунтових зразків

Підвищена лужність ґрунту в зоні сміттєзвалища може призводити до зниження доступності таких важливих мікроелементів, як залізо, марганець, мідь і цинк. Це погіршує живлення рослин і може спричиняти хлороз (жовтіння листя) та уповільнення росту. У ґрунтах із високим рН знижується активність азотфіксуючих бактерій, що може негативно позначитися на рівні родючості. Також у ґрунтах із високою лужністю погіршується структура ґрунтових агрегатів, що може спричинити ущільнення ґрунту та зниження водопроникності.

Гумус є ключовим компонентом ґрунту, що визначає його родючість, водоутримувальну здатність та стійкість до ерозії. Він складається з органічних речовин, які утворюються в результаті розкладання рослинних і тваринних решток під дією мікроорганізмів. Вміст гумусу безпосередньо впливає на продуктивність ґрунту, мікробіологічні процеси та загальну екологічну стійкість земель.

Найвищий рівень гумусу (6,53%) у досліджуваних ґрунтових зразках (рис. 2) зафіксовано на сміттєзвалищі, що свідчить про інтенсивне накопичення органічних залишків із відходів, включаючи харчові продукти, рослинні рештки, папір тощо. Подібні тенденції описані у роботі Губарева В. М. [3], де наголошується, що вміст гумусу у забруднених ґрунтах може тимчасово збільшуватися через накопичення органічних відходів,

але в подальшому спостерігається його деградація через токсичний вплив важких металів та порушення мікробіологічних процесів.

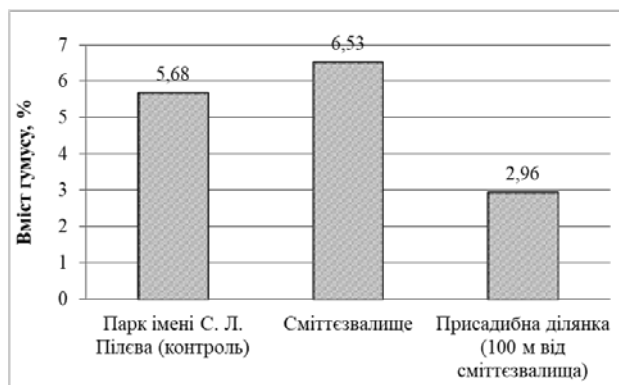


Рис. 2. Вміст гумусу у досліджуваних ґрунтових зразках

У контрольному зразку (паркова зона) вміст гумусу становив 5,68%, що свідчить про стабільний процес гуміфікації, підтриманий природним кругообігом органічних речовин (листя, трава, коріння дерев).

Найнижчий вміст гумусу (2,96%) зафіксовано у присадибній ділянці, що може бути наслідком інтенсивного використання ґрунту без належного поповнення органічної маси (наприклад, через недостатнє внесення органічних добрив або надмірну експлуатацію).

Вміст солей у ґрунті є важливим показником його хімічного складу, що впливає на його родючість, водний режим і загальний екологічний стан.

У досліджуваних ґрунтах (табл. 1) найвищий рівень аніонів (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) було зафіксовано на сміттєзвалищі, що свідчить про накопичення токсичних солей через розкладання відходів (табл. 1).

Серед катіонів найвищий рівень кальцію ($\text{Ca}^{2+} = 0,68$ ммоль/100 г) та натрію ($\text{Na}^+ = 0,15$ ммоль/100 г) також спостерігався на сміттєзвалищі, що пов'язано з будівельними та побутовими відходами. У присадибній ділянці зафіксовано найменшу концентрацію аніонів і катіонів, що вказує на слабший вплив забруднень від сміттєзвалища.

Таблиця 1

Іонний склад водної витяжки ґрунтових зразків с. Кулевча

Місце відбору зразка	HCO_3^-		Cl^-		SO_4^{2-}		Ca^{2+}		Mg^{2+}		Na^+		K^+		Сума солей, %
	ммоль/100 г ґрунту	%	ммоль/100 г ґрунту	%	ммоль/100 г ґрунту	%	ммоль/100 г ґрунту	%	ммоль/100 г ґрунту	%	ммоль/100 г ґрунту	%	ммоль/100 г ґрунту	%	
Парк імені С. Л. Пілева (контроль)	0,43	0,026	0,18	0,006	1,04	0,050	0,52	0,010	0,28	0,003	0,15	0,003	0,70	0,027	0,125
Сміттєзвалище	0,53	0,032	0,32	0,011	1,30	0,062	0,68	0,014	0,32	0,004	0,15	0,003	1,0	0,039	0,165
Присадибна ділянка (100 м від сміттєзвалища)	0,37	0,023	0,14	0,005	0,44	0,021	0,20	0,004	0,12	0,001	0,21	0,005	0,42	0,016	0,075

Результати біотестування досліджуваних ґрунтових зразків

№	Місце відбору зразка	Відсоток проростання насіння, %	Довжина наземної частини паростків, см	Довжина підземної частини паростків, см
1	Парк імені С. Л. Пілева (контроль)	77	4,2	4,05
2	Сміттєзвалище	57	3,42	3,38
3	Присадибна ділянка (100 м від сміттєзвалища)	70	4,14	4,02

Отримані результати дослідження іонного складу збігаються з дослідженнями Ковальчука І. О. [11], який визначив, що в зонах техногенного навантаження часто фіксується підвищений вміст солей через накопичення промислових та будівельних відходів. Водночас у контрольному зразку концентрації цих елементів були значно нижчими, що підтверджує локальний вплив сміттєзвалища.

Для оцінки впливу забруднення на біологічну активність ґрунту було проведено біотестування з використанням насіння гороху, яке є чутливим до токсичних речовин.

Результати біотестування (табл. 2) показали, що найкращі показники проростання насіння гороху та довжини паростків були у контрольному ґрунті (парк ім. С. Л. Пілева), де проросло 77% насіння, а довжина паростків досягала 4,2 см. На сміттєзвалищі проростання було найнижчим (57%), а довжина паростків зменшилася до 3,42 см, що свідчить про токсичний вплив забруднень.

Загалом, результати підтверджують, що несанкціоновані сміттєзвалища погіршують екологічний стан ґрунтів, негативно впливаючи на ріст і розвиток рослин (табл. 2).

Результати проведеного біотестування узгоджуються з дослідженнями Мельника А. В. [12], який довів, що токсичний вплив важких металів і мікропластику спричиняє пригнічення росту рослин. Подібні результати отримали Khan et al. [17], які виявили, що важкі метали, такі як свинець і кадмій, значно знижують схожість рослин та викликають пригнічення росту кореневої системи.

Таким чином, проведене дослідження засвідчило, що навіть невелике сміттєзвалище, яке утворилося лише 8 років назад значною мірою впливає на екологічний стан ґрунтового покриву. Особливо це помітно при проведенні біотестування.

Для мінімізації негативного впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на навколишнє середовище науковці пропонують впроваджувати сучасні технології екологічного моніторингу, рекультивації земель, ефективного поводження з відходами та підвищення екологічної обізнаності населення.

Систематичний моніторинг стану ґрунтів і водних ресурсів можливий завдяки супутниковому зондуванню, встановленню сенсорних датчиків для контролю рівня забруднення та використанню дронів з мультиспектральними камерами для оперативного виявлення проблемних ділянок [16].

Для очищення забруднених територій ефективними методами є біоремедіація та фіторемедіація, що передбачають використання спеціалізованих бактерій, грибів

та рослин, таких як гірчиця (*Brassica juncea*) і верба (*Salix* spp.), які здатні накопичувати важкі метали й токсичні речовини, сприяючи природному відновленню ґрунтів [17].

Хімічні методи, зокрема інкапсуляція важких металів за допомогою фосфатних сполук і промивка ґрунту біорозкладними хелатуючими агентами, також широко застосовуються для локалізації та нейтралізації забруднень [18].

Важливу роль у зменшенні навантаження на сміттєзвалища відіграє комплексна переробка відходів, включаючи механіко-біологічне оброблення (МБТ), що дає змогу розділяти відходи на органічну фракцію для компостування та неорганічні матеріали для вторинної переробки, а також піроліз і газифікація, які дозволяють отримувати синтетичне паливо та електроенергію [15].

Впровадження принципів циркулярної економіки та концепції «Zero Waste» сприяє скороченню кількості відходів шляхом їх багаторазового використання, розширенню програм роздільного збору сміття та запровадженню екологічно безпечних упаковок [19].

Додатково важливими є заходи підвищення екологічної свідомості населення через просвітницькі кампанії та інтеграцію екологічної освіти в навчальні програми, що сприятиме зміні споживчої культури та відповідальному поводженню з відходами.

Посилення державного контролю, запровадження жорсткіших штрафів та відповідальності за несанкціоноване створення сміттєзвалищ є необхідним кроком для запобігання подальшій деградації земель [18].

Комплексний підхід, що об'єднує сучасні технології, ефективне законодавство та активну участь громадян у збереженні довкілля, є ключем до мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних із несанкціонованими сміттєзвалищами, та забезпечення сталого розвитку природних екосистем.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило, що несанкціоновані сміттєзвалища чинять суттєвий негативний вплив на стан ґрунтового покриву. Виявлено значні зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту, зокрема підвищення рівня рН до лужних значень. Зафіксовано також накопичення токсичних солей (аніонів та катіонів), що свідчить про інтенсивний вплив продуктів розкладу відходів на хімічний склад ґрунту.

Біотестування за допомогою *Pisum sativum* L. виявило зниження відсотка проростання насіння, уповільнення росту надземної та кореневої частин у забруднених ґрунтах, що свідчить про наявність токсичних речовин, які суттєво впливають на життєдіяльність рослин та підтверджує непридатність таких ґрунтів для

сільськогосподарського використання без проведення заходів із рекультивції.

З метою мінімізації негативного впливу несанкціонованих сміттєзвалищ на ґрунтовий покрив доцільним є впровадження комплексу заходів, включаючи механічне очищення територій, біоремедіацію, фіторемердіацію, систематичний екологічний моніторинг забруднених ділянок, а також удосконалення системи управління відходами на рівні громад. Важливим

напрямом є підвищення екологічної обізнаності населення щодо наслідків несанкціонованого захоронення відходів і необхідності дотримання принципів сталого природокористування.

Отримані результати можуть бути використані для розробки програм з охорони ґрунтів, планування рекультивацийних робіт і формування екологічної політики щодо запобігання деградації земель, збереження екосистем і покращення якості довкілля.

Література:

1. Білан О. Ю. Вплив несанкціонованих сміттєзвалищ на екологічний стан регіонів України. *Наукові записки екологічної безпеки*. 2019. Т. 3, № 1. С. 112–120.
2. Горова А. І. Біотестування ґрунтів для оцінки їх токсичності. Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів. Київ: НУБіП України, 2012. С. 35–40.
3. Губарев В. М. Екологічна безпека ґрунтів у зонах впливу відходів. *Екологічні проблеми України*. 2020. № 2(45). С. 55–62.
4. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. Чинний від 2005-07-01. К. Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
5. ДСТУ 7908:2015. Якість ґрунту. Визначення хлорид-іона у водній витяжці. Чинний від 2016-07-01. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 10 с.
6. ДСТУ 7909:2015. Якість ґрунту. Визначення сульфат-іона у водній витяжці. Чинний від 2016-07-01. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 7 с.
7. ДСТУ 7944:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів натрію і калію у водній витяжці. Чинний від 2016-09-01. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 6 с.
8. ДСТУ 7945:2015. Якість ґрунту. Визначення іонів кальцію і магнію у водній витяжці. Чинний від 2016-09-01. Київ: УкрНДНЦ, 2016. 7 с.
9. ДСТУ 8346:2015. Якість ґрунту. Методи визначення питомої електропровідності, рН і щільного залишку водної витяжки. Чинний від 2017-07-01. Київ: УкрНДНЦ, 2017. 6 с.
10. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбір проб. Частина 1. Настанови щодо проектування програм відбору проб. Чинний від 2004-12-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 16 с.
11. Ковальчук І. О. Вплив промислових відходів на родючість ґрунтів у зонах техногенного навантаження. *Вісник екології та природокористування*. 2018. № 5(19). С. 66–72.
12. Мельник А. В. Біотестування як метод оцінки токсичності забруднених ґрунтів. *Актуальні проблеми ґрунтознавства та екології*. 2021. № 1(23). С. 78–85.
13. Петренко В. Г. Фіторемердіація як метод рекультивациї ґрунтів після впливу сміттєзвалищ. *Науковий вісник екології та агробіології*. 2022. Т. 2, № 3. С. 45–53.
14. Сидоренко Н. М. Вплив полігонів твердих побутових відходів на фізико-хімічні властивості ґрунтів. *Екологічний вісник України*. 2020. № 4(37). С. 91–98.
15. Al-Khatib I. A., Monou M., Zahra A. S., Shaheen H. Q., Kassinos D. Impact of municipal solid waste landfills on soil and groundwater pollution: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol. 191, No. 11. P. 1–15.
16. Huang L., Tang F., Zhou Q., Zhang Z., Yan Y. Microbial remediation of contaminated soils: principles and applications. *Journal of Environmental Sciences*. 2021. Vol. 101. P. 10–22.
17. Khan S., Rehman S., Khan A. Z., Khan M. A., Tahir Shah M. Phytoremediation potential of plants for heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. P. 13655–13675.
18. Smith S. R. Long-term effects of municipal solid waste landfills on soil properties. *Waste Management*. 2018. Vol. 80. P. 207–219.
19. Zhang D., Luo W., Cheng Y., He Y., Zhang G. Effects of plastic waste on the soil environment: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24, No. 34. P. 27378–27388.

References:

1. Bilan, O. Yu. (2019). Vplyv nesanktsionovanykh smittiezvalyshch na ekolohichniy stan rehioniv Ukrainy [The impact of unauthorized landfills on the ecological state of Ukraine's regions]. *Naukovi zapysky ekolohichnoi bezpeky*, 3(1), 112–120 [in Ukrainian].
2. Horova, A. I. (2012). *Biotestuvannia gruntiv dlia otsinky yikh toksychnosti. In Okhrona navkolyshnoho seredovyshcha ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh resursiv* [Biotesting of soils to assess their toxicity. Environmental protection and rational use of natural resources] (pp. 35–40). Kyiv: NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].
3. Hubarev, V. M. (2020). Ekolohichna bezpeka gruntiv u zonakh vplyvu vidkhodiv [Environmental safety of soils in waste-affected areas]. *Ekolohichni problemy Ukrainy*, (2)45, 55–62 [in Ukrainian].
4. DSTU 4289:2004. (2005). Yakist grunt. Metody vyznachannia orhanichnoi rehovyny [Soil quality. Methods for determining organic matter content]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
5. DSTU 7908:2015. (2016). Yakist grunt. Vyznachennia khlorid-ionu u vodnii vytyazhtsi [Soil quality. Determination of chloride ion in aqueous extract]. Kyiv: UkrNDNC [in Ukrainian].

6. DSTU 7909:2015. (2016). Yakist gruntu. Vyznachennia sulfat-iona u vodnii vytyazhtsi [Soil quality. Determination of sulfate ion in aqueous extract]. Kyiv: UkrNDNC [in Ukrainian].
7. DSTU 7944:2015. (2016). Yakist gruntu. Vyznachennia ioniv natriiu i kaliu u vodnii vytyazhtsi [Soil quality. Determination of sodium and potassium ions in aqueous extract]. Kyiv: UkrNDNC [in Ukrainian].
8. DSTU 7945:2015. (2016). Yakist gruntu. Vyznachennia ioniv kaltsiiu i mahniuu u vodnii vytyazhtsi [Soil quality. Determination of calcium and magnesium ions in aqueous extract]. Kyiv: UkrNDNC [in Ukrainian].
9. DSTU 8346:2015. (2017). Yakist gruntu. Metody vyznachennia pytomoï elektroprovodnosti, pH i shchilnoho zalushku vodnoi vytyazhky [Soil quality. Methods for determining electrical conductivity, pH, and total dissolved solids in aqueous extract]. Kyiv: UkrNDNC [in Ukrainian].
10. DSTU ISO 10381-1:2004. (2004). Yakist gruntu. Vidbir prob. Chastyna 1: Nastanovy shchodo proektuvannia prohram vidboru prob [Soil quality. Sampling. Part 1: Guidelines for the design of sampling programs]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
11. Kovalchuk, I. O. (2018). Vplyv promyslovykh vidkhodiv na rodyuchist gruntiv u zonakh tekhnogennoho navantazhennia [Impact of industrial waste on soil fertility in areas of technogenic pressure]. *Visnyk ekolohii ta pryrodokorystuvannia*, (5)19, 66–72 [in Ukrainian].
12. Melnyk, A. V. (2021). Biotestuvannia yak metod otsinky toksychnosti zabrudnennykh gruntiv [Biotesting as a method of assessing the toxicity of contaminated soils]. *Aktualni problemy gruntознавства ta ekolohii*, 1(23), 78–85 [in Ukrainian].
13. Petrenko, V. H. (2022). Fitohemidiatsiia yak metod rekultyvatsii gruntiv pislia vplyvu smittiezvalyshch [Phytoremediation as a method of soil reclamation after landfill exposure]. *Naukovyi visnyk ekolohii ta ahrobiolohii*, 2(3), 45–53 [in Ukrainian].
14. Sydorenko, N. M. (2020). Vplyv polihoniv tverdykh pobutovykh vidkhodiv na fizyko-khimichni vlastyvoli gruntiv [Impact of solid waste landfills on the physicochemical properties of soils]. *Ekolohichniy visnyk Ukrainy*, 4(37), 91–98 [in Ukrainian].
15. Al-Khatib, I. A., Monou, M., Zahra, A. S., Shaheen, H. Q., & Kassinos, D. (2019). Impact of municipal solid waste landfills on soil and groundwater pollution: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7827-8>.
16. Huang, L., Tang, F., Zhou, Q., Zhang, Z., & Yan, Y. (2021). Microbial remediation of contaminated soils: Principles and applications. *Journal of Environmental Sciences*, 101, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.019>.
17. Khan, S., Rehman, S., Khan, A. Z., Khan, M. A., & Shah, M. T. (2020). Phytoremediation potential of plants for heavy metals: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 13655–13675. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07958-7>.
18. Smith, S. R. (2018). Long-term effects of municipal solid waste landfills on soil properties. *Waste Management*, 80, 207–219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.002>.
19. Zhang, D., Luo, W., Cheng, Y., He, Y., & Zhang, G. (2017). Effects of plastic waste on the soil environment: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(34), 27378–27388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1163-9>.

НЕОРГАНІЗОВАНІ ВОДОЗАБОРИ СУМСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ПИТНОЇ ВОДИ У КРИЗОВИХ СИТУАЦІЯХ: ГЕОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

Луценко Сергій Вікторович,

доктор філософії,
старший викладач кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0001-9250-6700
Scopus Author ID: 57222478619
Web of Science Researcher ID: ABR-9502-2022

Корнус Анатолій Олександрович,

кандидат географічних наук,
доцент, доцент кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0002-5924-7812
Scopus Author ID: 57198508125
Web of Science Researcher ID: O-6053-2015

Корнус Олеся Григорівна,

кандидат географічних наук,
доцент, завідувач кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0001-7469-7291
Scopus Author ID: 57198491514
Web of Science Researcher ID: AAB-6700-2021

Данильченко Олена Сергіївна,

кандидат географічних наук,
доцент, доцент кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0003-2881-843X
Scopus Author ID: 58090023000
Web of Science Researcher ID: ABS-0308-2022

Король Олена Миколаївна,

кандидат педагогічних наук,
доцент, доцент кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0003-0175-3824
Scopus Author ID: 57218827420
Web of Science Researcher ID: GQP-2959-2022

Макаренко Наталія Олексіївна,

Старший судовий експерт групи екологічних досліджень відділу досліджень матеріалів, речовин та виробів
Сумського науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України
ORCID ID: 0009-0000-7653-1877

Герасименко Дар'я Олександрівна,

здобувачка освіти, спеціальність 014 Середня освіта (Географія),
Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0009-0009-7394-0267

У роботі представлено результати дослідження, яке спрямоване на оцінку екологічного стану неорганізованих водозаборів Сумської територіальної громади та їх можливості як резервних джерел питного водопостачання під час військових дій. Після початку повномасштабної агресії російської федерації проти України критична інфраструктура, зокрема об'єкти водопостачання, зазнала значних руйнувань. Довготривалі знеструмлення насосного обладнання ще більше ускладнили ситуацію, створивши загрозу повного припинення централізованого водопостачання. В таких умовах постає необхідність пошуку альтернативних джерел води для забезпечення критичних потреб громади. Аналізуються природні джерела водопостачання, колодязі, індивідуальні свердловини, а також їх доступність для населення. Визначається гідрохімічний склад води, рівень її забруднення та відповідність санітарним нормам. Так встановлено, що вода з шахтних колодязів частково не відповідає ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Актуальність даного дослідження зумовлена тим, що вода є одним із найцінніших природних ресурсів, відіграючи ключову роль у життєвих процесах та підтримці екологічної рівноваги. Стрімке зростання урбанізації, інтенсивний розвиток промисловості, розширення сільськогосподарських угідь, збільшення споживання житлово-побутових послуг населенням, особливо в умовах воєнного стану, створюють серйозні виклики для раціонального водокористування. Водночас зростає рівень забруднення водних ресурсів, що ускладнює їхнє ефективне використання та забезпечення населення якісною питною водою. Отримані результати дозволять розробити рекомендації щодо безпечного використання неорганізованих водозаборів, їх інтеграції в систему екстреного водопостачання та мінімізації екологічних ризиків. Це дослідження сприятиме покращенню стратегічного управління водними ресурсами громади, забезпеченню її жителів чистою питною водою у кризових ситуаціях, а також підвищенню загального рівня екологічної безпеки.

Ключові слова: неорганізовані водозабори, водозабезпечення, шахтний колодязь, свердловина, Сумська територіальна громада, водопостачання.

Lutsenko Serhii, Kornus Anatolii, Kornus Olesia, Danylchenko Olena, Korol Olena, Makarenko Natalia, Herasymenko Daria. Unorganised water intakes of Sumy territorial community as alternative sources of drinking water during military operations: environmental aspects

The paper presents the results of a study aimed at assessing the environmental status of unorganised water intakes of the Sumy territorial community and their potential as backup sources of drinking water supply during military operations. After the start of the full-scale aggression of the Russian Federation against Ukraine, critical infrastructure, including water supply facilities, suffered significant damage. Prolonged power outages of pumping equipment further complicated the situation, creating the threat of a complete cessation of centralised water supply. In such circumstances, there is a need to find alternative sources of water to meet the critical needs of the community. We analyse natural water sources, wells, individual boreholes, and their accessibility to the population. The hydrochemical composition of water, its level of contamination and compliance with sanitary standards are determined. It was found that the water from mine wells partially does not comply with Sanitary and Epidemiological Norms 2.2.4-171-10.

The relevance of this study is due to the fact that water is one of the most valuable natural resources, playing a key role in life processes and maintaining ecological balance. Rapid growth of urbanisation, intensive industrial development, expansion of agricultural land and increased consumption of housing and household services by the population, especially under martial law, pose serious challenges for rational water use. At the same time, the level of water pollution is increasing, which makes it difficult to use water resources efficiently and provide the population with quality drinking water. The findings will allow us to develop recommendations for the safe use of unorganised water intakes, their integration into the emergency water supply system, and minimisation of environmental risks. This study will help improve the strategic management of community water resources, provide clean drinking water to its residents in crisis situations, and increase the overall level of environmental safety.

Key words: unorganised water intakes, water supply, mine well, well, Sumy territorial community, water delivery.

Вступ. Після повномасштабної агресії російської федерації проти України, життя населення та інфраструктура всіх об'єднаних територіальних громад Сумської області суттєво змінилося. Через бойові дії та обстріли Сумської міської об'єднаної територіальної громади (МТГ), було пошкоджено критичні об'єкти водопостачання, що призвело до перебоїв у наданні послуг. Обстріли енергетичної інфраструктури призводили до знеструмлення насосних станцій та очисних споруд, що значно ускладнювало процес подачі та очищення води споживачам [1-2]. Довготривале аварійне знеструмлення об'єктів водопостачання – водозаборів порушувало стабільну роботу системи водозабезпечення громади, внаслідок чого виникала невизначена та довготривала відсутність питної води для населення. Руйнування і знищення обладнання на водозаборах та водопровідних мережах, спонукає до розробки та впровадження альтернативних джерел водопостачання для задоволення критичних потреб в водозабезпеченні мешканців Сумської територіальної громади [1-2].

Проблема водопостачання є надзвичайно актуальною не тільки у військовий, а і у мирний час. Саме тому серед багатьох галузей сучасної науки і техніки, спрямованих на підвищення рівня життя людей, благоустрою населених пунктів і розвитку промисловості, водопостачання займає особливо важливе місце. Водопостачання є комплексом заходів щодо забезпечення водою різних її споживачів. Сьогодні більше половини населення Землі живе в зоні напівпустель і пустель, де хронічно не вистачає питної води [3-4]. Наприклад, переважна більшість населення Азії, Африки та Австралії беруть воду з не організованих джерел водопостачання [3-4], а з простих колодязів. Найчастіше ці колодязі є саморобними. Якість цієї води в основному відповідає 3-4 класу (тобто «забруднена» і «брудна» вода) [3-4].

В Україні, крім централізованого водопостачання, що впроваджене і здійснюється у великих населених пунктах, у не великих громадах, зокрема селах, населення бере воду з колодязів, природних джерел та індивідуально пробурених свердловин. Зі всієї кількості питної

води в Україні, близько 40% складають саме підземні води як глибокого, так і не глибокого залягання [5-6].

Забезпечення населення чистою та безпечною водою має важливе санітарно-гігієнічне значення, оскільки сприяє запобіганню поширенню інфекційних захворювань, що передаються через воду. Достатній рівень водопостачання є ключовим фактором покращення умов життя та підвищення рівня благоустрою населених пунктів [3-4]. Для реалізації цього завдання та забезпечення високої якості питної води, особливо у містах, необхідно здійснювати ретельний відбір природних джерел, ефективно захищати їх від забруднення та застосовувати сучасні методи очищення на водопровідних спорудах [3-4].

Таким чином, правильна організація водопостачання міст має велике санітарно-гігієнічне, екологічне та економічне значення [5-6].

Тому, метою даного дослідження є оцінка екологічного стану неорганізованих водозаборів шляхом встановлення гідрохімічного складу та потенційних можливостей використання неорганізованих водозаборів Сумської територіальної громади як альтернативних джерел питного водопостачання під час військових дій.

Матеріали та методи. Для пошуково-порівняльного дослідження неорганізованих водозаборів Сумської міської територіальної громади нами були застосовані наступні методи дослідження: польові дослідження (візуальне обстеження неорганізованих джерел водопостачання); пошук та аналіз літературних та електронних джерел інформації; узагальнення та систематизація; порівняльно - географічний метод дослідження.

Для експериментального дослідження, тобто визначення фізико-хімічного складу та проведення аналізу води з неорганізованих джерел, нами було застосовано: для визначення у воді іонів заліза (Fe^{2+}) використовувався атомно-абсорбційний аналіз – метод кількісного елементного аналізу по атомних спектрах поглинання (абсорбції) [7-8]; для вимірювання у воді показника рН та хлорид-іонів, нами використовувався потенціометричний метод аналізу; для визначення нітрат-іонів у природних водах ми використовували метод фотометричного аналізу (прилад КФК 2) [7-8]; для визначення жорсткості води було використано візуально-колориметричний метод. Рівень радіоактивності визначався шляхом вимірювання еквівалентної дози за допомогою радіометра МКС-05 «Терра-П» відповідно до методичних рекомендацій [7-9]. Еквівалентна доза, виражена у зівертах, відображає вплив іонізуючого гамма-випромінювання на організм людини. За фонове значення потужності гамма-випромінювання приймалося 0,1 мкЗв/год, а порогове значення – 0,3 мкЗв/год. Відбір проб води здійснювався згідно з відповідними методиками.

Результати дослідження. Перш за все нами, було проаналізовано систему водопостачання Сумської міської територіальної громади. До складу Сумської територіальної громади входять місто Суми і 20 сіл Піщанського, Битицького, Великочернечинського та Стецьківського старостинських округів (рис. 1) [10].

Водопостачання міста Суми забезпечується комунальним підприємством СМР «Сумиводоканал» [10-11]. Вода в м. Суми надходить не з відкритих джерел, а через артезіанські свердловини, які розташовані у різних районах міста (рис. 2). Сільські населені пункти не під'єднані до міської мережі та не мають централізованого водопостачання. Тут здебільшого використовуються індивідуальні колодязі (криниці) та свердловини.

У Сумській територіальній громаді застосовуються кільцеві трубопровідні мережі, які представляють собою систему суміжних замкнутих контурів і кілець (рис. 2) [11].

Питну воду в м. Суми подають шість водозаборів (Лепехівський, Оболонський, Пришибський, Токарівський, Лучанський, Тополянський), які піднімають воду з глибин через 76 артезіанських свердловин. Їх загальна потужність складає 96 тисяч м³ за добу [11]. Але з огляду на військові дії на території Сумської області, руйнування та знищення об'єктів енергетичної інфраструктури (як наслідок довготривале знеструмлення всіх абонентів), підземних водопроводів (аварійні пориви та відсутність водозабезпечення споживачів) постає нагальне питання пошуку альтернативних джерел, перш за все питного водопостачання. Одним із рішень даної задачі може бути використання неорганізованих водозаборів, як альтернативних джерел питної води під час військових дій.

Неорганізований водозабір у Сумській територіальній громаді в основному представлений шахтними колодязями та індивідуально пробуреними дворовими свердловинами, дуже рідко – природними джерелами. Точну кількість даних неорганізованих водозаборів на території громади визначити не можливо, оскільки, лівова частка колодязів та індивідуальні свердловини знаходяться на приватних земельних ділянках та домогосподарствах.

Відповідно до чинних стандартів, питна вода має відповідати епідеміологічним і радіаційним нормам безпеки, бути хімічно нешкідливою та мати належні органолептичні характеристики [7; 8; 11].

Тому нами було проведено дослідження якості води в шахтних колодязях та свердловинах, розташованих у приватному секторі Сумської територіальної громади на відповідність нормативним показникам якості ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [8].

Дослідження санітарно-хімічних показників води проводилося на базі КП СМР «Сумиводоканал» [11], відповідно до державних методик визначених ДСТУ 7525:2014. «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [7].

В таблиці 1 наведені результати аналізу якості води в шахтних колодязях на території Сумської МТГ та нормативні вимоги СанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною» [8].

Як видно з таблиці 1, загальна якість води з шахтних колодязів є не задовільною, оскільки нами було виявлено перевищення нормативів ДСанПіН 2.2.4-171-10

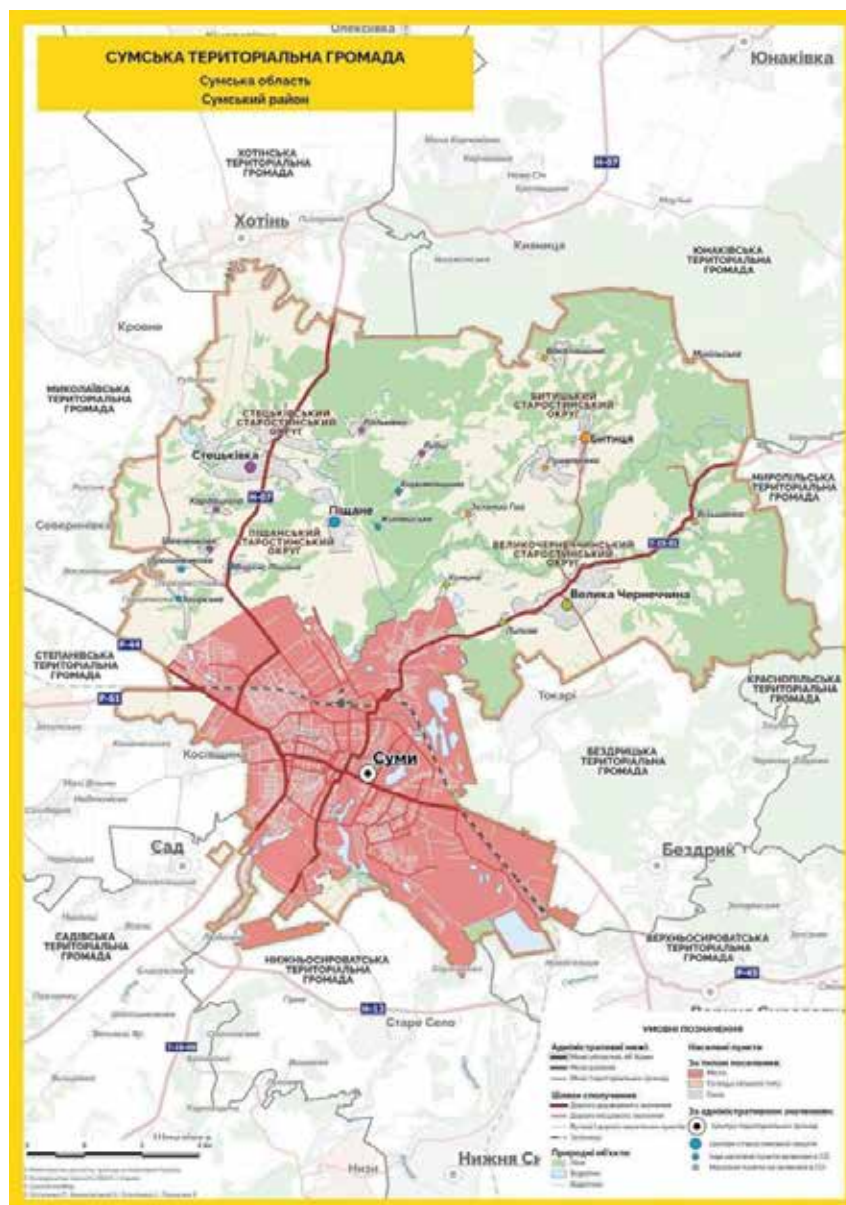


Рис. 1. Карта Сумської міської територіальної громади [10]

Таблиця 1

Результати аналізу якості води з шахтного колодязя на території Сумської МТГ (с. Велика Чернеччина)

Показник, одиниця виміру	Норматив для питної води з колодязів та каптажних джерел	Експериментальні показники
Запах, бали	До 3,0	2
Забарвленість, градус	До 35	15
Смак та присмак, бали	До 3,0	1
Залізо загальне, мг/дм ³	До 0,2 (1,0)	0,38
Загальна жорсткість, ммоль/дм ³	До 7 (10)	22,1
Сульфати, мг/дм ³	До 250 (500)	185
Хлориди, мг/дм ³	До 250 (350)	174,4
Нітрати, мг/дм ³	До 50	54,5
Нітрити, мг/дм ³	До 0,5	Не виявлено
Аміак (NH ₄ ⁺), мг/дм ³	До 2,0	Не виявлено
Водневий показник, одиниці рН	6,5-8,5	7,3
Радіоактивність	0,3 мкЗв/год	0,1

у порівнянні з водою із шахтного колодязя (табл. 1), якість її вище, оскільки не зафіксоване перевищення по вмісту нітратів.

Споживання води з підвищеним рівнем нітратів становить серйозну загрозу для здоров'я. Зокрема, воно є прямим фактором розвитку водно-нітратної метгемоглобінемії у дітей віком до одного року, кількість летальних випадків від якої має тенденцію до зростання [12].

У нашому випадку перевищення норм ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [8] води з шахтного колодязя не є критичним, тому, за погодженням з Держпродспоживслужбою (СЕС) [13] дана вода є частково придатною для вживання населенням в аварійних та критичних ситуаціях. Проте, для дітей, особливо дошкільного віку, краще використовувати воду розливну або бутильовану, як для пиття, так і для приготування їжі [12-13].

Висновки. Враховуючи результати аналізу, можна стверджувати, що колодязна питна вода є частково забрудненою та непридатною для постійного споживання. Нами було виявлено перевищення нормативів ДСанПіН 2.2.4-171-10 за такими показниками: загальна жорсткість 22,1 ммоль/дм³, загальне залізо – 0,38 мг/дм³ та нітрати – 54,5 мг/дм³. Вода зі свердловини має кращу якість, але все одно повністю не відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 за наступними показниками: загальна жорсткість 18 ммоль/дм³ та загальне залізо 0,35 мг/дм³.

Але, враховуючи військовий стан в країні та ведення бойових дій, потенційне короткотривале споживання

такої води, особливо зі свердловин, можливе. Це вимагає впровадження комплексу заходів організаційного, адміністративного та правового характеру, спрямованих на значне покращення якості питної води з шахтних колодязів та свердловин. Серед ключових напрямів роботи – будівництво та прокладання водогонів і водопроводів у районах, де очищення та відновлення колодязів є неможливим, оснащення колодязів та свердловин автономними системами живлення, запровадження систем експрес-аналізу та контролю якості води, інвентаризація альтернативних джерел водопостачання (колодязів, природних джерел та свердловини).

Важливими складовими є проведення просвітницької роботи серед населення громади та застосування правових механізмів впливу на юридичних і фізичних осіб, чия діяльність спричиняє забруднення питної води. Зокрема, це стосується неконтрольованого використання агрохімікатів, стимуляторів росту, мінеральних добрив у сільському господарстві, а також миття транспортних засобів поблизу джерел неорганізованого водозабору територіальної громади.

Подальші дослідження даного питання можуть бути спрямовані на інтеграцію неорганізованих водозаборів у систему екстреного водопостачання громади та визначення експрес-методів очищення води, які можливо застосувати в польових умовах.

Результати дослідження сприятимуть покращенню управління водними ресурсами Сумської територіальної громади, в умовах кризових ситуацій та підвищенню рівня готовності громади до викликів воєнного часу.

Література:

1. Графік відключення електроенергії у Сумській області. Інтернет видання : вебсайт. URL: <https://sumy.energy-ua.info/> (дата звернення 20.09.2024).
2. Суми і район залишилися без світла: що відомо. *TCH*. Інтернет видання: вебсайт. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/sumi-i-rayon-chastkovo-zalishilisya-bez-svitla-scho-vidomo-2672322.html> (дата звернення 04.10.2024).
3. Dolnicar S, Hurlimann A. Drinking water from alternative water sources: differences in beliefs, social norms and factors of perceived behavioural control across eight Australian locations. *Water Sciens and Technology*. 2009. 60(6): P. 1433-1444. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2009.325>
4. Hurlimann A., Dolnicar S. Acceptance of Water Alternatives in Australia. *Water Science and Technology*. 2010. 61(8): P. 2137-2142. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2010.007>
5. Орлов В. О. та інш. Водопостачання та водовідведення: навч. посібник / В. О. Орлов, В. О. Шадура, С. Б. Проценко, А. М. Орлова. Рівне : НУВГП, 2011. 223 с.
6. Тугай, А. М. Водопостачання: Підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов. К. : Знання. 2009. 735 с.
7. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Національний стандарт України. Київ. 2014. URL: http://iccw.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf (дата звернення 10.09.2024).
8. ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Державні санітарні норми та правила. Київ. 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення 10.09.2024).
9. Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П»: керівництво щодо експлуатування ВІСТ.412129.012 КЕ. Львів : ПП «НПЧП» Спаринг-Віст Центр», 2008. 55 с. URL: <http://ecotest.ua/wp-content/uploads/2014/09/Terra-P-Kerivnitstvo-shhodo-ekspluatuvannya1.pdf> (дата звернення: 12.09.2024).
10. Інформаційний портал Сумської міської ради. Офіційний вебсайт. URL: <https://smr.gov.ua/uk/miska-vlada/sumska-miska-terytorialna-hromada.html> (дата звернення 21.09.2024).
11. КП Сумської міської ради «Міськводоканал». Офіційний вебсайт. URL: <https://vodokanal.sumy.ua/> (дата звернення 03.09.2024).
12. Кобилянський В. Я. Безпека та якість питної води. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції «Вода. Екологія. Суспільство» (Харків, 1–2 жовтня 2020 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. С. 32-35.
13. Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (Держпродспоживслужба). Офіційний вебсайт. URL: <https://dpss.gov.ua/derzhzanepidnaglyad> (дата звернення 01.10.2024).

References:

1. Hrafik vidkliuchennia elektroenerhii u Sumskii oblasti [Schedule of power outages in Sumy region]. Internet vydannia : vebsait. URL: <https://sumy.energy-ua.info/> (accessed: 20.09.2024) [in Ukrainian].
2. Sumy i raion zalyshylysia bez svitla: shcho vidomo [Sumy and the district were left without electricity: what is known]. *TSN*. Internet vydannia : vebsait. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/sumi-i-rayon-chastkovo-zalishilisya-bez-svitla-scho-vidomo-2672322.html> (accessed: 04.10.2024) [in Ukrainian].
3. Dolnicar, S., Hurlimann, A. Drinking water from alternative water sources: differences in beliefs, social norms and factors of perceived behavioural control across eight Australian locations. *Water Sciencs and Technology*. 2009. 60(6): P. 1433-1444. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2009.325>
4. Hurlimann, A., Dolnicar, S. Acceptance of Water Alternatives in Australia. *Water Science and Technology*. 2010. 61(8). P. 2137-2142. DOI: <http://doi.org/10.2166/wst.2010.007>
5. Orlov, V.O. Shadura, V.O., Protsenko, S.B., Orlova A. M. Vodopostachannia ta vodovidvedennia: navch. posibnyk [Water supply and sewerage: textbook]. Rivne : NUVHP. 2011. 223 p. [in Ukrainian].
6. Tuhai, A. M. Vodopostachannia: Pidruchnyk [Water supply:Textbook] / A. M. Tuhai, V. O. Orlov. K. : «Znannia». 2009. 735 p. [in Ukrainian].
7. DSTU 7525:2014. Voda pytna. Vymohy ta metody kontroliuvannia yakosti. Natsionalnyi standart Ukrainy [Drinking water. Requirements and methods of quality control. National standard of Ukraine]. Kyiv, 2014. URL: http://icwc.org.ua/docs/dstu_7525_2014.pdf (accessed: 10.09.2024) [in Ukrainian].
8. DSanPiN 2.2.4-171-10 «Hihiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu» [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla. Kyiv, 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (accessed: 10.09.2024) [in Ukrainian].
9. Dozymetr–radiometr MKS–05 «TERRA–P» [Dosimeter-radiometer MKC-05 ‘TERRA-P’: operating instructions]: kerivnytstvo shchodo ekspluatuvannia VIST.412129.012 KE. Lviv : PP «NPChP» Sparynh–Vist Tsentr», 2008. 55 p. URL: <http://ecotest.ua/wp-content/uploads/2014/09/Terra-P-Kerivnitstvo-shhodo-ekspluatuvannya1.pdf> (accessed: 12.09.2024) [in Ukrainian].
10. Informatsiinyi portal Sumskoi miskoi rady (Sumska MTH) [Information portal of Sumy City Council]. Ofitsiinyi vebsait. URL: <https://smr.gov.ua/uk/miska-vlada/sumska-miska-terytorialna-hromada.html> (accessed: 21.09.2024) [in Ukrainian].
11. KP Sumskoi miskoi rady «Miskvodokanal» [Municipal Enterprise of Sumy City Council ‘Miskvodokanal’]. Ofitsiinyi vebsait. URL: <https://vodokanal.sumy.ua/> (accessed: 03.09.2024) [in Ukrainian].
12. Kobylanskyi V. Ya. Bezpeka ta yakist pytnoi vody [Safety and quality of drinking water]. *Voda. Ekolohiia. Suspilstvo* : Tezy dopovidei ta informatsiini materialy V Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, Kharkiv, 1–2 zhovtnia 2020. Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2020. 182 p. P. 32-35 [in Ukrainian].
13. Derzhavna sluzhba Ukrainy z pytan bezpechnosti kharchovykh produktiv ta zakhystu spozhyvachiv (Derzhprodspozhyvsluzhba) [State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection]. Ofitsiinyi vebsait. URL: <https://dpss.gov.ua/derzh-sanepidnaglyad> (accessed: 01.10.2024) [in Ukrainian].

3. ГЕОГРАФІЯ

УДК 338.48(477.87)+379.8

DOI <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.12>

РЕКРЕАЦІЙНО-ТУРИСТИЧНІ РЕСУРСИ ХУСТСЬКОГО РАЙОНУ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ: ПРОСТОРОВА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ, СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

Карабінюк Микола Миколайович,

кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри фізичної географії та раціонального природокористування,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0001-9852-7692

Scopus Author ID: 57212462541

Web of Science Researcher ID: AAZ-5151-2021

Радиш Ігор Петрович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри геодезії, землеустрою та геоінформатики
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0003-0187-4183

Scopus Author ID: 58249603600

Чиняк Віталія Віталіївна,

Ph.D., асистент кафедри геодезії, землеустрою та геоінформатики
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0002-3471-5632

Scopus Author ID: 58952066300

Лахоцька Еліна Ярославівна,

старший викладач кафедри геодезії, землеустрою та геоінформатики
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0002-7605-350X

Шарга Марина Вікторівна,

магістр географії,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Дослідження охоплює просторову диференціацію природних та історико-культурних об'єктів, оцінку стану туристичної інфраструктури та визначення основних проблем розвитку галузі в Хустському районі Закарпатської області. Особливу увагу приділено орографічним, гідрологічним, бальнеологічним та ін. ресурсам, що формують основу рекреаційно-туристичного потенціалу району. Встановлено, що найперспективнішими об'єктами для розвитку рекреаційно-туристичної діяльності в Хустському районі є гірські масиви (Боржава та Вигорлат-Гутинський хребет), озера та водоспади, осередки поширення термальних та мінеральних вод, а також різноманітні історико-культурні пам'ятки (Хустський, Вишківський та Бронівський замки), сучасні розважальні й лікувально-оздоровчі заклади. Методологія нашого дослідження базується на застосуванні геоінформаційних технологій, за допомогою яких було розроблено сучасну карту основних рекреаційно-туристичних об'єктів Хустського району. У статті також описано основні проблеми, що стримують розвиток рекреаційно-туристичної галузі, зокрема – низький рівень модернізації інфраструктури, незадовільний стан транспортних шляхів, недостатнє використання природоохоронних територій для рекреаційних цілей та відсутність інтегрованої стратегії розвитку. Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до оцінки рекреаційно-туристичних ресурсів району, вперше здійсненому детальному картографуванні основних об'єктів рекреації, а також у розробці пропозицій щодо розширення галузі. Практична значущість результатів нашого дослідження визначається можливістю використання отриманих результатів для оптимізації туристичної політики регіону, розробки нових туристичних продуктів та залучення інвестицій у сферу рекреації для Хустського району.

Ключові слова: туризм, рекреація, ресурси, рекреаційно-туристична діяльність, рекреаційно-туристичний комплекс, Хустський район, Закарпатська область.

Karabiniuk Mykola, Radysh Ihor, Chyniak Vitalia, Lahotska Elina, Sharha Maryna. Recreational and Tourist Resources of Khust District of Transcarpathian Region: Spatial Differentiation, Current Status and Prospects for Use

The study covers the spatial differentiation of natural and historical and cultural sites, assessment of the state of tourism infrastructure and identification of the main problems of the industry development in Khust District of Transcarpathian Region. Particular attention is paid to the orographic, hydrological, balneological and other resources that form the basis of the recreational and tourist potential of the district. It has been established that the most promising objects for the development of recreational and tourist activities in Khust District are mountain ranges (Borzhava and Vyhorlat-Hutytskyi ridge), lakes and waterfalls, centers of thermal and mineral waters, as well as various historical and cultural monuments (Khust, Vyshkiv and Bronivskyi castles), modern entertainment and health care facilities. The methodology of our study is based on the use of geographic information technologies, which were used to develop a modern map of the main recreational and tourist facilities of the Khust District. The article also describes the main problems that hinder the development of the recreational and tourist industry in the district, in particular, the low level of infrastructure modernization, the unsatisfactory condition of transport routes, the insufficient use of protected areas for recreational purposes, and the lack of an integrated development strategy. The scientific novelty of the study lies in an integrated approach to assessing the recreational and tourist resources of the district, the first detailed mapping of the main recreational facilities, and the development of proposals for the expansion of the industry. The practical significance of the results of our study is determined by the possibility of using the obtained results to optimize the tourism policy of the district, develop new tourist products and attract investment in the field of recreation for Khust District.

Key words: tourism, recreation, resources, recreational and tourist activities, recreational and tourist complex, Khust District, Transcarpathian Region.

Вступ. Сучасні процеси формування основних векторів використання ресурсів та налагодження ефективних механізмів управління природокористуванням у територіальних громадах, районах та інших адміністративних одиницях України загострюють необхідність визначення територіальної диференціації природних ресурсів, а також їх стану, запасів та можливостей використання [1; 2; 7; 18]. Сучасні національні виклики і критичні екологічні, економічні та соціальні загрози під впливом війни в Україні вимагають інтенсивну оптимізацію системи природокористування і залучення до використання всіх необхідних ресурсів, в тому числі й рекреаційно-туристичних.

Одним із основних регіонів розвитку рекреації та туризму в Україні є Закарпатська область, яка характеризується значним різноманіттям унікальних природних та історико-культурних об'єктів, наявністю лікувальних ресурсів, колоритними традиціями та звичаями, автентичною кухнею та численними фестивалями тощо [2; 3; 6; 26]. В її центральній частині розміщений Хустський район, який є найбільшим та займає понад 25 % від загальної площі Закарпаття [11]. Для багатого на мінеральні та термальні води, лісові, гідрологічні, орографічні та інші природні ресурси й унікальні історико-культурні об'єкти Хустського району важливим є формування чіткої стратегії розвитку й оптимізації рекреаційно-туристичного комплексу, який належить до ключових сфер його фінансової стабільності та розвитку загалом. Для цього необхідно дослідити сучасний стан та територіальну диференціацію рекреаційно-туристичних ресурсів на території новоствореного Хустського району, а також визначити актуальні проблеми та перспективи їх використання для забезпечення туристичних потреб. Також окремі форми рекреації на території Хустського району також можуть бути використані з метою реабілітації українських військових та цивільного населення, що постраждали в результаті російсько-української війни [9]. З цим пов'язана актуальність систематизації даних про рекреаційно-туристичні ресурси та картографування основних об'єктів досліджуваного району.

Матеріали та методи. Формування сучасного рекреаційно-туристичного комплексу Закарпатської області відбувалося тривалий час в умовах своєрідних історичних подій в регіоні та різноманіття ландшафтів гірського та рівнинного типів. Комплексної наукової праці із системним аналізом рекреаційно-туристичних ресурсів Хустського району Закарпатської області та особливостей їх використання на сьогодні не опубліковано.

Вивчення рекреаційно-туристичних ресурсів Хустського району головним чином проводилося в рамках регіональних досліджень рекреації, туризму та бальнеології в Закарпатті й Українських Карпатах загалом. Зокрема, на особливу увагу заслуговують наукові праці І. Волошина та ін. [2], Г. Щука та Л. Ковальської [26], Й. Гілецького [4], Ф. Шандора та І. Мінкович [24], Я. Кравчука та ін. [13]. Особливості реалізації рекреаційно-туристичної діяльності на території об'єктів природо-заповідного фонду Закарпатської області, в тому числі Карпатського біосферного заповідника в межах Хустського району, вивчали Н. Габчак та ін. [3], М. Карабінюк та ін. [8] тощо.

Також важливе значення для розуміння актуальних на сьогодні економічних та управлінських аспектів рекреаційно-туристичної діяльності в Україні відіграють результати міжнародного наукового дослідження керівництвом Р. Кожухівської [29]. Основні результати аналізу та розробки управлінських рішень для організації рекреаційно-туристичної діяльності на території Національного природного парку «Нижняосульський» потенційно можуть бути використані для розробки ефективних підходів до організації рекреації та туризму в Хустському районі на основі залучення наявних тут об'єктів природно-заповідного фонду. Також актуальними та значущими для визначення забезпеченості екотуристичними ресурсами Закарпатської області та інших регіонів України, у межах існуючих національних і регіональних ландшафтних парків, є результати дослідження Л. Царика, А. Кузишина та П. Царика [31].

На сьогодні суттєво зросла увага науковців до економічних аспектів аналізу рекреаційно-туристичної діяльності та сфери гостинності на території Закарпатської

області [6]. У результаті дослідження В. Чиняк [23], Р. Славіка та ін. [19] проаналізовано динаміку туристичних потоків та відвідування готельних підприємств, що є необхідним для кількісних показників реального стану та рівня розвитку рекреаційно-туристичної привабливості регіону. У 2022 році М. Грабар, О. Пригара та М. Кашка опублікували наукову працю, що присвячена аналізу туристичного потенціалу та перспективам розвитку рекреаційно-туристичної діяльності у межах новоствореного Хустського району [5]. У статті охарактеризовано природний та історико-культурний аспект рекреаційного-туристичного потенціалу, а також описано найпопулярніші туристичні об'єкти та маршрути Хустського району [5]. Ключові екологічні наслідки для довкілля внаслідок реалізації рекреації та туризму на території досліджуваного нами району аналізували О. Пилипович та О. Осійська [16]. З метою вивчення особливостей розвитку туристичного картографування та структури наявних туристичних маршрутів в Карпатському регіоні реалізовано дослідження М. Онищенко та ін. [30]. У результаті було систематизовано принципи та описано методологічні основи картографічного моделювання туристичних маршрутів у Карпатах, детально розглянуто детально особливості оформлення туристичних карт, які охоплюють головню гірську частину території Хустського району [30].

Прогресивним напрямком розвитку рекреаційно-туристичної діяльності є лікувально-оздоровчий та реабілітаційний туризм, який потребує особливих організаційних підходів та наявності своєрідних географічних умов і ресурсів. У наукових дослідженнях А. Олдертон [27] визначено ключові характеристики природного середовища та обґрунтовано їх значення для здоров'я і благополуччя молодих людей з обмеженими можливостями. На основі статистичного аналізу та просторового моделювання регіональної ресурсної та матеріально-технічної бази М. Белобородова, Л. Безугла та О. Гладощук [28] обґрунтували прогресивний методичний підхід до кластеризації лікувально-оздоровчого та реабілітаційного туризму в Україні, згідно якого досліджувана нами територія Хустського району входить до Волинсько-Карпатський регіону другої групи кластеризації, який спеціалізується на санаторно-курортному та реабілітаційному відпочинку з акцентом на в'їзний туризм [28].

Мета нашого дослідження полягає у визначенні різноманіття та просторового поширення основних природних й історико-культурних об'єктів на території Хустського району Закарпатської області, а також аналізі проблем і перспектив розвитку рекреаційно-туристичного комплексу на основі використання місцевих ресурсів. До основних завдань дослідження належить розробка карти основних орографічних, гідрологічних, історико-культурних та інших рекреаційно-туристичних об'єктів району і визначення перспектив їх використання у рекреації та туризмі.

Дослідження сучасного стану та просторової диференціації рекреаційно-туристичних ресурсів Хуст-

ського району ґрунтувалося на використанні комплексу методів пошуку, аналізу та систематизації даних. Основна частина інформації про розміщення та особливості природних й історико-культурних об'єктів району отримано за допомогою опрацювання опублікованих наукових праць та картографічних матеріалів, а також систематизації даних з різноманітних тематичних інтернет-сторінок та платформ рекреаційно-туристичного спрямування. Також у дослідженні використано дані та статистичну інформацію Головного управління статистики в Закарпатській області [20], матеріали та звіти про облік відвідувачів Карпатського біосферного заповідника [10], Національного природного парку «Зачарований край» [15], а також просторову інформацію з відкритих баз даних та ін.

На завершальному етапі нашого дослідження за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення ArcGIS 10.4.1. розроблено якісний картографічний матеріал, що відображає точкове розміщення основних природних та історико-культурних рекреаційно-туристичних об'єктів на території Хустського району. В якості картографічної основи використано один з базових шарів програмного середовища, який візуалізує головню розміщення населених пунктів, транспортної інфраструктури, гідрологічні об'єкти та інші елементи навколишнього середовища.

Результати. Досліджуваний нами Хустський район знаходиться у центральній частині Закарпатської області та охоплює басейни річок Боржава, Ріка та Теребля. Він є найбільшим в області та об'єднує 13 територіальних громад – Хустську, Іршавську, Білківську, Довжанську, Зарічанську, Колочавську, Пилипецьку, Синевирську, Керецьківську, Горінчівську, Драгівську, Міжгірську та Вишківську [11]. Власне гірські масиви (Вигорлат-Гутинський, Боржава та ін.) із глибоко розчленованими схилами та масивними відрогами займають 60 % площі району, що головню покриті лісовою рослинністю (рис. 1). Рівнинна південна частина території Хустського району представлена Верхньотисянською улоговиною та вирізняється слабохвилястим рельєфом зі значним поширенням сільськогосподарських угідь.

Складна геолого-геоморфологічна будова, помірно-континентальний клімат та різноманіття ландшафтних комплексів є сприятливими умовами для розвитку рекреаційно-туристичної діяльності в Хустському районі на основі наявних місцевих природних ресурсів та цікавих об'єктів. Він характеризується особливим поєднанням мальовничих краєвидів, різноманітною культурою та особливою історією краю, яка сильно вплинула на культурну спадщину території. Тут ефективно перемішалися традиції та звичаї різних етнічних груп (українці, угорці, словаки, румуни тощо), які на фоні унікальної природи сприяють інтенсивному розвитку рекреаційно-туристичної діяльності в краї. Досліджувана територія характеризується значним поширенням традиційних ремесел – різьблення по дереву, вишивка, виготовлення народних інструментів, ткацтво з вовни в гірській частині та ін.

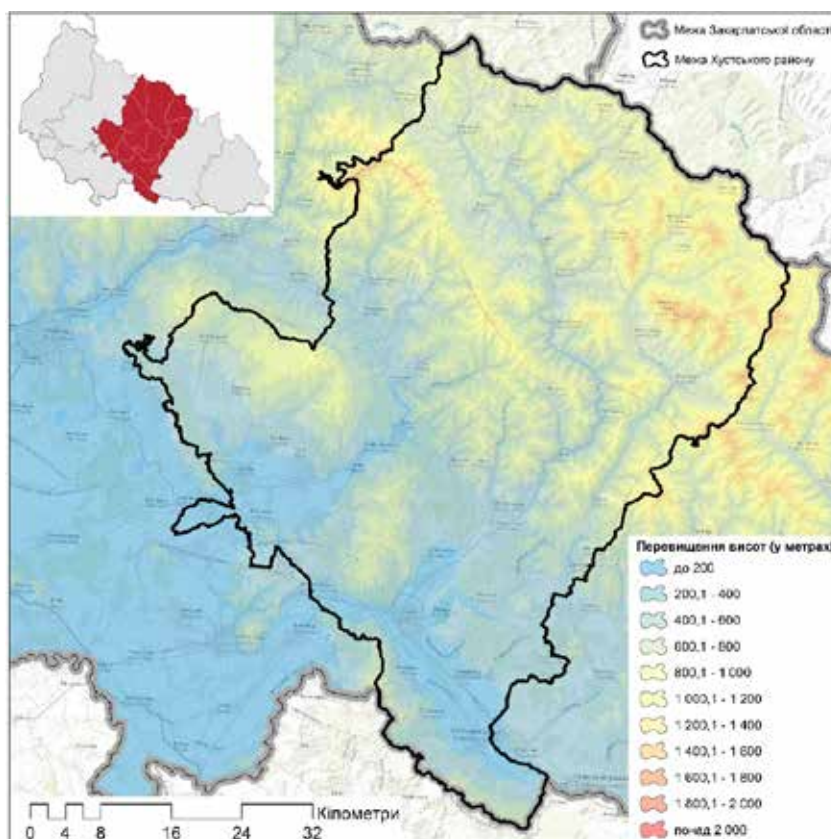
Згідно рекреаційно-туристичного районування Закарпатської області І. Волошина та ін. (2015) Хустський район належить до 2 рекреаційно-туристичних регіонів – північного та центрально-східного [2]. Перший приурочений до гірської місцевості та характеризується домінуванням декількох видів екстремального туризму – пішохідного, лижного, повітряного, спелеологічного, велотуризму та ін. Рівнинна частина району відрізняється суттєво іншою специфікацією рекреаційно-туристичної діяльності, яка тут головним чином зорієнтована на бальнеологію у поєднанні із гастрономічним, етнічним, археологічним та іншими видами туризму із суттєво меншою фізичною активністю. Така структура рекреаційно-туристичного комплексу Хустського району визначена територіальним розподілом ресурсів та рівнем їхнього освоєння. Аналіз свідчить про значне різноманіття рекреаційних об'єктів та ресурсів на території досліджуваного району, які суттєво відрізняються не тільки за походженням, але й за властивостями, рекреаційною ємністю та можливостями використання (рис. 1).

Загалом, рекреаційно-туристичні ресурси доречно аналізувати за основними двома категоріями – природні (гідрологічні, орографічні, ботанічні та ін.) та історико-культурні (сукупність пам'яток матеріальної та духовної культури, які створені у процесі історичного розвитку суспільства на певній території, мають пізнавальну цінність і можуть бути використані для туристичної діяльності) [2, 8]. У результаті систематизації та структуризації інформації про розмі-

щення та особливості рекреаційно-туристичних об'єктів Хустського району за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення нами було розроблено карту точкового розміщення 22 основних рекреаційно-туристичних об'єктів району (рис. 2).

До основних природних рекреаційних ресурсів Хустського району належать орографічні, гідрологічні, лісові, ботанічні та інші рекреаційно-туристичні об'єкти. Орографічні рекреаційно-туристичні ресурси здебільшого є характерними для гірської частини досліджуваного району, зокрема – мальовничі гірські вершини та хребти, які височіють у північній частині Хустського району. Серед них найбільшу атракційність мають гірські масиви Боржави та Вигорлат-Гутинського хребта. Вони характеризуються значним розчленуванням рельєфу та наявністю унікальних локацій, які забезпечують щорічне відвідування даних маршрутів тисячами туристів та відвідувачів. Найбільшу популярність серед них здобула Полонина Боржава, яка вирізняється відносно пологими схилами, транспортною доступністю та наявністю низки туристичних стежок через різні ділянки головного хребта [25].

В цьому регіоні активно розвивається пішохідний туризм переважно у літній період. На території району прокладено ряд маршрутів та шляхів, які забезпечують якісне функціонування туристичної галузі. На масиві Боржава найбільша кількість туристичних потоків зорієнтована в напрямку найвищих вершин – Великий Верх, Гимба, Стій та ін. (рис. 3а).



**Рис. 1. Гіпсометрична карта Хустського району
Закарпатської області**

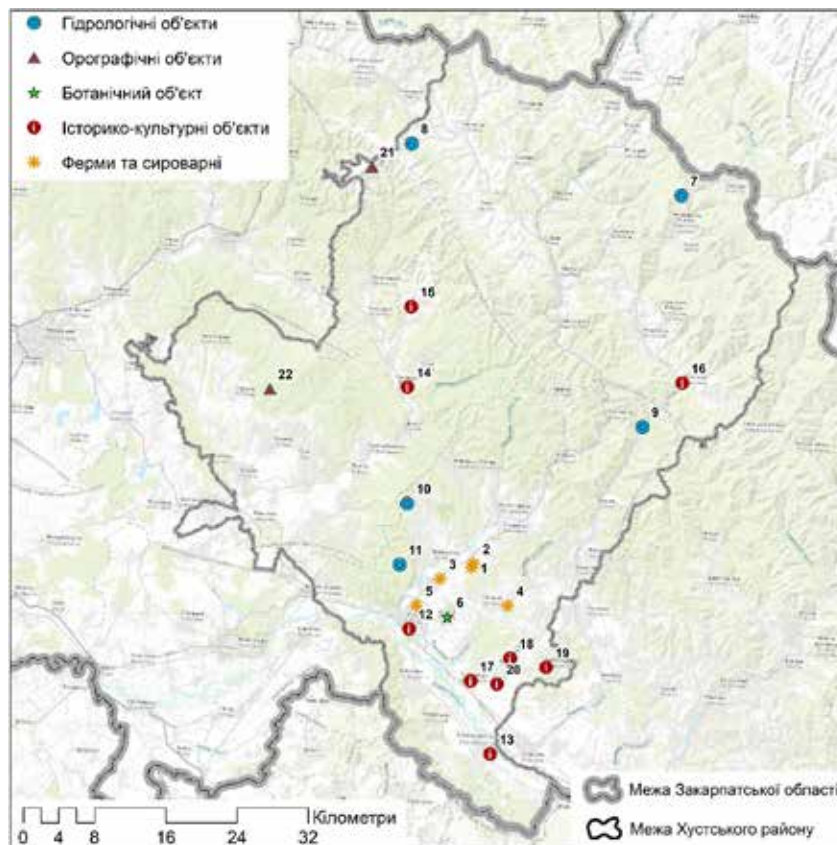


Рис. 2. Карта основних рекреаційно-туристичних об'єктів Хустського району Закарпатської області
Номери об'єктів на карті: 1 – Оленяча ферма, 2 – Равликова ферма, 3 – автентична сироварня «Бараново», 4 – Селиська сироварня, 5 – Страусина ферма, 6 – Долина нарцисів, 7 – озеро Синевир, 8 – водоспад Шипот, 9 – Вільшанське водосховище, 10 – Липовецьке морське око, 11 – водоспад Городилів, 12 – Хустський замок, 13 – Вишківський замок, 14 – Бронівський замок, 15 – кузня-музей «Гамора», 16 – музейний комплекс Колочави, 17 – церква Святого Миколи Чудотворця, 18 – Миколаївська церква, 19 – церква Святої Параскеви, 20 – церква Святого Архистратига Михаїла, 21 – Боржавські полонини, 22 – Смерековий камінь



Рис. 3. Рекреаційні об'єкти Хустського району (фото М. Карабінюка)
а) південні відроги гірського масиву Боржава; б) водоспад Шипот

Важливе значення для розвитку туризму в регіоні також відіграє наявність тут потужного рекреаційного осередку Пилипець, який відомий в якості гірсько-лижного курорту із добре розвинутою логістичною інфраструктурою, а також наявністю цінних природних рекреаційних об'єктів. Зокрема, на північних схилах масиву Боржава також розміщений унікальний гідрологічний об'єкт – водоспад Шипот. Він приурочений до гірського потоку Пилипець, який є притокою річки Рипинка [25]. Він сформувався на основі поперечних виходів потужних пісковикових пластів із незначними прошарками сланців. На сьогодні водоспад є популярним рекреаційно-туристичним об'єктом області, входить до числа найкращих атракцій Закарпаття (рис. 3б).

Інший гірський масив (Вигорлат-Гутинський хребет) характеризується дещо меншим туристичним навантаженням. Він розміщений у західній частині Хустського району та простягається на південь від села Приборжавське в напрямку села Велика Копаня. Його особливістю є те, що він сформований своєрідними вулканічними породами, які також цікаві для організації туристичної діяльності. В центральній частині масиву із вершиною Бужора знаходиться національний природний парк «Зачарований край», що призначений головним чином для охорони букових пралісів та збереження біорізноманіття території [15]. Окрім мальовничих букових лісів та різноманіття ландшафтів, тут розміщена унікальна геологічна споруда та рекреаційно-туристичний об'єкт, що називається Смерековий камінь. Його утворення пов'язане із ерозійною роботою вітру, який впродовж тривалого часу вирізав своєрідні, чудернацькі форми на скелястому піку, що підвищується над покривом букових лісів. Незважаючи на відносно важку доступ-

ність, скельне утворення має високу популярність серед туристів та відвідувачів національного парку [25].

Подібні орографічні рекреаційно-туристичні об'єкти та локації поширені й на інших ділянках Хустського району Закарпатської області, які використовуються для забезпечення рекреації та туризму, відпочинку й дозвілля місцевого населення. Наприклад, до таких об'єктів належить найвища вершина Хустського району – гора Стримба висотою 1719 м н.р.м. Також для туристів та рекреантів добре відомий скельний останець під назвою «Червона скеля» – стрімчак над рікою Ріка [25]. Вона розміщена на східних околицях міста Хуст. Це геологічне утворення отримало свою назву завдяки відслоненню андезитів та андезитових туфів, які інтенсивно озалізнюються та набувають типового кольору вивітрювання. Це скелясте урвище висотою 15 м та довжиною 90-100 м захищене від ерозійного впливу водотоків, а тому визначається тривалою перспективою збереження. Подібні останці у вигляді скель та геологічних утворень поширені на різних ділянках Хустського району, в тому числі в с. Драгово (оголені скелі на березі р. Теремля), с. Велятино (скелі в урочищі «Поточок») та ін.

У структурі рекреаційно-туристичних ресурсів Хустського району особливе місце посідають гідрологічні об'єкти та пам'ятки природи. Окрім вищезгаданого найбільш популярного серед туристів водоспаду Шипот, на території досліджуваного району розміщені ще два водоспади – Городилів та Ніреський [25]. Вони значно поступаються за водністю, але є не менш мальовничими та цікавими. Городилівський водоспад є гідрологічною пам'яткою природи та розташований у водотоці на схилах гірського масиву Тупий.



Рис. 4. Озеро Синевир під час літньої зливи (фото М. Карабінюка)

До найпопулярніших гідрологічних рекреаційних об'єктів Хустського району безперечно належить озеро Синевир (рис. 4). Воно є найбільшим гірським озером в Українських Карпатах та Україні загалом, яке сформувалося у результаті зсуву із гори Красна. На сьогодні воно знаходиться на висоті 989 м н.р.м. із максимальною глибиною близько 24 м. В умовах гірського рельєфу та прохолодного літа вода озера слабо прогрівається, за виключенням невеликої товщі поверхневого шару води глибиною 1-2 м [25]. Синевир є однією із основних візитівок Закарпатської області, а тому щорічно його відвідують тисячі туристів та рекреантів. У результаті значного коливання води в озері у його центральній частині систематично виринає невеликий острів [25].

На території Хустського району знаходиться ще низка озер різного типу, походження та можливостей рекреаційного освоєння. Наприклад, тут розміщені озера Репинне, Віта, Шаянське, Липовецьке та ін. Особливістю останнього, яке ще називають морським оком, є його вулканічне походження та потужне підземне живлення з великих глибин [25]. Інші озера в селі Данилово та Олександріївка – солоні, і є цінними рекреаційними ресурсами для регіону.

Чи не найбільшим природним багатством Хустського району є мінеральні води. Основою для формування різних типів мінеральних вод були морські води древніх басейнів седиментації й атмосферні опади, надходження яких у водомісткі горизонти відбувається і тепер. Частина мінеральних вод утворилась при змішуванні двох основних генетичних типів підземних мінеральних вод. Наслідками процесів перетворення та метаморфізації вод стали вилуговування водомістких порід, збагачення термометаморфічною вуглекислою, біогенними газами, сульфідами, мікрокомпонентами та їх концентрація. Все це зумовило утворення широкою гами мінеральних вод різних типів. Вони активно використовуються для лікування та оздоровлення.

Іншою складовою рекреаційно-туристичних ресурсів Хустського району є різні об'єкти історико-культурної спадщини. Тривала та багата історія району залишила помітний відбиток в культурі та архітектурі краю, тому ми не претендуємо на вичерпний аналіз цих об'єктів, а концентруємо увагу на найважливіших із них. Відтак, основним адміністративним та історико-культурним центром району є місто Хуст. Місто вирізняється багатоманітністю історико-культурною та архітектурною спадщиною, що формувалася протягом століть. Центральною пам'яткою міста є Хустський замок, збудований у XIV столітті, який служив оборонною фортецею та осередком адміністративного управління. Хуст також відомий сакральними спорудами, зокрема реформатською церквою XVI століття (зразок середньовічної архітектури з готичними елементами).

Місто має значне етнокультурне розмаїття, що відображається у традиціях, ремеслах та фольклорі місцевого населення. Роль Хуста в історичних подіях, зокрема проголошенні Карпатської України 1939 року, підкреслює його значення як важливого історичного центру. Сьогодні історико-культурна спадщина міста

є основою для розвитку пізнавального туризму та збереження регіональної ідентичності [12]. До найбільш відомих пам'яток архітектури міста належать:

- Хустський замок – руїни середньовічної фортеці XIV століття, розташованої на горі, яка є символом міста;
- Реформатська церква – храм XVI століття, побудований у готичному стилі, згодом частково перебудований;
- Костел Святого Стефана – католицький храм, що вирізняється своєю історичною та архітектурною цінністю;
- Синагога – історична споруда, яка свідчить про багатокультурну спадщину міста;
- Міська ратуша – будівля XIX століття, що зберегла архітектурні риси періоду Австро-Угорщини;
- Палац графів Шенборнів – історична будівля, пов'язана з аристократичною історією регіону (знаходиться неподалік).

Ці та інші об'єкти є важливими елементами культурного надбання Хуста та туристичними атракціями регіону.

На території Закарпатської області наявні унікальні історико-культурні пам'ятки, до яких в першу чергу належать свідки історії становлення етнічних рис регіону – середньовічні замки. Із 12 середньовічних замків Закарпаття на території Хустського району знаходиться 3 – Хустський (XI-XVIII ст.), Вишківський (XIII-XIV ст.) та Бронівський (XIII-XIV ст.) [21]. Хустський замок збудовано у 1191 р. угорськими королями, який згодом стає осередком важких поєдинків із монголо-татарами, турецькими та іншими військами. Значна частина фортеці згоріла у 1766 р. у результаті влучання блискавки у порохову вежу, що спричинило значне руйнування [12]. Бронецький замок є найменш відомим та вивченим, однак є цікавим об'єктом археологічного туризму. Перші згадки про фортецю датуються 1273 р., а останні за часів короля Ендре III, після чого було втрачено лік часу та дату його знищення. Основна функція Вишківського замку призначалася для контролю за водами р. Тиса та маршрути проходження товару із солотвинських копалень [21]. На сьогодні це цікавий історико-культурний об'єкт, що вкритий таємницями.

Особливе значення для розвитку рекреаційно-туристичної діяльності мають музеї та подібні історико-культурні експонатні виставки. Територія Хустського району характеризується значною кількістю музеїв різного характеру, що свідчить про багатство регіону. У гірській частині району своєрідним центром музейної справи є село Колочава, в якому функціонують 10 музеїв закритого та відкритого типу. Найвідомішими з них є: Скansen «Старе село», Колочавська вузькоколія, Колочавський бокораш, Музей-меморіал воїнам-інтернаціоналістам, Лінія Арпада, Музей Івана Ольбрахта та інші [14].

Також цікавим рекреаційно-туристичним об'єктом є кузня-музей «Гамора» в селі Лисичево. Вона – єдина діюча кузня в Україні водного типу. Це історична XVIII століття, яка збережена на сьогодні в допустимому

стані, що дозволяє організовувати показову роботу. До подібних об'єктів історико-культурного характеру також належать давні дерев'яні церкви в селах Сокирниця, Крайниково, Данилово та Олександрівка Хустського району, які побудовані в готичному стилі [22].

Сучасний етап розвитку рекреаційно-туристичної діяльності на території Хустського району вимагає особливих підходів, що поєднують традиційні види рекреації та туризму із новими, сучасними трендами. Відтак місто Хуст та його околиці із найкращою інфраструктурою інтенсивно розвиваються з точки зору розширення рекреаційно-туристичних послуг. На сьогодні тут створено низку унікальних господарських об'єктів, які спеціалізуються на розведенні екзотичних тварин, утриманні різноманітних свійських тварин із можливістю контактної взаємодії для рекреантів та туристів, виготовленні крафтових виробів та делікатесів. Зокрема, в радіусі 2-3 км від м. Хуст функціонують унікальні рекреаційно-туристичні об'єкти – Оленяча ферма, Равликова ферма, Страусина ферма, автентична сироварня «Бараново» та Селиська сироварня. Також Хустський район відомий своєю природною красою, тут є багато можливостей для відпочинку на природі, таких як піші прогулянки, катання на лижах, рафтинг. Гірська місцевість регіону забезпечує унікальне середовище існування для різноманітних видів рослин і тварин, включаючи ведмедів, вовків і рисей.

Різнноманітність природних та історико-культурних рекреаційних об'єктів забезпечують розвиток рекреаційно-туристичної діяльності в Хустському районі в рамках сформованої на сьогодні ситуації в країні. Цей розвиток також стосується об'єктів та елементів інфраструктури Хустського району. До інфраструктури рекреаційно-туристичного комплексу належать об'єкти, що забезпечують комфорт і доступність для відпочинку та подорожей. Це транспортні мережі (дороги, залізниці, аеропорти), заклади розміщення (готелі, кемпінги, санаторії) та об'єкти харчування (ресторани, кафе). Також до інфраструктури належать рекреаційні заклади (парки, спортивні комплекси) та інформаційно-сервісні центри, що сприяють організації туристичної діяльності.

На території Хустського району також діє десятки готелів та закладів, при яких функціонують ресторани та зали відпочинку. До найпопулярніших серед відвідувачів готелів із статусом юридичної особи належать «Prince», «Премє'ра», «Фокус», «MicheLLe's», «Купецкий Двір», «V&P», «Карпати» та «Атлант» [5]. Усі зазначені заклади забезпечені доступом до мережі інтернет та місцем для паркування приватних автомобілів, що є важливими складовими забезпечення якісного обслуговування гостей в умовах активних подорожей чи короткочасної поїздки регіоном.

Характерною рисою Хустського району є значне поширення мінеральних та термальних вод, які знаходяться в основі бальнеологічного компоненту рекреаційно-туристичного комплексу. Наріжний камінь цих бальнеологічних ресурсів району формують 4 родовища мінеральних вод різних груп: Шаянське, Драгівське, Тисянське та Терелянське. На території дослі-

джуваного району також відомі багаточисельні точкові водопроями мінеральних вод, що становить в загальній сумі 49 свердловин та 42 джерела [17]. Найпоширенішими є хлоридні натрієві води та розсоли. Мінеральні води району загалом можна використовувати для повсякденного пиття, а також для лікування у вигляді приймання ванн та купання в басейнах. Також їх можна використовувати для інгаляцій та виготовлення лікувальних солей. На сьогодні тільки 3 види мінеральних вод (Хижанська, Шаянська та Драгівська) використовуються на розлив та подальшого споживання у пляшках.

На основі мінеральних та термальних вод на території Хустського району сформувалася потужна рекреаційно-туристична інфраструктура з бальнеологічним напрямком. Основними бальнеологічними об'єктами району є санаторії та оздоровчі заклади. Найбільшим із них є ДП «Санаторій Шаян» ПрАТ лікувально-оздоровчих закладів профспілок України (ЛОЗПУ). Курорт «Шаян» розміщений біля підніжжя гір великого, середнього та малого Шаяна на лівому березі р. Тиси. Схили гір вкриті буком, сосною та грабом. Основним фактором ефективного лікування на базі санаторію є наявність ряду джерел мінеральних вод із різними мікроелементами, що характерні для вод «Нарзан», «Боржомі», «Ссентуки 4,17» та ін.

Комплекс «Трембіта» у селі Велятино пропонує лікування та оздоровлення за допомогою мінеральних вод, грязетерапії, масажів, магнітотерапії, галотерапії та інших сучасних процедур, спрямованих на відновлення функцій органів дихання, опорно-рухового апарату та обміну речовин. Готель «Лісова Казка» надає умови для гармонійного відпочинку, пропонує закриту територію серед лісів, басейни, парні, мінеральні бювети та доступ до зимових гірськолижних трас з повним комплексом послуг. Готельно-оздоровчий комплекс «Жива Вода» у селищі Міжгір'я та туристично-оздоровчий табір «Зачарована долина» біля м. Іршава забезпечують різноманітні можливості для релаксації, включаючи соляні кімнати, сауни, чани з мінеральною водою та мальовничі локації поблизу природних заказників [24]. Санаторій «Боржава» у селі Довге поєднує лікувальні фактори гірського клімату, кришталево чисте повітря та спокійний відпочинок на березі однойменної річки.

Розвиток рекреаційно-туристичного комплексу та покращення якості надання послуг в галузі можливий за умови визначення проблемних аспектів, стримуючих негативних чинників на рекреаційно-туристичну діяльність. Її ефективна реалізація можлива в умовах гармонійного поєднання ресурсних та економіко-інфраструктурних факторів. Найбільшою проблемою рекреаційно-туристичної діяльності Хустського району є повільна та затяжна модернізація туристичної та господарської інфраструктури, яка відбувається без систематичного підходу та планової основи. Ситуативні покращення на окремих елементах інфраструктури не здатні вплинути на загальне якісне покращення в галузі. Ці проблеми також стосуються дуже поганого стану транспортної інфраструктури – незадовільний стан

автомобільних доріг, відсутність твердого покриття на значній частині відрізків доріг до цінних рекреаційних об'єктів, відсутність туристичної інфраструктури загального користування за межами охоронних територій чи об'єктів заповідання тощо.

Важливим аргументом для потенційного розвитку рекреаційно-туристичної діяльності в Хустському районі є наявність значної кількості неосвоєних рекреаційних та туристичних ресурсів. У тому числі й базових – бальнеологічних ресурсів. Важливим напрямком оптимізації і розвитку рекреаційно-туристичної галузі в Хустському районі є ширше залучення до діяльності природоохоронні об'єкти, які визначаються високим рекреаційним потенціалом завдяки забезпеченості головно лісовими, орографічними та фауністичними ресурсами. На території досліджуваного нами Хустського району розміщено низка природоохоронних об'єктів найвищого рівня заповідання, зокрема – Карпатський біосферний заповідник, Національний природний парк «Синевир», Національний природний парк «Зачарований край» та декілька заповідник урочищ і заказників загальнодержавного та місцевого рівнів.

Для ефективної реалізації рекреаційно-туристичної діяльності в Хустському районі першочергово необхідно оновити дані та картографічні матеріали рекреаційних зон всіх природоохоронних об'єктів не лише району, а й Закарпаття загалом. Також відчувається гостра потреба удосконалення і розробки нових туристичних маршрутів, а також їх маркування на місцевості та створення цифрових моделей за допомогою сучасних геоінформаційних технологій.

Висновки. У результаті проведеного дослідження вперше систематизовано інформацію та проаналізовано сучасний стан і структуру рекреаційно-туристичного комплексу Хустського району як розширеної у своїх межах одиниці адміністративно-територіального устрою Закарпатської області, а також проаналізовано характер розміщення та особливості основних рекреаційно-туристичних об'єктів. На основі опрацювання та систематизації даних у спеціалізованому програмному середовищі ArcGIS розроблено карту основних рекреаційно-туристичних ресурсів Хустського району Закарпатської області, яка належить до основних результатів нашого дослідження.

Особливістю досліджуваного нами району є унікальне поєднання цінних природних та історико-культурних об'єктів, з яких незначна частина активно використовується в рекреаційно-туристичній діяльності.

До основних та найбільш атраційних рекреаційно-туристичних об'єктів Хустського району на сьогодні належать гірські масиви Боржава та Вигорла-Гутинський хребет з системою вершин (Великий Верх, Гимба, Стій, Бужора, Стримба та ін.), а також озеро Синевир та водоспад Шипот. Вони відображені на всіх паперових та цифрових туристичних картах, а відвідування цих об'єктів включено до програми найпопулярніших туристичних турів в цьому регіоні. З точки зору рекреаційно-туристичного освоєння, до найперспективніших природних об'єктів досліджуваного району належать озеро Репинне, Віта, Шаянське та Липовецьке, Городилівський водоспад та своєрідні геологічні утворення (останці) в долині р. Тиса. Особливою категорією рекреаційно-туристичних ресурсів Хустського району є історико-культурні об'єкти, різноманіття та унікальність яких тут пов'язана з етно-культурними особливостями краю та історичними факторами. Зокрема, тут розміщені унікальні залишки середньовічного замку, церкви в готичному архітектурному стилі, костели, а також низка інших архітектурних пам'яток багатокультурної спадщини району.

В умовах війни та збільшення кількості постраждалих важливим напрямком розвитку рекреаційно-туристичної діяльності в Хустському районі є лікувально-оздоровчий та реабілітаційний туризм, що пов'язано із наявністю унікальних бальнеологічних ресурсів в районі – мінеральних та термальних вод. Їх використання лежить в основі функціонування курортів та санаторіїв, із яких на сьогодні серед відвідувачів найбільшою популярністю вирізняються санаторії «Шаян», «Трембіта», «Жива Вода», «Боржава» та ін.

На сьогодні відчувається гостра потреба у покращенні інфраструктури Хустського району, вдосконаленні і розробці нових тут туристичних маршрутів, а також їх маркуванні на місцевості та цифровізації за допомогою сучасних геоінформаційних технологій. Цей крок може супроводжуватися розширенням рекреаційно-туристичного освоєння території об'єктів природо-заповідного фонду Закарпатської області та району зокрема. Подальша інвентаризація природних ресурсів та різноманітних рекреаційно-туристичних об'єктів може лягти в основу нових туристичних маршрутів, а якісна оцінка та оптимізація системи використання бальнеологічних ресурсів потенційно визначають перспективи впровадження різноманітних реабілітаційних програм для населення та військових в умовах повоєнної відбудови країни.

Література:

1. Бліщук К. М. Сталий розвиток територіальних громад в контексті децентралізаційних змін. *Економічний простір*. 2024. № 190. С. 104–107. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/190-19>
2. Волошин І., Ненько К., Щурокова Р. Туристично-рекреаційний потенціал Закарпаття. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Географія*. 2015. № 1. С. 124–131.
3. Габчак Н. Ф., Дубіс Л. Ф., Мельник А. В., Чир Н. В. Екологічний туризм на природоохоронних територіях Закарпатської області : монографія. Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2018. 392 с.
4. Гілецький Й. Водоспади Українських Карпат як об'єкти пізнавального туризму. *Географія та туризм*. 2013. Т. 26. С. 109–122.

5. Грабар М. В., Пригара О. В., Кашка М. Ю. Туристичний потенціал Хустського району Закарпатської області: перспективи післявоєнного розвитку. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління*. 2022. № 4. С. 1–6.
6. Гринів Л. С., Славів Р. В. Особливості інвестиційного забезпечення рекреаційного комплексу Закарпаття. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Економіка*. 2011. Вип. 2 (34). С. 20–26.
7. Гуцуляк Г. Д., Гуцуляк Ю. Г. Система збалансованого землеволодіння і природокористування в об'єднаних територіальних громадах та принципи її формування. *Збалансоване природокористування*. 2023. № 1. С. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278533>
8. Карабінюк М. М., Буряник О. О., Роман Л., Карабінюк Я. В. Рекреаційно-туристична діяльність у Карпатському біосферному заповіднику: динаміка, сучасний стан та проблеми розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2021. № 35. С. 115–130. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-11>
9. Карабінюк Я. В., Карабінюк М. М. Соціальне здоров'я та критичні загрози: рекреація та туризм як перспективна форма реабілітації населення. *Географія та туризм : матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди* (м. Харків, 28 лютого 2024 р.). Харків: ХНПУ ім. Г. С. Сковороди, 2024. С. 326–331.
10. Карпатський біосферний заповідник. Офіційна сторінка. URL: <https://kbz.in.ua/> (дата звернення 20.01.2025 р.).
11. Карта адміністративно-територіального устрою Закарпатської області. URL: <https://zakarpat-rada.gov.ua/zakarpatyu/adm-ter-podil/> (дата звернення: 23.01.2025 р.).
12. Коваль О. Пам'ятки та місця міста Хуст, які варто побачити. URL: <https://tourinform.org.ua/chust-travel> (дата звернення 21.02.2025 р.).
13. Кравчук Я., Зінько Ю., Хомин Я., Шевчук О. Проектований геопарк «Вулканічні Карпати». *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2012. Вип. 40(2). С. 30–43.
14. Музеї в Колочаві. Інформаційно-туристичний ресурс karpaty.info. URL: <https://www.karpaty.info/ua/uk/zk/kh/kolochava/museums/> (дата звернення 20.02.2025 р.).
15. Національний природний парк «Зачарований край». Офіційна сторінка. URL: <https://zacharovanyikrai-park.in.ua/> (дата звернення 20.01.2025 р.).
16. Пилипович О., Осійська О. Вплив об'єктів сільського туризму на компоненти довкілля Хустського району Закарпатської області. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат та прилеглих територій: мат. доп. XIII наук.-прак. семінару за міжнародної участі, присвяченого 85-річному ювілею проф. Я. Кравчука*. Львів: ГАЛИЧ-ПРЕС, 2023. С. 118–122.
17. Поп С. С. Природні ресурси Закарпаття. 3-є вид., допов. Ужгород: «Карпати», 2009. 340 с.
18. Рожі Т. А. Врахування ландшафтно-ї структури територій громад для раціонального природокористування. *Ландшафтознавство*. 2023. № 4(2). С. 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91>
19. Славів Р. В., Лета В. В., Чиняк В. В. Аналіз динаміки відвідувачів малих та середніх готельних підприємств Закарпатської області в кризових умовах. *Інфраструктура ринку*. 2022. Вип. 67. С. 149–155. DOI: <https://doi.org/10.32843/infrastructure67-26>
20. Статистична інформація. Головне управління статистики в Закарпатській області. URL: <http://www.uz.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 10.12.2024 р.).
21. ТОП-30 туристичних «родзинок» Закарпаття (КАРТА). URL: <https://zak.depo.ua/ukr/zak/top-30-turistichnih-rodzinok-zakarpatya-karta--16012016100300> (дата звернення 21.02.2025 р.).
22. Церкви Закарпаття у готичному стилі – унікальні: аналогів в Україні немає. URL: <https://uzhgorod.net.ua/news/92815> (дата звернення 16.02.2025 р.).
23. Чиняк В. В. Огляд впливу динаміки туристичних потоків на наповненість готельних підприємств Закарпатської області в період 2018–2020 рр. *Індустрія туризму і гостинності в Центральній та Східній Європі*. 2021. Вип. 3. С. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.36477/tourismhospce-3-9>
24. Шандор Ф. Ф., Мінкович І. М. Бальнеологічний туризм. Туристичний маршрут «Мінеральні води Закарпаття» (Ужгород-Плоске-Поляна-Голубине-Свалява-Неліпино-Шаян-Драгово-Сойми-Келечин). *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Економіка*. 2015. Вип. 1 (45). С. 152–156.
25. Шарга М., Легош В., Карабінюк М. Природні рекреаційні ресурси Хустського району Закарпатської області. *Challenges and problems of modern science: Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference*. London: WOC, 2024. P. 1140–1142. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14547859>
26. Шука Г., Ковальська Л. Подієвий туризм в Закарпатті: інвентаризація фестивалів. *Краєзнавство*. 2023. № 3-4 (124-125). С. 98–106.
27. Alderton A., Aitken Z., Hewitt B., Dearn E., Badland H. Characteristics of geographic environments that support the health and wellbeing of young people with disability: A scoping review. *Social Science and Medicine*. 2025. Vol. 370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2025.117842>
28. Bieloborodova M. V., Bezuhla L. S., Hladoshchuk O. G. Recreation and Rehabilitation Clusters in Ukraine: Balanced Spatial Organization. *Rehabilitation and Recreation*. 2024. Vol. 18, Issue 4. P. 107–118. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2024.18.4.11>
29. Kozhukhivska R., Sakovska O., Konieczny G., Kolisnichenko P., Kovalenko L., Naherniuk D. Peculiarities of Tourism and Recreational Activities in Ukraine: Economic and Managerial Aspects. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2024. Vol. 515. P. 209–218. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48479-7_19
30. Onyshchenko M., Ostroukh V., Lepetiuk V., Pidlisetska I. Creation of Tourist Maps Series as a Type of Regional System Tourism Mapping. *Cartographic Journal*. 2022. Vol. 59, Issue 1. P. 69–82. DOI: <https://doi.org/10.1080/00087041.2021.1937827>

31. Tsaryk L., Kuzyshyn A., Tsaryk P. Selected aspects of ecological dimensions of ecotourism development in the networks of national natural and regional Landscape Parks of Ukraine. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska. Sectio B*. 2021. Vol. 75. P. 161–181. DOI: <https://doi.org/10.17951/B.2020.75.0.161-181>

References:

1. Blishchuk, K. (2024). Stalyi rozvytok terytorialnykh hromad v konteksti detsentralizatsiinykh zmin [Sustainable development of territorial communities in the context of decentralization changes]. *Economic Space*, 190, 104–107. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/190-19> [in Ukrainian].
2. Voloshyn, I., Nenko, K., & Shchurokova, R. (2015) Turystychno-rekreatsiinyi potentsial Zakarpattia [The Tourist-Recreational potential of the Zakarpattia Region]. *Scientific Notes Ternopil National Volodymyr Hnatyuk Pedagogical University. Series: Geography*, 1, 124–131 [in Ukrainian].
3. Habchak, N. F., Dubis, L. F., Melnyk, A. V., & Chyr, N. V. (2018). Ekolohichniy turizm na pryrodokhoronnykh terytoriakh Zakarpatskoi oblasti: monohrafiia [Ecological tourism in the protected areas of the Transcarpathian Region: a monograph]. Uzhhorod : UzhNU Publishing House “Hoverla” [in Ukrainian].
4. Hiletskyi Y. (2013). Vodospady Ukrainskykh Karpat yak obiekty piznavalnoho turizmu [Waterfalls of the Ukrainian Carpathians as objects of cognitive tourism]. *Geography and Tourism*, 26, 109–122 [in Ukrainian].
5. Hrabar, M. V., Pryhara, O. V., & Kashka, M. Yu. (2022). Turystychnyi potentsial Khustskoho raionu Zakarpatskoi oblasti: perspektyvy pisliavoiennoho rozvytku [Tourist Potential of Khust District of Transcarpathian Region: Prospects for Post-war Development]. *Problems of modern transformations. Series: economics and management*, 4, 1–6 [in Ukrainian].
6. Hryniv, L. S., & Slavik, R. V. (2011). Osoblyvosti investytsiynoho zabezpechennia rekreatsiynoho kompleksu Zakarpattia [Features of investment support for the recreational complex of Transcarpathia]. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Economics*, 2(34), 20–26 [in Ukrainian].
7. Hutsulyak, G. D. & Hutsulyak, Y. G. (2023). Systema zbalansovanoho zemlevolodinnia i pryrodokorystuvannia v obiednanykh terytorialnykh hromadakh ta pryntsypy yoi formuvannia [The system of balanced land ownership and environmental management in united territorial communities and the principles of its formation]. *Balanced nature management*, 1, 12–17. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278533> [in Ukrainian].
8. Karabiniuk, M., Burianyk, O., Roman, L., & Karabiniuk, Y. (2021). Rekreatsiino-turystychna diialnist u Karpatskomu biosfernomu zapovidnyku: dynamika, suchasnyi stan ta problemy rozvytku [Recreational and Tourist activities in the Carpathian Biosphere Reserve: Dynamics, Current State and Development Problems]. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 35, 115–130. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-11> [in Ukrainian].
9. Karabiniuk, M., & Karabiniuk, Y. (2024). Sotsialne zdorovia ta krytychni zahrozy: rekreatsiia ta turizm yak perspektyvna forma reabilitatsii naseleння [Social health and critical threats: recreation and tourism as a promising form of rehabilitation]. In *Geography and Tourism: Materials of the VII All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference of H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University* (pp. 326–331). Kharkiv : H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University [in Ukrainian].
10. Karpatskyi biosfernyi zapovidnyk. Ofitsiina storinka [Carpathian Biosphere Reserve. Official website]. URL: <https://kbz.in.ua/> (Accessed: 20.01.2025) [in Ukrainian].
11. Karta administratyvno-terytorialnoho ustroiu Zakarpatskoi oblasti [Map of the administrative and territorial structure of the Transcarpathian Region]. URL: <https://zakarpat-rada.gov.ua/zakarpattya/adm-ter-podil/> (Accessed: 23.01.2025) [in Ukrainian].
12. Koval, O. (2018). Pamiatky ta mistia mista Khust, yaki varto pobachyty [Sights and places of Khust worth seeing]. URL: <https://tourinform.org.ua/chust-travel> (Accessed: 21.02.2025) [in Ukrainian].
13. Kravchuk, Ya., Zinko, Yu., Khomyn, Ya., & Shevchuk, O. (2012). Proektovanyi heopark «Vulkanichni Karpaty» [The Volcanic Carpathians Geopark is being designed]. *Visnyk of the Lviv University. Series Geography*, 40(2), 30–43 [in Ukrainian].
14. Muzei v Kolochavi [Museums in Kolochava]. URL: <https://www.karpaty.info/ua/uk/zk/kh/kolochava/museums/> (Accessed: 20.02.2025) [in Ukrainian].
15. Natsionalnyi pryrodnyi park «Zacharovanyi krai». Ofitsiina storinka [National Nature Park «Zacharovanyi krai». Official website]. URL: <https://zacharovanyikrai-park.in.ua/> (Accessed: 20.01.2025) [in Ukrainian].
16. Pylypovych, O., & Osiiska, O. (2023). Vplyv obektiv silskoho turizmu na komponenty dovkillia Khustskoho raionu Zakarpatskoi oblasti [The impact of rural tourism facilities on environmental components in Khust District of Transcarpathian Region]. In *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories: Proceedings of the XIII scientific and practical seminar with international participation, dedicated to the 85th anniversary of Prof. Y. Kravchuk* (pp. 118–122). Lviv: HALYCH PRESS [in Ukrainian].
17. Pop, S. S. (2009). Pryrodni resursy Zakarpattia. 3-ye vyd., dopov. [Natural resources of Transcarpathia. 3rd edition, supplemented]. Uzhhorod: «Karpaty» [in Ukrainian].
18. Rozhi, T. (2023). Vrakhuвання landshaftnoi struktury terytorii hromad dlia ratsionalnoho pryrodokorystuvannia [Accounting of the landscape structure of community territories for rational nature use]. *Landscape Science*, 4(2), 85–91. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2023-4-85-91> [in Ukrainian].
19. Slavik, R. V., Leta, V. V., & Chyniak, V. V. (2022). Analiz dynamiky vidviduvachiv malykh ta serednikh hotelnykh pidpriemstv Zakarpatskoi oblasti v kryzovykh umovakh [Analysis of the dynamics of visitors to small and medium-sized hotel enterprises in the Transcarpathian Region in crisis conditions]. *Market Infrastructure*, 67, 149–155. DOI: <https://doi.org/10.32843/infrastructure67-26> [in Ukrainian].
20. Statystychna informatsiia. Holovne upravlinnia statystyky v Zakarpatskii oblasti [Statistical information. Main Department of Statistics in the Transcarpathian region]. URL: <http://www.uz.ukrstat.gov.ua/> (Accessed: 10.12.2024) [in Ukrainian].

21. TOP-30 turystychnykh «rodzynok» Zakarpattia (KARTA) [TOP-30 tourist highlights of Transcarpathia (MAP)]. URL: <https://zak.depo.ua/ukr/zak/top-30-turystichnih-rodzynok-zakarpattya-karta--16012016100300> (Accessed: 21.02.2025) [in Ukrainian].
22. Tserkvy Zakarpattia u hotychnomu styli – unikalni: analohiv v Ukraini nemaie [Transcarpathian churches in the Gothic style are unique: there are no analogues in Ukraine]. URL: <https://uzhgorod.net.ua/news/92815> (Accessed: 16.02.2025 p.) [in Ukrainian].
23. Chyniak, V. (2021). Ohliad vplyvu dynamiky turystychnykh potokiv na napovnenist hotelnykh pidpriemstv Zakarpatskoi oblasti v period 2018-2020 rr [Overview of the influence of dynamics of tourist flows on the fullness of hotel enterprises of the Transcarpathian Region in the period 2018-2020]. *Tourism and Hospitality Industry in Central and Eastern Europe*, 3, 61-67. DOI: <https://doi.org/10.36477/tourismhospcee-3-9> [in Ukrainian].
24. Shandor, F. F., & Minkovych, I. M. (2015). Balneolohichniy turyzm. Turystychnyi marshrut «Mineralni vody Zakarpattia» (Uzhhorod-Ploske-Poliana-Holubynne-Svaliava-Nelipyno-Shaian-Drahovo-Soimy-Kelechyn) [Balneological tourism. Tourist route «Mineral Waters of Transcarpathia» (Uzhhorod-Ploske-Polyana-Holubynne-Svalyava-Nelipyno-Shayan-Dragovo-Soimy-Kelechyn)]. *Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: Economics*, 1 (45), 152–156 [in Ukrainian].
25. Sharha, M., Lehos, V., & Karabiniuk, M. (2024). Pryrodni rekreatsiini resursy Khustskoho raionu Zakarpatskoi oblasti [Natural recreational resources of Khust District of Transcarpathian Region]. In *Challenges and problems of modern science: Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference* (pp. 1140–1142). London : WOC [in Ukrainian].
26. Shchuka, H., & Kovalska, L. (2023). Podiiyevy turyzm v Zakarpatti: inventaryzatsiia festyvaliv [Event tourism in Zakarpattia: an inventory of festivals]. *Local Lore Studies*, 3-4 (124-125), 98–106 [in Ukrainian].
27. Alderton, A., Aitken, Z., Hewitt, B., Dearn, E., & Badland, H. (2025). Characteristics of geographic environments that support the health and wellbeing of young people with disability: A scoping review. *Social Science and Medicine*, 370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2025.117842>.
28. Bieloborodova, M. V., Bezuhla, L. S., & Hladoshchuk, O. G. (2024). Recreation and Rehabilitation Clusters in Ukraine: Balanced Spatial Organization. *Rehabilitation and Recreation*, 18(4), 107–118. DOI: <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2024.18.4.11>.
29. Kozhukhivska, R., Sakovska, O., Konieczny, G., Kolisnichenko, P., Kovalenko, L., & Naherniuk, D. (2024). Peculiarities of Tourism and Recreational Activities in Ukraine: Economic and Managerial Aspects. *Studies in Systems, Decision and Control*, 515, 209–218. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48479-7_19.
30. Onyshchenko, M., Ostroukh, V., Lepetiuk, V., & Pidlisetska, I. (2022). Creation of Tourist Maps Series as a Type of Regional System Tourism Mapping. *Cartographic Journal*, 59(1), 69–82. DOI: <https://doi.org/10.1080/00087041.2021.1937827>.
31. Tsaryk, L., Kuzyshyn, A., & Tsaryk, P. (2021). Selected aspects of ecological dimensions of ecotourism development in the networks of national natural and regional Landscape Parks of Ukraine. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio B.*, 75, 161–181. <https://doi.org/10.17951/B.2020.75.0.161-181>.

ЕКОЛОГО-ГІДРОЛОГІЧНИЙ СТАН ХРІННИКІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ТА ШЛЯХИ ЙОГО ПОКРАЩЕННЯ

Мисковець Ірина Ярославівна,

кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри екології

Луцького національного технічного університету

ORCID ID: 0000-0001-9248-4919

Scopus Author ID: 57445616000

Web of Science Researcher ID: AIB-9267-2022

Внаслідок послідовного використання водних ресурсів проходять значні зміни в гідроекосфері. Створене водосховище змінює річкові екосистеми, надаючи їм прикмети озерних. Непомірне зарегулювання водотоку внаслідок будівництва каскадів ГЕС зумовлює значні екологічні перетворення. В результаті цього порушується гідрологічний режим водотоку, втрачається цілісність річки, виникають екологічні ризики басейну, змінюється якість води тощо. Ці питання стають все більш гострішими і вимагають наукового обґрунтування, а дослідження набувають високої актуальності. Метою дослідження було покращення якості поверхневих вод і зменшення впливу антропогенного на басейн річки Стир, що дозволить стабілізувати гідрологічний режим та його екологічний стан. У дослідженні використано методи як аналізу, так й синтезу, гідрологічної аналогії, математичної статистики, картографії, ГІС-технологій та порівняльної оцінки ландшафтно-екологічних характеристик. Вивчено екологічну ситуацію екосистеми Хрінниківського водосховища, включно з загальним аналізом його характеристик, ерозійної активності берегів водосховища, екологічних ризиків у басейні та небезпеки, пов'язаної з гідрологічними параметрами. Встановлено, що за останні десятиліття водосховище зазнало значних екологічних змін. Створення водосховища порушило геоморфологічний баланс і активізувало ряд геоморфологічних ризиків. Надмірне зарегулювання стоку води внаслідок будівництва каскадів гідроелектростанцій спричинило значні екологічні зміни і в якості води. Внаслідок цього порушується гідрологічний режим стоку, втрачається цілісність річки Стир, утворюється її поділ на окремі екосистеми. У сучасному середовищі якість води залежить не від природних процесів, а від втручання людини в екосистеми. Особливо небезпечним залишається забруднення стічними водами комунальних і сільськогосподарських підприємств. Крім забруднення вод, актуальною проблемою, що потребує вирішення, є сучасна структура землекористування в басейні водосховища, оскільки надмірне сільськогосподарське освоєння значно скоротило площі природних угідь. Виходячи з аналізу екологічних проблем басейну Хрінниківського водосховища, необхідно встановити водоохоронні зони та захисні смуги вздовж усіх берегів водосховища і здійснити на цих територіях інженерно-біотехнічні заходи.

Ключові слова: антропогенні чинники, якість води, ерозійна активність, захисні смуги, водоохоронні зони, гідротехнічна споруда.

Mykovets Iryna. Ecological and hydrological state of the Khrinnykivsk Reservoir and ways to improve it

As a result of the consistent use of water resources, significant changes occur in the hydroecosphere. The created reservoir changes river ecosystems, giving them the characteristics of lakes. Excessive regulation of the water flow due to the construction of HPP cascades causes significant ecological transformations. As a result, the hydrological regime of the water flow is disturbed, the integrity of the river is lost, environmental risks of the basin arise, water quality changes, etc. These issues are becoming increasingly acute and require scientific justification, and research is becoming highly relevant. The purpose of the study was to improve the quality of surface waters and reduce the impact of anthropogenic load on the Styr River basin, which will allow stabilizing the hydrological regime and its ecological state. The study used methods of analysis and synthesis, hydrological analogy, mathematical statistics, cartography, GIS technologies and comparative assessment of landscape and ecological characteristics. The ecological situation of the Khrinnyky Reservoir ecosystem was studied, including a general analysis of its characteristics, erosion activity of the reservoir banks, environmental risks in the basin and hazards associated with hydrological parameters. It was established that over the past decades the reservoir has undergone significant ecological changes. The creation of the reservoir has disrupted the geomorphological balance and activated a number of geomorphological risks. Excessive regulation of water flow due to the construction of cascades of hydroelectric power plants has caused significant ecological changes in water quality. As a result, the hydrological regime of the flow is disrupted, the integrity of the Styr River is lost, and its division into separate ecosystems is formed. In the modern environment, water quality depends not on natural processes, but on human intervention in ecosystems. Pollution by wastewater from municipal and agricultural enterprises remains especially dangerous. In addition to water pollution, an urgent problem that needs to be solved is the modern land use structure in the reservoir basin, since excessive agricultural development has significantly reduced the area of natural lands. Based on the analysis of the environmental problems of the Khrinnyky Reservoir basin, it is necessary to establish water protection zones and protective strips along all banks of the reservoir and carry out engineering and biotechnical measures in these territories.

Key words: anthropogenic factors, water quality, erosion activity, protective strips, water protection zones, hydraulic structure.

Вступ. Через використання водних ресурсів в гідросфері відбуваються зміни, які можуть впливати на екологічний стан планети. Зокрема, це призводить до виснаження водних запасів, зміни рівнів води, а також порушення природного водного балансу.

Створене водосховище сповна змінює річкові екосистеми, надаючи їм прикмети озерних. Непомірне зарегулювання водотоку внаслідок будівництва каскадів ГЕС зумовлює значні екологічні зміни в довкіллі. В результаті цього порушується режим гідрологічний водотоку, втрачається цілісність річкової системи і вона ділиться на окремі екосистеми.

Територія водосховища є важливою природоохоронною рекреаційною зоною регіонального значення. Створення ландшафтного парку значно покращує імідж цієї місцевості серед туристів і відпочивальників, що, в свою чергу, сприяє розвитку туристичного бізнесу. Крім того, це генерує нові робочі місця для місцевих жителів та підвищує їх усвідомлення щодо меж природокористування, а також забезпечує належний режим охорони парку. Стан водозборів є одним із головних факторів, що визначають водні ресурси, і в таких умовах зростає ризик техногенних катастроф через проблеми з експлуатацією та зношенням технологічного обладнання. Це також вимагає ретельного врахування наслідків реалізації різних проєктів, які можуть ще більше посилити антропогенний вплив на екосистеми водних басейнів. Все це потребує комплексної оцінки басейну водосховища, що за останні десятиріччя зазнав певних змін. Тому ці питання на сучасному етапі набувають особливої актуальності. Наукова новизна полягала в аналізі впливу господарської діяльності на екосистему Хрінниківського водосховища.

Метою роботи є визначення, аналіз та оцінка гео-екологічного стану Хрінниківського водосховища на основі проведених конструктивно-географічних та еколого-гідрологічних досліджень. Це дозволить поліпшити якість води, відновити гідрологічний режим, покращити екологічний стан водосховища та зменшити антропогенне навантаження на його екосистему.

Матеріали і методи досліджень: У роботі використано методи аналізу й синтезу загальної науки, методи гідрології (зокрема, гідрологічної аналогії), математичної статистики, аналізу, картографії, ГІС-технологій та метод порівняльної оцінки ландшафтно-екологічних характеристик. Базу дослідження складають дані (звітні та статистичні) агенства водних ресурсів України, інституту «Волиньводпроект», управління статистики, лабораторії моніторингу вод, Рівненського центру з гідрометеорології та гідрометеорологічної станції Хрінниківської ГЕС (гідроелектростанція), інтернет-ресурси. Для визначення геоморфологічних та гідрологічних особливостей екосистеми водосховища було здійснено аналіз проєктних рішень та актуальних гідрологічних даних, згідно з діючими проєктними і нормативними документами [4, с. 404]. Також проведено дослідження гідрохімічного режиму водосховища та його змін протягом періоду спостережень, на основі даних моні-

рингу, отриманих у результаті лабораторних аналізів, проведених органами екологічного контролю Рівненської області [3, с. 10].

Стан вивчення проблеми. Аспекти оцінки стану поверхневих вод та їх захисту, раціонального використання були розглянуті як вітчизняними, так і закордонними науковцями, включаючи географів, екологів, гідрологів і т. д. Мікробіологічним станом питної води займався С. Яковлев (1991). Він запропонував розраховувати індекс питної води за групою показників. Концепція класифікації поверхневих вод була розроблена Й. Грибом у 1991 році, а методика оцінки річкових басейнів з водогосподарських позицій - А. Яциком (1992). М. Ганущак, В. Хільчевський, М. Забокрицька, О. Кирилук, Я. Мольчак, І. Мисковець, С. Панькевич та інші займалися дослідженням проблеми забруднення поверхневих вод у регіоні. Оцінку добротності води Хрінниківського водосховища провів І. Гопчак. У роботі Ю. Власюка та Д. Стефанишина висвітлено розвиток гідроенергетики в Україні, а також розглянуті теоретичні аспекти формування системи управління та удосконалення екологічного механізму водокористування. Оцінка екологічного стану природних водних систем із застосуванням системного підходу розглянута Fedorovsky A.D., Suhanov K. Yu., Yakimchuk V.G. [9, с. 706].

Актуальність теми обумовлена необхідністю покращення гідрологічного режиму Хрінниківського водосховища та його прибережних територій, які використовуються для гідроенергетики, рекреації та рибництва. Ці території мають великий потенціал для розвитку рекреаційного використання. Хрінниківське водосховище, як основний рекреаційний об'єкт для Рівненської та Волинської областей, відчуває вплив господарської діяльності [5, с. 39].

В даний час антропогенна дія на водну екосистему стає все більш багатофакторною і комплексною [5, с. 40]. Річки, безпосередньо, використовуються у господарській діяльності, для водоспоживання, рекреації, рибному господарстві і інше. Інтенсивне використання води призводить до зменшення режиму річок, сприяє заростанню їх водоростями та може зумовити їх повне зникнення. Це викликає практичний інтерес та стає предметом дослідження [6, с. 97; 9, с. 707]. Тому ці питання на сучасному етапі особливо актуальні.

Результати досліджень. Хрінниківське водосховище побудоване у 1959 році у долині р. Стир, з метою виробництва електроенергії, водозабезпечення регіону та розвитку рекреаційного та рибогосподарського потенціалу [4, с. 406]. Проєкт Хрінницького водосховища, в складі гідровузла, виконаний західноукраїнською філією інституту «Гіпросельлектро» в 1953 р. Рівень води у водосховищі, згідно проєкту, становив 188,3 м. В 1959 р. для електропостачання колгоспів Демидівського району була введена в експлуатацію ГЕС. Хрінниківське водосховище (рис. 1) створено на верхній ділянці р. Стир за 380 км від гирла. Площа водосховища становить 20,5 км². Повний об'єм водосховища 45,0 млн. м³ [2, с. 104].



Рис. 1. Хрінниківське водосховище з висоти пташиного польоту

Вода р. Стир є джерелом водопостачання для водосховища, що становить 20,39 млн. м³. Ширина водосховища (максимальна) – 2,5 км, а глибина (максимальна) – 12,0 м. Площа водного зеркала – 6,03 км². Основна частина води, що поступає у водосховище, проходить через вхідний створ по річці Стир. Проточність у акваторії водосховища незначна. Всі водотоки, що впадають у водосховище, забезпечують водопостачання водосховища на рівні не більше 1–2 % від основного притоку [8, с. 35]. В цілому стік річки Стир та інших водотоків в баланс водних мас Хрінниківського водосховища становлять 97,0 %. З них 95,0 % балансу водних мас, що скидаються, припадає на Хрінниківську ГЕС [8, с. 37].

Відповідно до акту від 28.07.1967 року через інтенсивну зміну берегової лінії на більшій частині водосховища та підтоплення заповідника «Козацькі могили», нормальний підпертий рівень Хрінниківського водосховища був знижений на один метр, до позначки 187,3 м. Такий рівень води зберігався до 1975 року. В результаті цього, у період з 1967 по 1979 рік водосховище не наповнювалось до проектного позначки. У 1994 році, в ході капітального ремонту гідровузла, водосховище було повністю спорожнене до рівня річки, що призвело до значних змін у гідрологічному режимі та екосистемі водосховища. Ці зміни негативно вплинули на навколишнє середовище, зокрема на біорізноманіття прибережних зон та гідрохімічні показники води.

У 1987–1988 роках інститутом Союзгідроводгосп було проведено топографічні вишукування Хрінниківського водосховища з метою уточнення його параметрів і збору вихідних даних для гідрологічних та гідравлічних розрахунків, необхідних для реконструкції гідровузла. При порівнянні отриманих результатів з проектними даними 1953 року було виявлено, що за час експлуатації водосховище зменшилося на 3–4 млн м³ при рівні води 187,3 ± 0,2 м. Це скорочення об'єму пояснюється накопиченням продуктів ерозії берегів та відкладеннями твердих часток, що потрапляють із стічними водами.

Згідно з прогнозами інституту, підвищення рівня водосховища до позначки 188,3 м може спричинити низку негативних наслідків. Зокрема, значно збільшаться об'єми та площі ерозії берегів під впливом хвиль, зросте кількість затоплених лісових та лугових територій, піднімуться ґрунтові води, що призведе до підто-

плення населених пунктів, а також історичних та культурних пам'яток. Крім того, неможливо гарантувати, що при уточненні межі підпору на річці Стир не будуть підтоплені заплавні землі, зокрема на території Львівської області. Тому підняття ґрунтових вод на 1,0 м розглянуто як варіант, який можна буде здійснити тільки після отримання позитивного гідрогеологічного прогнозу.

Довжина водосховища вздовж річки становить 30 км, а його ширина – 600 м. Біля греблі глибина водосховища досягає 6,5 м. Верхня частина водосховища є найвужчою та мілководною, з шириною від 200 до 300 м і глибиною від 0,5 до 1,0 м. У середній частині ширина збільшується до 2,0–2,5 км, а глибина варіюється між 1,5 і 2,0 м. У нижній частині ширина водосховища коливається від 800 до 1200 м, середня глибина – 3,0–3,5 м. Це водосховище відноситься до заплавного типу і розташоване в лісостеповій зоні. Правий берег є похилим, зниженим та плоским, місцями залісненим, тоді як лівий берег характеризується стрімкістю та складним яружно-балковим рельєфом.

У таблицях 1 та 2 наведені характеристики гідротехнічних споруд гідровузла. Основним призначенням Хрінниківського водосховища, введенного в експлуатацію в 1959 році, було забезпечення електроенергії навколишніх населених пунктів [4, с. 406]. На протязі свого функціонування водосховище кілька разів спускалось (спрацьовувалось). Останній раз це було у травні 1989 року, коли провели спрацювання до мертвого об'єму.

Таблиця 1

Характеристика гідротехнічної споруди гідровузла

Споруда	Пропускна здатність, м ³ /с	
	У разі ННП	У разі ФНП
Паводковий водоскид	325	425

Спонукала цьому карстова воронка, діаметром 25 м та глибиною 9 м у нижньому б'єфі, неподалік від греблі. Лише після проведення ремонтних робіт на греблі, водосховище знову наповнили водою (табл. 2).

Потреба в воді для зволоження земель покривається на 100% при забезпеченості водними ресурсами на рівні 75%. Вибір іншого рівня забезпеченості водозбору можливий за умови детального та обґрунтованого розрахунку. Комунальне та промислове водопостачання

Склад і коротка характеристика гідротехнічних споруд гідровузла

Споруда	Місце розташування	Характеристика	Відомча належність
Глуха земляна гребля	Заплава р. Стир с. Хрінники	$l=750\text{м}$, $b=7\text{м}$, $h=9,5\text{м}$	Демидівському комунгоспу
Паводковий водоскид системи Сєнкова	р. Стир, с. Хрінники	$l=39\text{м}$, $h=12,1\text{м}$ 8 водоскидних отворів розміром 5×6 , в тому числі 2 аварійно-ремонтних	6 водоскидних отворів – Демидівському комунгоспу 2 (два) аварійно-ремонтних водоскидні отвори
ГЕС руслового пригреблевого типу	Русло р. Стир, с. Хрінники	Розмір споруди $17,8\times 10\text{м}$. Гідротурбіни – 2 шт. Розрахунковий напір – 4,55 м, Проектна потужність–860кВт	ТОВ "Малий енергетичний комплекс"

забезпечується на 95%. Енергетика забезпечується на 97%, при цьому, коли рівень водосховища опускається нижче 187,3 м, водозабір для РАЕС зменшується з 2,32 м³/с до 1,8–2,12 м³/с, що обумовлено графіками профілактичного ремонту [4, с. 407].

У разі пониження ґрунтових вод до позначки об'єму 184,85 м водоспоживання зменшується на 20 %. Гарантована потужність Хрінниківської ГЕС – 254 кВт забезпечується за середніми зимовими витратами забезпеченістю 90 %, що складає 6,45 м³/с.

У період нересту риби, за винятком випадків пропуску вод під час водопілля та паводків, спрацювання водосховища з інтенсивністю більше 10 см на добу не допускається. Інші вимоги рибного господарства задовольняються в тій частині, що не суперечать вимогам інших учасників водогосподарського комплексу.

Після реконструкції гідровузла водосховище стало використовуватись у комплексному режимі. За останні десятиліття воно зазнало значних екологічних змін. Створення водосховища трансформує похідні процеси та явища в ландшафтах річкової екосистеми. Непропорційне регулювання водного потоку через будівництво каскадів гідроелектростанцій призводить до змін в екосистемі. Це викликає порушення гідрологічного режиму, погіршення води та розподіл водотоку на окремі сегменти, які втрачають свою цілісність. У сучасному середовищі вода (її якість) залежить не від природних процесів, а від втручання в екосистеми антропогенних чинників [7, с. 281]. Особливо небезпечним є забруднення стоками комунальних та сільськогосподарських підприємств.

Генерація води у водосховищі та річці Стир визначається низкою антропогенних факторів. Через непропорційне регулювання водотоку режим річки Стир стає основним джерелом водопостачання. Географічні особливості сприяють формуванню сольового режиму. Рівень водосховища залежить від ландшафтних умов Поліської низовини. Дерново-підзолисті ґрунти та чорноземи забезпечують ґрунтові води мінеральними солями, які живлять річку.

Якість води у водосховищі визначається за сольовим, еколого-санітарним складом, вмістом своєрідних токсичних речовин. У результаті аналізу основних чинників режиму гідрохімічного водосховища та річки Стир у період із 2017 по 2022 роки, значних відхилень від основних досліджуваних показників не встановлено [3, с. 12]. Згідно класифікації за рівнем загальної мінералізації вода водосховища є прісною, олігогалинною, з середнім ступенем мінералізації – 500–1000 мг/дм³ [3, с. 10]. Вода як водосховища, так і у верхів'ї річки Стир належить до гідрокарбонатного класу другого типу кальцієвої групи за йонним складом. За сольовим складом вода відповідає високому класу якості і характеризується як «відмінна», «дуже чиста» [11, с. 4]. Санітарно-гігієнічні показники вказують, що за вмістом азоту вода р. Стир (на всіх контрольних пунктах, окрім с. Набережне) відноситься до категорій «дуже забруднена», «дуже погана». Головною причиною такого стану є інтенсивна евтрофікація [10, с. 17]. Специфічні речовини (мідь, залізо, марганець, цинк) мають назву пріоритетних токсикантів, тому що їх поява в поверхневих водах спричинена природними особливостями і народногосподарським спрямуванням. Зокрема, стоки підприємств хімічної промисловості та використання добрив спричиняють появу сполук міді у воді. Залізо потрапляє з дренажними водами меліоративних систем, а також із стоками різних підприємств [3, с. 97]. Стоки підприємств із виробництва паперу, добрив, підприємств машинобудівної і електротехнічної промисловості, сільськогосподарське використання земель спричиняють появу цинку, який порушує активність ряду ферментів в організмі живих істот, уповільнює темпи їх росту, знижує плодючість [12, с. 360].

Дослідження показали, що відповідно класифікації за рівнем загальної мінералізації вода у водосховищі була з помірним вмістом мінералів (600–650 мг/дм³), а твердість дещо підвищеною, становлячи $6,42 \pm 0,41$ мг-екв/дм³ у водосховищі та $5,45 \pm 0,19$ мг-екв/дм³ у річці Стир [3, с. 10]. Значення рН не демонстрували

різких коливань: у річці воно було нейтральним, а у водосховищі – слабо лужним. Концентрація фосфору та азоту була однаковою, що є характерним для чистої води, за винятком нітратів. Підвищення рівня нітратів пов’язане зі зливом речовин з сільськогосподарських угідь, розташованих на прилеглих територіях. Аналізуючи залежність між розчиненим киснем у воді та її прозорістю, можна побачити, що зниження прозорості призводить до зменшення вмісту кисню. Це пояснюється тим, що в першій половині року накопичуються органічні речовини, а в другій – їх розклад, що спричиняє інтенсивне споживання кисню.

У літній період розчинений кисень у воді на 3-4 метрах може бути критично низьким, що створює загрозу кисневого голодування для риби, що, в свою чергу, може призвести до її масової загибелі (Рис. 2).

Створення водосховища порушило геоморфологічну рівновагу та активізувало ряд геоморфологічних ризиків, а саме: переробку берегів, заболочування, суфозію, підняття ґрунтових вод та зміну фізико-хімічних характеристик ґрунтів, замулення, процеси карсту [5, с. 42].

Особливо активним були процеси абразії (руйнування берега) (Рис. 3), коли зміна геоморфологічних умов призвела до агресивної дії геологічних агентів [3, с. 13].

Перетворення берегів водосховища тривалий час спричинило утворення при їх основі сильного осипно-обвального шлейфу (Рис. 4), надаючи берегам виробленої похилої форми. Це відбулось внаслідок руйнації верхньої частини берегів та нагромадження відкладів у прибережній відміліні. З часом процеси абразії затухають. Однак береги східної та південно-східної орієнтації залишаються динамічними, що пояснюється їх фронтним положенням на шляху вітрових потоків та хвиль [8, с. 44].

Поряд із переробкою берегів, відбувається замулення водосховища. У замулених частинах водосховища річка виробила нове меандруюче русло, де спостерігається значна швидкість течії – до 0,2 м/с. Створення водосховища зумовило поступове підняття ґрунтових вод на 3-4 м, що у знижених частинах надзапленої тераси та високої заплави призвело до утворення боліт (урочище Грабівець, Острів), а також озер (урочище Острів, Шибин) [1, с. 56]. Під час спуску водосховища усі озера трансформувалися у болота. Досить змінилися властивості ґрунтового покриву на прилеглих територіях: характеристики інфільтрації, водного та теплового режиму, активізувалися процеси лімонізації, оглеєння тощо, що сприяє процесам суфозії. Актуальною є проблема карсту під дамбою ГЕС [6, с. 97].

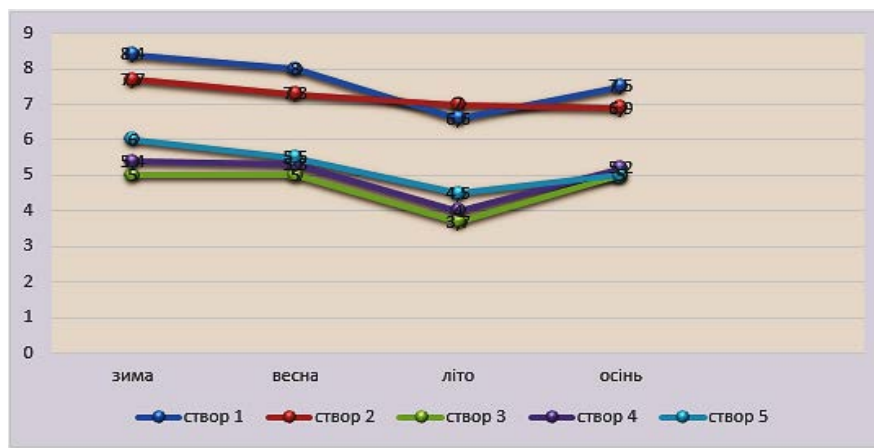


Рис. 2. Динаміка розчиненого у воді кисню у різні пори року, мг/дм³ (2017–2022 роки)



Рис. 3. Абразія берега



Рис. 4. Абразійні береги складені лесовими породами (с. Боремель)

Накопичення вологи призвело до активізації процесів інфільтрації, що загрожує конструкції ГЕС (вже зараз у дамбі виявлені тріщини, зумовлені незначним просіданням). Місто Луцьк, що знаходиться нижче за течією, перебуває у постійній потенційній небезпеці. Для вирішення такої проблеми потрібно створити протикарстові системи, або ж визначити певні адміністративні заходи. Зараз на водосховищі є явна проблема накопичення в товщі води очерету, який погіршує циркуляцію води і становить загрозу для проходу води через шлюзи ГЕС [7, с. 320].

Екологічною проблемою в басейні водосховища є поява несанкціонованих сміттєзвалищ, що зумовлено збільшенням кількості відпочиваючих на водосховищі. Вони є осередком розмноження комах, гризунів, які являються збудниками та переносниками інфекційних захворювань. Несанкціоновані сміттєзвалища шкодять природному середовищу через забруднення шкідливими речовинами повітря, ґрунту, підземних вод. Санітарна норма води, яка пропускається через ГЕС має становити 3,2 м³.

За результатами досліджень вода у водосховищі знизилась на 1 метр від звичайних показників. Мінімально можливий рівень води має показувати відмітку 187,3 м, проте нині цей показник становить 187,2 м. У порівнянні із 2020 роком Хрінниківська ГЕС виробляє електроенергії менше [8, с. 48]. Необхідно приймати додаткові заходи щодо роботи ГЕС. Якщо ж повноцінно виробляти електроенергію, то територія водосховища втратить рекреаційні можливості. Для поліпшення стану екосистеми Хрінниківської ГЕС необхідно розробити та реалізувати комплексний план благоустрою водосховища. Це включає встановлення чітких меж водосховища та проведення інженерно-біотехнічного упорядкування захисних смуг, що дозволить зменшити вплив антропогенних факторів і покращити загальний екологічний стан території. Крім того, важливо вдосконалити роботу водосховища, зокрема забезпечити ефективний захист гідротехнічних споруд від нега-

тивних впливів, таких як наносні відкладення, сміття та лід, що можуть пошкодити конструкції та знижувати їх експлуатаційну ефективність. Важливо також здійснювати постійний моніторинг і проводити регулярне обслуговування всіх споруд з використанням сучасних науково-технічних методів, що дозволить підтримувати високий рівень безпеки та ефективності функціонування гідросистеми в умовах змін клімату та навантаження на водні ресурси.

Висновки. За останні десятиріччя басейн водосховища зазнав суттєвих змін. Через порушення нормальної експлуатації та зношення технологічного обладнання зростає ризик виникнення потенційних катастроф. Створення водосховища порушило геоморфологічну рівновагу, активуючи низку геоморфологічних ризиків, таких як заболочування, суфозія, підняття ґрунтових вод, зміна властивостей ґрунтів, замулення та процеси карсту. У річці було виявлено нейтральне значення рН, а у водосховищі – слабо лужне. Концентрація фосфору та азоту була однаковою, при цьому збільшення рівня нітратів обумовлено зливом з сільськогосподарських угідь, розташованих на прилеглих територіях. Для поліпшення екологічної ситуації необхідно встановити водоохоронні зони та захисні смуги вздовж усіх берегів Хрінниківського водосховища. На цих територіях слід реалізувати заходи з інженерного та біотехнічного упорядкування, що допоможе зменшити антропогенний вплив та відновити екосистему водосховища.

Результати досліджень показують, що вода у водосховищі наразі є доброю, однак у майбутньому ситуація може суттєво погіршитися. Це пов'язано з недбалючим використанням об'єкта та гідротехнічних споруд, а також зростанням антропогенного навантаження на водосховище. Для досягнення позитивних змін необхідна активна участь екологічної служби області, працівників Хрінниківської ГЕС, Хрінниківського комунального підприємства «Маївка» та УНДІВЕР.

Цей матеріал може бути використаний як основа для оцінки стану інших відповідних водосховищ.

Література:

1. Водний фонд України: штучні водойми–водосховища і ставки: довідник /за ред. В.К. Хільчевського, В.В. Гребеня. К.: Інтерпрес, 2016, 164 с.
2. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання: Монографія. Київ, 2000. 376 с.
3. Гопчак І. В. Екологічна оцінка якості поверхневих вод Хрінниківського водосховища. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2019, № 47 (Ч. 1), С. 9–15.
4. Козак Д.Н. Дослідження на Хрінниківському водоймищі. *Археологічні дослідження в Україні 2015*. Луцьк : Волинські старожитності, 2016, С. 404–407.
5. Кучерява І.М. Відновлювальна енергетика в світі та Україні, станом на 2019 р. – початок 2020 р. № 1. Київ. 2020. С. 38–44.
6. Мольчак Я.О., Мисковець І.Я., Горбач Л.І. Перспективи формування ефективної еколого–економічної системи водокористування. *Часопис соціально-економічної географії*. 2021. Вип. 30. С. 95–103.
7. Поверхневі води Волині: кол. моногр./Я.О. Мольчак, І.Я. Мисковець, А.М. Вох [та ін.], (за редакцією Мольчака Я.О.), Луцьк: видавництво «Терен». 2019, 344 с.
8. Хрінниківське водосховище. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.
9. Fedorovsky A.D., Suhanov K.Yu., Yakimchuk V.G. The estimation of ecological condition of natural water systems with use of system approach / *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXII, Part 7, Budapest, 1998, pp. 706–707.
10. Hnativ R., Cherniuk V., Khirivskyi P., Kachmar N., Lopotych N. Hnativ I. ocesses of natural self–cleaning of small watercourses with increasing anthropogenic load in the Dniester River basin. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. № 24(2), pp. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/156914>.

11. Khilchevskiy, V. K., Kurylo, S. M., Zabokrytska, M. R. Long-term fluctuations in the chemical composition of surface waters and climate change. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* : conference Proceedings, XIV International Scientific Conference (2020) (Vol. 1, pp. 1–5). November, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056003>.

12. Mansukh S.Y., Bruce R.J. Zink exchangeability as a function of pH in citric acid - amended. *Soil Science*. 2003. № 5. pp. 356–367.

References:

1. Vodnyy fond Ukrainy: shtuchni vodoymy–vodoskhovyshcha i stavky: dovidnyk. (2016) [Water resources of Ukraine: artificial reservoirs – reservoirs and ponds: a guide ed.] V.K. Khilchevsky, V.V. Grebenya. Kyiv : Interpress, 164 p. [in Ukrainian].

2. Vyshnevskiy, V.I. (2000) Richky i vodoymy Ukrainy. Stan i vykorystannya [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and usage]. Monograph. Kyiv : Vipol, 376 p. [in Ukrainian].

3. Hopchak, I.V. (2019). Ekolohichna otsinka yakosti poverkhnevyykh vod Khrinnykivs'koho vodoskhovyshcha [Ecological assessment of the quality of surface waters of the Khrinnyky reservoir.] Bulletin of the National University of Water Management and Nature Conservation. No. 47 (Part 1.), pp. 9–15. [in Ukrainian].

4. Kozak, D.N. (2016). Doslidzhennya na Khrinnykivs'komu vodoymyshchi [Research on the Khrinnyky reservoir. Archaeological research in Ukraine 2015]. Lutsk : Volynskii starozhitnosti, pp. 404–407. [in Ukrainian].

5. Kucheryava, I.M. (2020). Vidnovlyuval'na enerhetyka v sviti ta Ukraini [Renewable energy in the world and Ukraine, as of 2019 – early, 2020].No. 1. Kyiv. pp. 38–44. [in Ukrainian].

6. Molchak, Ya.O., Myskovets, I.Ya., Gorbach, L.I. (2021) Prospects for the formation of an effective ecological and economic system of water use. *Human Geography Journal*. 30, pp. 95–103. [in Ukrainian].

7. Poverkhnevi vody Volyni [Surface waters of Volyn:] Col. Monograph Ya.O. Molchak, I.Ya. Myskovets, A.M. Voh (2019). [and others], (edited by Molchak Ya.O.), Lutsk : Teren Publishing House., 344 p. [in Ukrainian].

8. Khrinnykivs'ke vodoskhovyshche. [Khrinnyky Reservoir]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> [in Ukrainian].

9. Fedorovsky, A.D., Suhanov, K.Yu., Yakimchuk, V.G.(1998), The estimation of ecological condition of natural water systems with use of system approach / International Archives of Photogrammetry and Remote Sensung. Vol. XXXII, Part 7, Budapest, pp. 706–707 [in Hungarian].

10. Hnativ, R., Cherniuk, V., Khirivskiy, P., Kachmar, N., Lopotych, N., Hnativ I. (2023). Processes of natural self-cleaning of small watercourses with increasing anthropogenic load in the Dniester River basin. *Journal of Ecological Engineering*. №24(2), pp. 12–18. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/156914>.

11. Khilchevskiy, V. K., Kurylo, S. M., Zabokrytska, M. R. (2020) Long-term fluctuations in the chemical composition of surface waters and climate change. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment* : conference Proceedings, XIV International Scientific Conference (Vol. 1, pp. 1–5). November, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056003>. [in Ukrainian].

12. Mansukh, S.Y., Bruce, R.J. (2023). Obminna zdatnist' tsynku yak funktsiya pH u lymonniy kysloti. [Zink exchangeability as a function of pH in citric acid-amended]. *Soil Science*. № 5. pp. 356–367. [in Bulgarian].

ТЕОРЕТИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ЗАСАДИ І ПРОГНОЗ РОЗВИТКУ ТУРИСТИЧНИХ ДЕСТИНАЦІЙ ПРИФРОНТОВИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

Пацюк Вікторія Сергіївна,

кандидат географічних наук, доцент, докторант,
доцент кафедри туризму та економіки
Криворізького державного педагогічного університету
ORCID ID: 0000-0002-0401-2573
Scopus Author ID: 57817675900
Web of Science Researcher ID: E-4220-2019

Корнус Олеся Григорівна,

кандидат географічних наук, доцент,
завідувач кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного
університету імені А. С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0001-7469-7291
Scopus Author ID: 57198491514
Web of Science Researcher ID: AAB-6700-2021

Корнус Анатолій Олександрович,

кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри загальної та регіональної географії
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка
ORCID ID: 0000-0002-5924-7812
Scopus Author ID: 57198508125
Web of Science Researcher ID: O-6053-2015

Казаков Володимир Леонідович,

кандидат географічних наук, доцент,
завідувач кафедри туризму та економіки
Криворізького державного педагогічного університету
ORCID ID: 0000-0002-0340-2107
Scopus Author ID: 57817809100

Стаття присвячена аналізу перспектив розвитку туристичних дестинацій на прифронтових територіях України у контексті післявоєнного відновлення. Війна суттєво змінила туристичну карту країни, спричинивши руйнування інфраструктури, скорочення туристичних потоків та формування негативного іміджу регіонів. Водночас, навіть у складних умовах війни прифронтові території можуть розвивати певні види туризму, які сприятимуть економічному зростанню та інтеграції громад для співпраці. У дослідженні використано комплексний підхід, що включає проведення й аналіз соціологічного опитування щодо особливостей розвитку українських прифронтових громад і туристичного бізнесу в умовах війни (Дніпропетровської, Донецької, Запорізької, Сумської, Харківської областей), емпіричні методи дослідження, порівняльний аналіз міжнародного досвіду та вивчення наукових джерел. Визначено основні загрози для розвитку туризму в прифронтових регіонах, серед яких замінованість територій, втрата культурної спадщини, міграція населення, економічна нестабільність та психологічні фактори, пов'язані з військовими діями. На основі отриманих результатів обґрунтовано потенціал розвитку таких туристичних напрямів, як волонтерський, солідарний, меморіальний, військовий, сільський та темний туризм. Особливу увагу приділено необхідності стратегічного планування, створенню безпечних туристичних маршрутів, розвитку інфраструктури та залученню інвестицій. Результати дослідження можуть бути корисними для представників органів державного управління, туристичного бізнесу, місцевих громад та науковців, які займаються питаннями відновлення регіонів після воєнних конфліктів. Перспективи подальших досліджень полягають у розробці моделей сталого розвитку туризму в постконфліктних зонах, аналізі економічного ефекту від розвитку туристичних дестинацій, а також використанні цифрових технологій для промоції туристичних можливостей прифронтових територій України.

Ключові слова: прифронтові території, волонтерський та солідарний туризм, військовий, темний та меморіальний туризм, сільський туризм.

Patsiuk Viktoriia, Kornus Olesia, Kornus Anatolii, Kazakov Volodymyr. Theoretical and geographical foundations and forecast of development of tourist destinations in the frontline territories of Ukraine

The article analyses of theoretical and geographical basis the the prospects for developing tourist destinations in the frontline territories of Ukraine in the context of post-war recovery. The war has significantly changed the country's tourist map, destroying infrastructure, reducing tourist flows and forming a negative image of the regions. At the same time, even in difficult conditions, frontline areas can develop certain types of tourism that will contribute to economic growth and community integration. The study uses a comprehensive approach, including making and analysis of a sociological survey on the peculiarities of the development of Ukrainian frontline communities and tourism business in the context of war (Dnipro, Donetsk, Zaporizhzhia, Sumy, Kharkiv), empirical research methods, comparative analysis of international experience and study of scientific sources. The main threats to tourism development in the frontline regions are identified, including mined areas, loss of cultural heritage, migration, economic instability and psychological factors related to military operations. Based on the results obtained, the potential for developing such tourist destinations as volunteer, solidarity, memorial, military, rural and dark tourism is substantiated. Particular attention is paid to the need for strategic planning, creation of safe tourist routes, infrastructure development and attraction of international investment. The study's results can be useful for representatives of public administration, tourism businesses, local communities and academics dealing with regions recovering after military conflicts. Prospects for further research include developing models for sustainable tourism development in post-conflict areas, analysing the economic impact of tourist destinations, and using digital technologies to promote the tourism opportunities of Ukraine's frontline territories.

Key words: *frontline territories, volunteer and solidarity tourism, military, dark and memorial tourism, rural tourism.*

Вступ. Розвиток туристичних DESTINAЦІЙ є важливим елементом економічного та соціального зростання регіонів, що сприяє диверсифікації локальної економіки, створенню робочих місць і збереженню культурної спадщини. Водночас воєнні конфлікти суттєво впливають на туристичну галузь, знижуючи туристичні потоки, руйнуючи інфраструктуру та формуючи негативний імідж територій. Прифронтові регіони України в умовах повномасштабної війни зазнали значних змін, що ставить перед науковою спільнотою та практиками туристичної сфери питання щодо перспектив їхнього відновлення та розвитку.

Війна на території України суттєво змінила туристичну карту країни. Традиційно популярні туристичні DESTINAЦІЇ були окуповані (Асканія Нова, Генічеськ, Скадовськ, Залізний Порт, Бердянськ), або ж зазнають регулярних руйнувань (Одеса, Запоріжжя, Харків, Святогірськ), що значно гальмує розвиток в них туристичної діяльності. Станом на 22 січня 2025 року ЮНЕСКО підтвердила пошкодження 476 об'єктів з 24 лютого 2022 року – 149 релігійних об'єктів, 241 будівлі, що представляє історичний та/або художній інтерес, 32 музеїв, 33 пам'ятників, 18 бібліотек, 1 архіву та 2 археологічних об'єктів [15]. За ініціативи Українського культурного фонду створено інтерактивну «Мапу культурних втрат», в якій відображено масштаб руйнації пам'яток унаслідок вторгнення росії в Україну [15].

Водночас прифронтові території, незважаючи на складну ситуацію, можуть мати потенціал для розвитку різних видів туризму. Відповідно необхідна більш ґрунтовна географічна оцінка основних викликів, з якими стикаються прифронтові території, аналіз перспективних видів туризму для розвитку на цих територіях, можливі шляхи їхнього відродження у повоєнний період як складова перетворення цих територій з місць конфлікту на точки туристичного інтересу.

Матеріали та методи. Вихідною точкою при підготовці даної публікації стало дослідження особливостей розвитку українських прифронтових громад і туристичного бізнесу в умовах війни, яке проводилось з 2 по 15 лютого 2023 року естонськими (Талліннський університет) та українськими вченими (Запорізький

національний університет, Криворізький державний педагогічний університет, Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка, Харківська державна академія культури) за підтримки Естонського дослідницького агентства. Соціологічні опитування, які були проведенні під час даного дослідження, заклали підґрунтя подальших різновекторних досліджень, спрямованих на формування бачення стратегії розвитку туризму прифронтових громад України задля повоєнного відновлення туристичного бізнесу [21, 22]. В даному дослідженні ми поклалися як на результати зазначеного соціологічного опитування, так і на подальші емпіричні дослідження, вивчення наукової літератури, відвідування тематичних вебінарів тощо.

Загалом у науковій літературі існують різні підходи до вивчення постконфліктного туризму, включаючи концепції військового, темного, меморіального та волонтерського туризму. Досвід відновлення туристичних DESTINAЦІЙ у країнах, що пережили воєнні конфлікти, свідчить про можливість перетворення зон колишніх бойових дій на туристично привабливі території за умови реалізації ефективних стратегій відбудови та маркетингу.

Метою цього дослідження є аналіз потенціалу розвитку туристичних DESTINAЦІЙ прифронтових територій України, визначення основних викликів і можливостей їхнього відродження, а також формування рекомендацій щодо подальшої трансформації цих регіонів у туристичні центри після завершення бойових дій.

Результати дослідження. Станом на 29.11.2024 року до переліку територій на яких ведуться або велись бойові дії належать об'єкти в 12 областях України: Дніпропетровській, Донецькій, Житомирській, Запорізькій, Київській, Луганській, Миколаївській, Одеській, Сумській, Харківській, Херсонській та Чернігівській. Звісно, інтенсивність та тривалість бойових дій в кожній з областей різна, відповідно і різний рівень руйнувань та, відповідно, збитків. Проводячи соціологічне дослідження у лютому 2023 року, нами було залучено респондентів з п'яти областей: Дніпропетровської, Донецької, Запорізької, Сумської, Харківської. Однак, на нашу думку, загрози розвитку туризму в кожній

з прифронтових областей є ідентичними, відтак цілком можна опиратися на наявні дані (табл. 1).

Найбільшими загрозами для туристичного розвитку громади на думку опитаних є: загроза втрати матеріальних культурних цінностей в окупованих та прифронтових територіях (72,7%); небезпечність території через її надмірну замінованість (59,7%); суттєве погіршення матеріальної спроможності клієнтів (57,5%). У той час як найнижчим рівнем загрози опитані вважають деструктивний вплив російської пропаганди, русифікації – лише 29% його оцінили як високий. Зважаючи на два роки, які пройшли після опитування, варто зазначити, що цю загрозу вкотре було недооцінено.

Окрім цього, завдяки даному соціологічному опитуванню, було визначено, які види туризму матимуть перспективи після завершення військових дій, яке представлено в табл. 2.

Як свідчать результати аналізу, більшість респондентів високо оцінювали перспективи повоєнного розвитку культурно-пізнавального (59,8%), спортивного та активного (48%), а також фестивального та подієвого видів туризму (52,8%). Однак, вже нині, аналізуючи

тенденції, характерні для туристичної сфери прифронтових регіонів, можна констатувати, що принаймні в перший повоєнний час більш пріоритетними будуть волонтерський, солідарний та меморіальний туризм, про які мова в зазначеному опитуванні навіть не йшла. До того ж значною буде вага військового та сільського туризму, і як би неперспективно (77%) не оцінювали темний туризм, він теж займе свою нішу на туристичному ринку прифронтових регіонів.

Проаналізуємо роль зазначених туристичних напрямів для туризму прифронтових територій більш докладно.

Волонтерський туризм. Цей вид туризму розглядають як використання вільного часу і доходу, для подорожей та активності за межі сфери регулярної діяльності для надання допомоги іншим людям, які її потребують [5]. Дж. Сімпсон та А. Шулер Скот [7] зазначають, що починаючи з 2022 року, сплеск поїздок в Україну для участі як у бойовому, так і в небойовому туризмі спонукав до нових напрямів досліджень в контексті волонтерського туризму. По-перше, десятки тисяч людей із 52 країн долучилися до боротьби в Україні як добровольці.

Таблиця 1

Які загрози Ви вбачаєте найбільшими для вашої громади з точки зору розвитку туристичного бізнесу в умовах війни та після війни?

Загрози	Рівень загрози		
	високий	середній	низький
загроза втрати матеріальних культурних цінностей на окупованих та прифронтових територіях	72,7%	18,2%	9,1%
негативний імідж території збройного конфлікту	44%	23,2%	32,8%
загроза втрати етнокультурної ідентичності народів на окупованих та прифронтових територіях	34,1%	34,1%	31,7%
анексія територій	48,4%	26,2%	25,4%
деструктивний вплив російської пропаганди, русифікації	29%	37,9%	33,1%
небезпечність території через її надмірну замінованість	59,7%	20,9%	19,4%
відтік кваліфікованих кадрів за кордон	44,2%	35,6%	20,2%
суттєве погіршення матеріальної спроможності клієнтів	57,5%	32,1%	10,4%
загроза знелюднення території	36,4%	38%	25,6%

Таблиця 2

Як Ви вважаєте, які види туризму будуть користуватися попитом у Вашій громаді після завершення військових дій?

Види туризму	Перспективно	Важко казати	Не перспективно
культурно-пізнавальний	59,8%	25,7%	14,5%
сільський	29,1%	18,8%	52,1%
екологічний	31,9%	26,4%	41,7%
релігійний	18,7%	15,3%	66%
лікувально-оздоровчий	28,5%	17,4%	54,1%
індустріальний (промисловий)	26,4%	20,1%	53,5%
спортивний та активний	48%	26,4%	25,6%
екстремальний	27,1%	23,6%	49,3%
етнокультурний	41,6%	21,5%	36,9%
гастрономічний	38,1%	29,9%	32%
фестивальний та подієвий	52,8%	22,2%	25%
військовий	36,8%	22,2%	41%
темний	10,5%	12,5%	77%
креативний	29,9%	29,2%	40,9%
діловий	33,3%	22,9%	43,8%

По-друге, мільйони співробітників міжнародних неурядових організацій прибувають у зони військових конфліктів для надання гуманітарної допомоги. Науковці прагнуть пояснити мотивацію осіб, які вирушають у такі подорожі в ролі добровольців, незалежно від того, чи йдеться про бойову участь, чи про мирну допомогу. Дослідники класифікують такі подорожі як військово-волонтерський туризм, розглядаючи його як складову ширшого напрямку вивчення військового туризму [7].

Загалом для прифронтових територій України можна відзначити декілька напрямів волонтерського туризму: *соціальна допомога* (адресна допомога постраждалим громадянам від бойових дій, персональна доставка або передача матеріальної допомоги, допомога вимушеним переселенцям, тощо); *фізична допомога* (практична допомога у відновленні пошкодженого або зруйнованого помешкання цивільного населення; прибирання території); *допомога тваринам* (евакуація, забезпечення притулків усім необхідним, пошук нових домівок); *інформаційний фронт* (протидія дезінформації та пропаганді, блокування ворожих ресурсів, поширення правдивої інформації в ЗМІ, інтернеті та соціальних мережах); *медична допомога* (донорство, робота в медичних закладах, лекції з тактичної медицини, медико-евакуаційна діяльність у гарячих точках); *психологічна допомога* (безплатні онлайн-консультації, допомога людям, що відчувають тривогу, мають панічні атаки чи депресивні стани); *правова допомога* (безплатні юридичні консультації для людей, що постраждали від російської агресії, фіксація та документування воєнних злочинів); *туристична підтримка* (проведення екскурсій для переселенців та інших категорій на волонтерських засадах, організація походів з метою психологічного розвантаження певних категорій населення) [18].

Солідарний туризм. Під вказаним туристичним напрямком розуміють мандрівки, під час яких відбувається усвідомлена підтримка місцевих громад і локального бізнесу, яка не включає фізичної допомоги. Британські вчені С. Дольнікар та С. МакКеб визначають солідарний туризм як дії, пов'язані з туризмом, що вживаються урядами, туристичним бізнесом і туристами для допомоги людям, які страждають під час і після криз, що ґрунтуються на співчутті до людей, почутті єдності та спільному розумінні суспільних стандартів і обов'язків [3].

Солідарний туризм в Україні під час війни є важливим елементом підтримки економіки та морального відновлення, особливо в прифронтових громадах. Даний вид туризму передбачає підтримку місцевих громад та регіонів і полягає в тому, щоб туристи сприяли економічному розвитку через витрати на проживання, їжу та інші послуги, при цьому максимально враховуючи соціальні та екологічні аспекти. В Україні під час війни цей напрямок набув особливого значення через численні гуманітарні виклики, переміщення населення та потребу в підтримці постраждалих територій.

Основними завданнями солідарного туризму є: охорона культурної спадщини; інформування міжнародної спільноти про катастрофічні наслідки російського вторгнення; сприяння фінансовій підтримці місцевих

бюджетів деокупованих територій; допомога місцевим підприємствам, що переживають економічні труднощі; надання можливості для вираження підтримки та солідарності; створення попиту на подальші подорожі Україною та її регіонами [20].

Меморіальний туризм. В багатьох дослідженнях меморіальний туризм розглядається як складова темного або похмурого туризму [1, 11], однак на нашу думку, не варто повністю отожденовувати дані туристичні напрями, оскільки вони мають різні цілі, мотивації відвідувачів та етичний контекст. Якщо темний туризм може мати за мету отримання гострих вражень чи шокowego ефекту, то меморіальний туризм переважно має освітню та морально-етичну місію.

Що ж до безпосередньо трактування поняття «меморіальний туризм», то М. Казмирчук, посилаючись на публікацію харківських дослідників А. Аніщенко та М. Яріко зазначає, що меморіальний туризм є одним з універсальних інструментів конструювання історичної свідомості народу й по суті він є засобом діалогу між нащадками свідків трагічних подій перед обличчям сучасності [13]. Л. Божко та К. Кислюк під меморіальним туризмом розуміють нові форми меморіальної діяльності, про які слід нагадати ще раз: створення «місця пам'яті» скоєних злочинів (музеєфікація місць трагедій, відкриття окремих пам'ятників, меморіальних комплексів, музеїв, виставок, присвячених трагічним подіям, створення організованих захоронень тощо) [8].

Війна не завершена, однак вже нині актуальними є питання необхідності формування культури відвідування місць пам'яті про злочини росії в Україні. При цьому зважати необхідно як на кращий світовий досвід, так і на суспільну думку населення. В контексті цього Державне агентство розвитку туризму України (ДАРТ) започаткувало ініціативу об'єднати зусилля держави та громадськості задля розробки стратегії відвідування місць пам'яті, пов'язаних з військовою агресією росії в Україні. Про це під час круглого столу, який відбувся 14 вересня 2022 року, повідомила Голова Державного агентства розвитку туризму України М. Олесків. Співробітники ДАРТ переконані, що «держава має докласти визначних зусиль для увіковічнення пам'яті про українських героїв та жертв російських звірств, належної популяризації історії незалежної України, її державотворення та спротиву, формування цілісного історичного світогляду щодо подій війни за свободу» [9].

У грудні 2023 року ДАРТ представило концепцію меморіалізації пам'ятних місць. До пілотного проєкту було включено п'ять територіальних громад Київщини. Кінцевою метою Концепції є створення мапи локацій, які стануть новими форпостами національної пам'яті, до яких у майбутньому приїжджатиме багато українців та іноземців [10]. А вже 5 лютого 2025 року за ініціати́ви ДАРТ стартував освітній проєкт «Школа для гідів. Маршрути пам'яті війни». Його метою є надання фахівцям туристичного супроводу верифікованих істориками та військовими експертами текстів, які гіді зможуть використовувати під час проведення екскурсій місцями пам'яті російсько-української війни на Київ-

щині [16]. Такі дії закладають підвалини подальшого активного розвитку меморіального туризму, однак варто додати, що аналогічні пілотні проекти маршрутів пам'яті та підготовка гідів по їх реалізації повинні здійснюватись в кожному з прифронтових постраждалих регіонів, а не лише в Столичному регіоні.

Сільський туризм. Після початку повномасштабного російського вторгнення сільський туризм у прифронтових територіях зазнав значних змін. У багатьох громадах він припинив своє існування, а працівники сфери туризму змінили вид своєї діяльності, зайнявшись, наприклад, волонтерством. Водночас досвід інших країн, де відбувалися військові дії, вказує на активний розвиток туризму (сільського також) у повоєнний час, що стало значним економічним підґрунтям для розвитку економіки та залучення інвестицій, зростання реальних доходів населення [4, 22].

Сільський туризм має велике значення для прифронтових територій України, оскільки може сприяти їхньому соціально-економічному розвитку, підтримці місцевих громад та збереженню культурної спадщини. Сільський туризм дає можливість створення нових робочих місць та подальшого заробітку для малого бізнесу, адже до обслуговування туристів залучаються фермерські господарства, садиби, гостьові будинки, виробники локальних екопродуктів, ремісники, організатори екскурсій тощо.

Сільський туризм може запобігти масовій міграції населення, створюючи умови для життя та роботи на місці. Люди, які повернулися чи повернуться з війни, можуть знайти себе в агротуризмі та ремеслах і це може розглядатися в контексті підтримки ветеранів та ВПО. Сільська місцевість, спокійна атмосфера, контакт із природою допомагають людям подолати стрес, пов'язаний із війною.

Традиційно, саме в сільській місцевості завжди зберігались культура та традиції української нації, з покоління в покоління передавались національні звичаї і традиції. Розвиток сільського туризму буде сприяти подальшому відновленню й збереженню культурної спадщини та її популяризації. Значна частка прифронтових територій Дніпропетровської, Запорізької, Сумської, Херсонської та Харківської областей колись були козацькими землями і тут цілком доцільно створювати тематичні маршрути та заходи, пов'язані з історією козацтва, їх культурою, легендами тощо. Сільський туризм у прифронтових регіонах України може стати рушійною силою відновлення та економічного розвитку. Він сприятиме збереженню громад, залученню інвестицій, психологічному оздоровленню людей та відродженню культурних традицій. Це один із реальних шляхів до сталого розвитку постраждалих територій.

Військовий туризм. Важливість тематики військового туризму для України стала зрозумілою ще до початку повномасштабного вторгнення. Вчені активно долучались до термінологічного дискурсу, висвітлювали напрями військового туризму та аналізували ресурси. М. Лущик та Я. Москвяк під військовим туризмом розуміють спеціалізований вид туризму, який

передбачає відвідування пам'ятних військових об'єктів / установ / локацій минулого і сучасності, залучення туристів до елементів сучасного військового побуту, участь у безпечних військових подіях / заходах / фестивалях тощо [14]. Д. Каднічанський та М. Каднічанська розрізняють поняття «військовий» та «воєнний», зазначаючи, що поняття «воєнний» є широким трактуванням і стосується безпосередньо війни, а поняття «військовий» – пов'язане саме з військом, військовослужбовцями та є вузьким [12].

З початком повномасштабного вторгнення зросла чисельність практичних досліджень з даної проблематики. Зокрема, в липні 2022 року київські географи на кейсі Київської області провели дослідження щодо прагнення жителів України до надання туристичних послуг у містах, пов'язаних з повномасштабним вторгненням, за результатами якого стверджують, що на основі наявних ресурсів доцільно розробляти рекреаційно-туристичну програму військової тематики [23].

Безпосередньо перспективи військового туризму у прифронтових громадах після завершення військових дій були досліджені під час соціологічного опитування, яке проводилось в рамках естонсько-українського проєкту «Розвиток українських прифронтових громад і туристичного бізнесу в умовах війни та стратегії на майбутнє» [17].

Військовий туризм є не лише перспективним, а й значущим для прифронтових територій України, оскільки є не лише важливим інструментом економічного відновлення, а й збереження історичної пам'яті, адже військові маршрути сприяють усвідомленню подій війни, формуванню патріотизму та поваги до захисників України. Однак, реалізація турів за даними маршрутами, повинна бути схвалена місцевими громадами, на території яких відбувалися військові події. Це сприятиме уникненню психологічного травматизму постраждалих мешканців. Більш повна презентація військових локацій також можлива за умови залучення як гідів військових або безпосередніх свідків подій.

Темний туризм. Як вже зазначалось, темний туризм має багато спільного з меморіальним, однак його специфіка полягає в організації подорожей, в яких задовольняється цікавість відвідувачів або ж вони отримують гострі відчуття. М. Казмирчук, посилаючись на думку Д. Далтона, що темний туризм є відвідуванням туристами місць пов'язаних із смертю або стихійними лихами, які збурили суспільну свідомість, через що місця смерті, жахів, звірств або аморальності стають атрактивними та цікавими для сприйняття крізь досвід відвідувачів [13].

У структурі темного туризму група дослідників під керівництвом З. Шильнікової виділяють декілька напрямів: туризм катастроф та стихійних лих, туризм смерті, туризм терору, місця минулих військових зіткнень та суворих історичних битв, в'язниці суворого режиму, туризм кладовищ, місця тортур, смерті, страт, місця сучасних (діючих) військових зіткнень, містичний туризм, туризм у нетрях/гетто [24].

З огляду на запропоновану структуру, можемо констатувати, що в прифронтових громадах України є ресурс для розвитку туризму смерті, місць сучас-

них військових зіткнень, а на окупованих територіях ще й місць тортур, смерті, страт. Звісно, туристи екстремали з різних країн світу вже практикують даний туристичний напрям та періодично відвідують різні локації, наближені до фронту в Україні. Однак реалізація даного туристичного напрямку в повоєнний період для більш широких кіл туристів потребуватиме врахування всіх етичних складових та створення абсолютно безпечних маршрутів.

Висновки. Результати проведеного дослідження свідчать про наявність значних можливостей для розвитку туристичних дестинацій у прифронтових регіонах України. Особливий інтерес викликають такі напрями, як волонтерський, солідарний, меморіальний, військовий, сільський і темний туризм. Аналіз основних чинників впливу дозволив ідентифікувати як позитивні передумови для розбудови туристичної сфери, так і ряд викликів, серед яких питання безпеки, значний рівень замінованості територій, недостатньо розвинена туристична інфраструктура та негативний імідж регіонів.

З метою адаптації прифронтових територій до потреб туристичної галузі, обґрунтовано комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпечного та ефективного розвитку туристичної діяльності. До ключових напрямів трансформації належать створення та маркування безпечних туристичних маршрутів, стратегічне просування регіонів у сфері туризму, залучення фінансування через міжнародні грантові програми, а також розроблення спеціалізованих освітніх ініціатив для підготовки місцевих екскурсоводів. Подальші наукові дослідження доцільно зосередити на економічному аналізі перспектив розвитку туристичного сектору в прифронтових регіонах, вивченні міжнародного досвіду реінтеграції постконфліктних територій у туристичну сферу та дослідженні потенціалу цифрових технологій для промоції туристичних дестинацій. Комплексний підхід до формування туристичного середовища на прифронтових територіях сприятиме їх соціально-економічній стабілізації, збереженню історико-культурної спадщини та покращенню іміджу регіону.

Література:

1. Ashworth G.J., Isaac R.K. Have we illuminated the dark? Shifting perspectives on «dark» tourism. *Tourism Recreation Research*. 2015. Vol. 40. Iss. 3. P. 316–325.
2. Damaged cultural sites in Ukraine verified by UNESCO. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/damaged-cultural-sites-ukraine-verified-unesco?hub=66116>
3. Dolnicar S., McCabe S. Solidarity tourism-How can tourism help the Ukraine and other war-torn countries? URL: <https://osf.io/preprints/socarxiv/4vcpz>.
4. Hall D.R. Tourism as sustainable development? The Albanian experience of «transition». *International Journal of Tourism Research*. 2000. № 2 (1). P. 31–46. DOI: 10.1002/(SICI)1522-1970(200001/02)2:13.0.CO;2-W
5. McGehee N.G., Santos C. A. Social change, discourse and volunteer tourism. *Annals of tourism research*, 2005. № 32(3), 760-779. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2004.12.002>
6. Reimann M., Kornus O.H., Patsiuk V.S., Venherska N.S., Kholodok V.D., & Palang H. Tourism in Ukrainian frontline communities: trends, challenges, and development prospects. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 32(3). 2023. 581-597. DOI: <https://doi.org/10.15421/112352>
7. Simpson J.J., Schuler Scott A. Enemy of my enemy is my friend: War volunteer tourism. *Annals of Tourism Research*. 2023. С. 101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2023.103612>
8. Божко Л.Д., Кислюк, К.В. Меморіальний туризм як складова меморіальної культури. *Культура України*, 78, 2022. С. 7-17. <https://doi.org/10.31516/2410-5325.078.01>
9. ДАРТ об'єднує представників держави та громадськості, щоб розробити стратегію відвідування місць пам'яті війни. URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/dart-obiednuie-predstavnikiv-derzhavi-ta-gromadskosti-shchob-rozrobiti-strategiyu-vidviduvannya-misc-pamyati-viyni>
10. ДАРТ представило Концепцію меморіалізації пам'ятних місць. Київщина стане пілотним регіоном. 2023. URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/dart-predstavilo-koncepciyu-memorializatsiyi-pamyatnih-misc-kiyivshchina-stane-pilotnim-regionom>
11. Заставецький Т., Заставецька Л. «Похмурий туризм» як відображення трагічних подій у історії та культури народів // *Наукові записки Тернопіль. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер. Географія*. 2011. Вип. 1 (29). С. 101–107.
12. Каднічанський Д., Каднічанська Н. Мілітарний туризм: проблематика термінології та класифікації // *Географія, економіка і туризм: національний та міжнародний досвід: матеріали XIV Міжнародної наукової конференції*. (Львів, 9 жовтня 2020 р.). Львів, 2020. С. 132-138.
13. Казьмирчук М. Меморіальний і ностальгійний туризм у вітчизняних і зарубіжних дослідженнях // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Історія*. 2016. 4(131). С. 20-31. DOI <https://doi.org/10.17721/1728-2640.2016.131.4.05>
14. Лущик М., Москвяк Я. Можливості розвитку військового туризму в Україні // *Міжнар. наук. журн. «Інтернаука»*. Сер.: Економічні науки, 2021. № 9. URL: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/16333489757957.pdf>.
15. Мапа культурних втрат. URL: <https://uaculture.ucf.in.ua/culture-loss/>
16. Освітній проєкт для фахівців туристичного супроводу. URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/osvitniy-proiekt-dlya-fahivciv-turistichnogo-suprovodu>
17. Пацюк В.С., Корнус О.Г., Венгерська Н.С. Аналіз перспектив військового туризму в прифронтових громадах України // *Восьмі Сумські наукові географічні читання : збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції (Суми, 13–14 жовтня 2023 р.) / СумДПУ імені А. С. Макаренка ; Сумський відділ Українського географічного товариства ; [упорядник А. О. Корнус]. Елект. текст. дані. Суми, 2023. С. 142–147.*

18. Пацюк В., Шука Г., Василенко А. Волонтерський туризм: Теоретичний дискурс // Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. 2024. 4(4). <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.11>
19. Перелік територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією. Наказ Міністерства з питань реінтеграції тимчасово окупованих територій України 22 грудня 2022 року № 309. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1668-22#n15>
20. Прилузький А.М., Стойка В.О. Солідарний та волонтерський туризм як перспективні види внутрішнього туризму в Україні в сучасних умовах // Успіхи і досягнення у науці // Серія «Гуманітарні науки», Серія «Право», Серія «Освіта», Серія «Управління та адміністрування». Серія «Соціальні та поведінкові науки». 2024. № 9 (9). С. 1263-1275. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-9\(9\)-1263-1275](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-9(9)-1263-1275)
21. Рейманн М., Корнус О.Г., Венгерська Н.С., Холодок В.Д., Пацюк В.С., Паланг Х. Розвиток туристичного бізнесу прифронтових громад в умовах війни: зарубіжний та український досвід // Регіональна економіка. 1. 2023. С. 136-144. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2023-1-14>
22. Рейманн М., Корнус О.Г., Пацюк В.С., Венгерська Н.С., Корнус А.О. Перспективи розвитку сільського туризму у прифронтових громадах України // Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки. 1, 2024. С. 105-110. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.1.14>
23. Уліганець С., Мельник Л., Шинкаренко У. Розвиток військового туризму як одного з напрямів туристичної індустрії у поствоєнний період в Україні (на прикладі Київської області) // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. 54(2(54)), 2023. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2023.54.63-71>
24. Шильнікова З.М., Дульцева І.І., Матушкіна М.В. Тенденції розвитку «темного» туризму та його мотиваційні аспекти // Економіка та управління підприємствами. 22. 2018. С. 586-591.

References:

1. Ashworth, G.J., Isaac, R.K. (2015). Have we illuminated the dark? Shifting perspectives on «dark» tourism. *Tourism Recreation Research*. 40(3), 316–325.
2. Damaged cultural sites in Ukraine verified by UNESCO. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/damaged-cultural-sites-ukraine-verified-unesco?hub=66116>
3. Dolnicar, S., McCabe, S. (2022). Solidarity tourism-How can tourism help the Ukraine and other war-torn countries? URL: <https://osf.io/preprints/socarxiv/4vcpz>.
4. Hall, D.R. (2000). Tourism as sustainable development? The Albanian experience of «transition». *International Journal of Tourism Research*. 2(1), 31-46. DOI: 10.1002/(SICI)1522-1970(200001/02)2:13.0.CO;2-W
5. McGehee, N.G., Santos, C.A. (2005). Social change, discourse and volunteer tourism. *Annals of tourism research*, 32(3), 760-779. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2004.12.002>
6. Reimann, M., Kornus, O. H., Patsiuk, V. S., Venherska, N. S., Kholodok, V. D., & Palang, H. (2023). Tourism in Ukrainian frontline communities: trends, challenges, and development prospects. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 32(3), 581-597. DOI: <https://doi.org/10.15421/112352>.
7. Simpson, J. J., Schuler, Scott A. (2023). Enemy of my enemy is my friend: War volunteer tourism. *Annals of Tourism Research*. 101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2023.103612>
8. Bozhko, L. D., & Kysliuk, K. V. (2022). Memorialnyi turyzm yak skladova memorialnoi kultury [Memorial tourism as a component of memorial culture]. *Kultura Ukrainy*, (78), 7–17. DOI: <https://doi.org/10.31516/2410-5325.078.01> [in Ukrainian].
9. DART obiednuie predstavnykiv derzhavy ta hromadskosti, shchob rozrobyty stratehiu vidviduvannia mist pamiati viiny [DART unites state and public representatives to develop a strategy for visiting war memorial sites]. (2022). URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/dart-obiednuie-predstavnykiv-derzhavi-ta-gromadskosti-shchob-rozrobiti-strategiyu-vidviduvannya-misc-pamyati-viyni> [in Ukrainian].
10. DART predstavlyo Kontseptsiiu memorializatsii pamiatnykh mist. Kyivshchyna stane pilotnym rehionom [DART presented the concept of memorialization of memorable places. Kyiv region will become a pilot region]. (2023). URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/dart-predstavilo-koncepciyu-memorializatsiyi-pamyatnih-misc-kiyivshchina-stane-pilotnim-regionom> [in Ukrainian].
11. Zastavetskyi, T., & Zastavetska, L. (2011). «Pokhmuryi turyzm» yak vidobrazhennia trahechnykh podii u istorii ta kulturi narodiv [«Dark tourism» as a reflection of tragic events in the history and culture of nations]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriya Heohrafiy*. 1(29). 101–107 [in Ukrainian].
12. Kadnichanskyi, D., & Kadnichanska, N. (2020). Military tourism: problematyka terminolohii ta klasyfikatsii [Military tourism: terminology and classification issues]. *Heohrafiia, ekonomika i turyzm: natsionalnyi ta mizhnarodnyi dosvid, Proceedings of the XIV International Scientific Conference* (Lviv, October 9, 2020), 132–138 [in Ukrainian].
13. Kazmyrchuk, M. (2016). Memorialnyi i nostalhiinyi turyzm u vitchyznianskykh i zarubizhnykh doslidzhenniakh [Memorial and nostalgic tourism in domestic and foreign studies]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya Istoriia*, 4(131), 20–31. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2640.2016.131.4.05> [in Ukrainian].
14. Lushchik, M., & Moskviak, Ya. (2021). Mozhylyvosti rozvytku viiskovoho turyzmu v Ukraini [Opportunities for the development of military tourism in Ukraine]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka», Ser.: Ekonomichni nauky*, (9). URL: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/16333489757957.pdf> [in Ukrainian].

15. Mapa kulturnykh vtrat [Map of cultural losses]. (n.d.). URL: <https://uaculture.ucf.in.ua/culture-loss/> [in Ukrainian].
16. Osvitnii proekt dlia fakhivtsiv turytychnoho suprovodu [Educational project for tourism professionals]. (2025). URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/osvitniy-proiekt-dlya-fahivciv-turistichnogo-suprovodu> [in Ukrainian].
17. Patsiuk, V. S., Kornus, O. H., & Venherska, N. S. (2023). Analiz perspektyv viiskovoho turyzmu v prifrontovykh hromadakh Ukrainy [Analysis of prospects for military tourism in frontline communities of Ukraine]. *Vosmi Sumski naukovi heohrafichni chytannia, Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Conference* (Sumy, October 13–14, 2023), 142–147 [in Ukrainian].
18. Patsiuk, V., Shchuka, H., & Vasylenko, A. (2024). Volonterskyi turyzm: Teoretychnyi dyskurs [Volunteer tourism: Theoretical discourse]. *Heohrafichni chasopys Volynskoho natsionalnogo universytetu imeni Lesi Ukrainky*, 4(4). DOI: <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.11> [in Ukrainian].
19. Perelik terytorii, na yakykh vedutsia (velysia) boiovi dii abo tymchasovo okupovanykh Rosiiskoiu Federatsiieiu [List of territories where hostilities are ongoing or temporarily occupied by the Russian Federation]. (2022). *Ministry for Reintegration of Temporarily Occupied Territories of Ukraine*, Order No. 309. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1668-22#n15> [in Ukrainian].
20. Pryluzkyi, A. M., & Stoika, V. O. (2024). Solidarnyi ta volonterskyi turyzm yak perspektyvni vydy vnutrishnoho turyzmu v Ukraini v suchasnykh umovakh [Solidarity and volunteer tourism as promising types of domestic tourism in Ukraine under modern conditions]. *Uspikhy i dosiahennia u nautsi*. 9(9). 1263–1275. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-9\(9\)-1263-1275](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2024-9(9)-1263-1275). [in Ukrainian].
21. Reimann, M., Kornus, O. H., Venherska, N. S., Kholodok, V. D., Patsiuk, V. S., & Palang, H. (2023). Rozvytok turytychnoho biznesu prifrontovykh hromad v umovakh viiny: zarubizhnyi ta ukraïnskyi dosvid [Development of tourism business in frontline communities under war conditions: foreign and Ukrainian experience]. *Rehionalna ekonomika*. (1). 136–144. DOI: <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2023-1-14> [in Ukrainian].
22. Reimann, M., Kornus, O. H., Patsiuk, V. S., Venherska, N. S., & Kornus, A. O. (2024). Perspektyvy rozvytku silskoho turyzmu u prifrontovykh hromadakh Ukrainy [Prospects for the development of rural tourism in frontline communities of Ukraine]. *Slobozhanskyi naukovyi visnyk. Seriya: Pryrodnychi nauky*, (1), 105–110. DOI: <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2024.1.14> [in Ukrainian].
23. Ulihanets, S., Melnyk, L., & Shynkarenko, U. (2023). Rozvytok viiskovoho turyzmu yakodnogo z napriamiv turindustrii u postvoiennyi period v Ukraini (na prykladi Kyivskoi oblasti) [Development of military tourism as one of the directions of the tourism industry in the post-war period in Ukraine (on the example of the Kyiv region)]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Viiskovo-spetsialni nauky*. 54(2). 63–71. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2023.54.63-71> [in Ukrainian].
24. Shylnikova, Z. M., Dultseva, I. I., & Matushkina, M. V. (2018). Tendentsii rozvytku «temnoho» turyzmu ta yoho motyvatsiini aspekty [Trends in the development of «dark» tourism and its motivational aspects]. *Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy*. 22. 586–591 [in Ukrainian].

4. НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

УДК 550.8(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32782/naturalspu/2025.1.15>

СТРУКТУРНО-ЛІТОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ІЛЬМЕНІТОНОСНОЇ ТОВЩІ КАТЕРИНІВСЬКОГО РОДОВИЩА

Ганжа Олена Анатоліївна,

кандидат геологічних наук,
старший науковий співробітник
Інституту геологічних наук НАН України
ORCID ID: 0000-0001-8510-5618

Крошко Юлія Володимирівна,

кандидат геологічних наук,
старший науковий співробітник
Інститут геологічних наук НАН України
ORCID ID: 0000-0002-7601-7760

Компанець Галина Сергіївна,

кандидат геологічних наук,
старший науковий співробітник
Інституту геологічних наук НАН України

У статті подано загальну геологічну характеристику Катеринівського родовища ільменіту, яке розташоване в межах Волинського титаноносного району (північно-східна частина Українського щита). З використанням сучасних засобів інформаційного забезпечення досліджено рудну характеристику Катеринівського родовища. В межах Катеринівського родовища впродовж геологічного розвитку території, сформувалася просторово суміщена рудоносна система, яка складена різновіковими та різногенетичними утвореннями і сукупно володіє значним рудоносним потенціалом. У будові продуктивного покладу елювіальні та флювіальні теригенні утворення складають близько 50%. У складі флювіальних теригенних утворень мезозой-кайнозой нижньокрейдово-міоценові утворення становлять 15%; відклади міоцен-пліоценові – не більше 1%; неоген-нижньочетвертинні алювіальні – 60%, алювіально-озерні – близько 2%; породи нижньо-середньочетвертинного віку – 2%; середньочетвертинні підморенні піски – 25% їх об'єму. У корі вивітрювання вміст ільменіту 16,7–376 кг/м³; лише на окремих ділянках з найбільш рівномірним вмістом ільменіту його середній вміст становить близько 80 кг/м³. Розподіл середнього вмісту ільменіту у корі вивітрювання 16,7 – 376 кг/м³, в рудному пласті осадової частини покладу за латераллю – 2,6 – 640,3 кг/м³ (середнє – 63,7 кг/м³).

Окрім ільменіту в незначній кількості присутні такі мінерали: лейкоксен, лімоніт, апатит, марказит, титано-магнетит, сидерит, гранати, ставроліт, рутил, циркон, турмалін, марказит. Піски з кондиційним вмістом ільменіту як по розрізу так і по площі родовища характеризуються значною неоднорідністю. Це дрібно-середньозернисті, часто глинисті (вміст глинистої складової 6,4 – 30%, іноді до 50%). Ільменіт дрібно-середньозернистий: 56% його зерен має розмір 0,8 – 0,14 мм, 12 – 18% – більше 0,071 мм, 1,0 – 2,6% менше 0,071 мм.

Ключові слова: Катеринівське родовище, ільменіт, елювій, флювіальні теригенні утворення.

Ganzha Olena, Kroshko Yuliia, Kompanets Halyna. Structural and lithological aspects of the ilmenite-bearing strata of the Katerynivske deposit

The article presents the general geological characteristics of the Katerynivske ilmenite deposit, which is located within the Volyn titanium region (north-eastern part of the Ukrainian shield). With the use of modern means of information support, the ore characteristics of the Katerynivske deposit were investigated. During the geological development of the territory, a spatially combined ore-bearing system was formed within the boundaries of the Katerynivske deposit, which is composed of formations of different ages and genetics and collectively has a significant ore-bearing potential. In the structure of the productive deposit, eluvial and fluvial terrigenous formations make up about 50%. In the composition of fluvial terrigenous formations, Mesozoic-Cenozoic Lower Cretaceous-Miocene formations make up 15%; Miocene-Pliocene – no more than 1%; Neogene-Lower Quaternary alluvial – 60%, alluvial-lacustrine – about 2%; breeds of lower-middle Quaternary age – 2%; mid-Quaternary subtidal sands – 25% of their volume. In the weathering crust, the ilmenite content is 16.7 – 376 kg/m³; only in some areas with the most uniform content of ilmenite, its average content is about 80 kg/m³. The distribution of the average content of ilmenite in the weathering crust is 16.7 – 376 kg/m³, in the ore layer of the sedimentary part of the lateral deposit – 2.6 – 640.3 kg/m³ (average – 63.7 kg/m³). In addition to ilmenite, the following minerals are present in small quantities: leucoxene, limonite, apatite, marcasite, titanomagnetite, siderite, garnets, staurolite, rutile, zircon, tourmaline, marcasite. Sands with a conditional content of ilmenite both in section and in the area of the deposit are characterized by significant heterogeneity. These are fine-medium-grained, often clayey (clay component content 6.4 – 30%, sometimes up to 50%). Ilmenite is fine-medium-grained: 56% of its grains have a size of 0.8 – 0.14 mm, 12 – 18% – more than 0.071 mm, 1.0 – 2.6% less than 0.071 mm.

Key words: Katerynivske deposit, ilmenite, eluvial, fluvial terrigenous formations.

Вступ. Українська розсипна провінція містить значні за обсягами запаси й ресурси титану, які зосереджені у корінних, елювіальних (мезозой-кайнозойських) і розсипних (від нижньокрейдових до сучасних) родовищах. З різним ступенем деталізації розвідано 26 родовищ титанових руд; 48 родовищ мають попередню оцінку позабалансових запасів і ресурсів титану, сотні рудопроявів титану мають різний ступінь вивченості. Державним балансом запасів корисних копалин України враховано 15 родовищ, з яких лише 4 розробляють [1; 2].

Відповідно до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р. є необхідність розвитку сировинної бази титану задля підвищення показнику рівня економічного розвитку та забезпечення обороноздатності держави.

Наростити мінерально-сировинну базу України можна завдяки відкриттю нових об'єктів промислового значення у межах уже освоєних гірничою промисловістю районів. Для розширення переліку можливих об'єктів для освоєння потрібно забезпечити науковий супровід нових перспективних розсипів. Одним з перспективних об'єктів з точки зору ільменітової спеціалізації є Катеринівське родовище. Катеринівське родовище ільменіту є одним із багатьох екзогенних родовищ Волинського титаноносного району. Локалізовано родовище в межах Володарсько-Волинського масиву Коростенського блоку, який є складовою частиною Волинського мегаблоку Українського щита. У межах масиву наявні родовища та рудопрояви ільменіту, які зосереджені в корінних породах фундаменту, корі вивітрювання та флювіальних розсипах. (Проскурін Г.П., та ін. Звіт про детальну розвідку Катеринівського та Лівобережного розсипних родовищ титану, 1972 р.).

Катеринівське родовище відкрите в результаті пошукової розвідки в 1967-69 рр., попередня розвідка родовища проведена в 1968-1969 рр., детальна – в 1969–1972 рр. [3; 4] У деяких джерелах Катеринівське родовище вказується як ділянка Верхньо-Іршинського родовища. Зважаючи на щільність родовищ Волинського розсипного району та в зв'язку з підрахованими запасами в результаті детальної розвідки, ми схильні вважати Катеринівське родовище окремою одиницею. На теперішній час у літературних джерелах відсутня детальна інформація про Катеринівське родовище. В зв'язку з цим виникає необхідність в уточненні та оновленні даних стосовно геологічної будови, літологічних особливостей та просторового розподілу ільменіту, з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Матеріали та методи дослідження. За основу досліджень використано методику структурно-літологічного моделювання титано-цирконієвих розсипів [11; 12].

На основі узагальнення, аналізу й інтерпретації матеріалів виробничих звітів стосовно пошукової (1967–69 рр.), попередньої (1968–1969 рр.), та детальної розвідки (1969–1972 рр.) Катеринівського родовища, створено цільову атрибутивну базу даних 1172 свердловин (координати, опис, результати опробування). В програмному забезпеченні Golden Software Strater, Golden Software Surfer проведено картографічні та графічні

побудови, які дали можливість дослідити особливості просторового розподілу ільменіту та рудного потенціалу родовища. В зв'язку з тим, що родовище не розробляється, відсутні відслонення та фактичний матеріал для мінералогічних досліджень, всі висновки були зроблені виключно на основі аналізу виробничих звітів.

Мета статті – подати розширену характеристику рудоносності Катеринівського родовища ільменіту, з використанням сучасних методів інформаційного забезпечення.

Нами досліджено латеральний розподіл товщини кори вивітрювання, зміну середнього вмісту ільменіту в продуктивному пласті та його товщини за латераллю та розподілу вмісту ільменіту у вертикальному перетині свердловин.

Геологічна будова Катеринівського родовища ільменіту

Катеринівське родовище ільменіту локалізовано в межах Коростенського плутону (займає північну частину Волинського мегаблоку), в його найбільш припіднятій частині – Володарсько-Волинському масиві.

У геологічній будові Катеринівського родовища беруть участь габро-анортозити (переважно), габро, габро-норити, мезозой-кайнозойська кора вивітрювання (потужність до 15 м), делювіально-алювіальні відклади нижньої крейди – міоцену (полтавська свита) потужністю до 13,0 м, строкаті відклади міоцен-пліоценового віку потужністю до 12,5 м, неоген-нижньочетвертинні алювіальні і алювіально-озерні відклади потужністю до 13,0 м, нижньо-середньочетвертинні алювіально-озерні відклади потужністю до 7,0 м, середньочетвертинні (Дніпровське зледеніння) льодовикові і водно-льодовикові утворення потужністю до 13,0 м, верхньочетвертинні алювіальні і алювіально-озерні відклади потужністю до 8,0 м, сучасні відклади, які представлені алювіальними (сучасні водотоки), озерними, озерно-болотними та делювіально-пролювіальними осадами потужністю до 9,0 м.

У межах родовища *кора вивітрювання* габро-анортозитів (переважно), габро, габро-норитів має площовий характер. У профілі кори вивітрювання виокремлено зони, які послідовно змінюють одна одну (знизу – вгору): зона дезінтеграції і початкового вилугування, зона часткової каолінізації, зона повної каолінізації.

Окрім ільменіту, в корі вивітрювання діагностовано лейкоксен і рутил (поодинокі зерна), циркон (до 400 г/м³), апатит (до 3 кг/м³), гідроксиди заліза, пірит, марказит, сидерит (0–30 г/м³), баделеїт (поодинокі зерна), титано-магнетит (до 1 кг/м³); трапляються одиничні зерна піроксенів, амфіболів, магнетиту, гранату, дистену, турмаліну, біотиту, бариту, гідроксидів марганцю, хлориту, анатазу.

Ільменіт у корі вивітрювання розподілений нерівномірно. Його вміст змінюється від знаків до 70–100 кг/м³; лише на окремих ділянках з найбільш рівномірною концентрацією ільменіту середній міст становить 50–60 кг/м³. Хімічний склад ільменіту незначно змінюється знизу вгору за розрізом елювію. Ільменіт характеризується високою якістю, вміст TiO₂ (мін – 49,7,

тах – 55,1, середнє – 52,2), FeO (мін – 30,8, тах – 42,3, середнє – 36,9), Fe₂O₃ (мін – 4,2, тах – 12,0, середнє – 8,7), P₂O₅ (мін – 0,01, тах – 0,10, середнє – 0,05), Cr₂O₃ (мін – 0,001, тах – 0,019, середнє – 0,003).

Кора вивітрювання повсюдно перекривається осадовими відкладами мезозойського віку.

Нижньокрейдово-міоценові алювіально-алювіальні відклади локалізовані в невеликих за розміром (площа до 0,3 – 0,5 км²) поглибленнях фундаменту. Залягають ці утворення на корі вивітрювання, а перекриваються глинами строкатої товщі міоцен-пліоценового віку або більш молодими утвореннями аж до сучасних. Представлена нижньокрейдово-міоценова товща пісками та піщанистими каолінами.

Вміст ільменіту в пісках повсюдно підвищений і коливається в значних межах: від 3,0–15,0 до 407,4 кг/м³; максимальна концентрація мінералу встановлена в нижній частині піщаного розрізу (в найбільш крупнозернистих його різновидах).

Розмір зерен ільменіту в цих відкладах знаходиться в прямій залежності від зернистості пісків; близько 80% зерен цього мінералу має розмір від 0,1 до 0,6 мм. Зерна ільменіту в основному кутасті зрідка напівобкатані.

Ільменіт з нижньокрейдово-міоценової товщі більш змінений (вміст TiO₂ в ньому 52–54%), аніж ільменіт у більш молодих утвореннях. Окрім ільменіту в цих утвореннях встановлено такі мінерали (кг/м³): лейкоксен – до 3,50, циркон – до 0,56, рутил – до 0,22, апатит – до 0,9, титаномagnetит – до 0,22.

Морські міоцен-пліоценові відклади залягають на корі вивітрювання або на товщі нижньої крейди-міоцену. Перекриваються утвореннями неоген-четвертинного віку. Потужність цих відкладів становить 2–4 м, максимальна – 10,0 м. Представлена ця морська товща строкатими глинами та вторинними каолінами. У каолінах містяться зерна кварцу, гематит, ільменіт зрідка польового шпату. Вміст ільменіту в строкатих глинах 3,0 – 7,0 кг/м³, іноді до 26,8 кг/м³; у вторинних каолінах – 315 кг/м³, що дозволяє, включити їх до продуктивного покладу.

Неоген-нижньочетвертинні відклади представлені алювіально-озерними і алювіальними утвореннями. На окремих ділянках родовища потужність алювіально-озерних утворень не перевищує 2,0–4,0 м або досягає 6,0–12,0 м. Представлені ці відклади глинами, суглинками, супісками та вторинними каолінами. В алювіально-озерних відкладах вміст ільменіту незначний (0,5–6,0 кг/м³), лише зрідка (в піщаних каолінах) досягає 30–40 кг/м³, а в поодиноких пробах – 156,5 кг/м³.

Ільменіт розподілений здебільшого рівномірно і його вміст змінюється від 40 – 60 кг/м³ до 100 кг/м³; присутні лінзи піску з вмістом ільменіту до 594,3 кг/м³. В цілому, найбільш збагачені ільменітом нижні частини розрізу піщаної товщі, які складені грубозернистими пісками; у верхах товщі, яка складена дрібнозернистими пісками вміст ільменіту не перевищує 5–10 кг/м³.

Більша частина зерен ільменіту в неоген-нижньочетвертинних алювіальних утвореннях практично не зазнала змін. Зерна ільменіту гострокутні або кута-

сто-обкатані, чорного кольору з металевим або напівметалевим блиском. Розмір зерен ільменіту змінюється від 0,05 до 1–2 мм (в середньому 0,2–0,4 мм). Ступінь гіпергенних змін (лейкоксенізація) зерен ільменіту найбільш високий у нижній частині розрізу алювіальної товщі (вміст TiO₂ в ільменіті 53,0–54,3 %), у верхній – більш низький (вміст TiO₂ в ільменіті – 50 %).

Окрім ільменіту в неоген-нижньочетвертинних утвореннях присутні лейкоксен (1–3 кг/м³); рутил (до 200–260 г/м³); циркон (від одиничних зерен до 200–400 г/м³); апатит (3 кг/м³); поодинокі зерна турмаліну, ставроліту, гранату, бадделейту, гідроgetиту, силіманіту, дистену, анатазу, брукіту, а також титано-магнетиту, вміст якого досягає 1 кг/м³.

Відклади алювіально-озерної нижньо-середньочетвертинної товщі мають незначне поширення. У нижній частині розрізу вони представлені мулом з прошарками суглинків і супісків; вище за розрізом – суглинками з лінзами піщаних глин; у верхній частині подекуди присутні прошарки похованого ґрунту з рештками рослин, який змінюється (на вододілах) вторинними каолінами. Потужність товщі змінюється від 1–3 до 5–7 м. Вміст ільменіту у відкладах незначний (4,8 кг/м³), в одиничних пробах 149,9 кг/м³ та 176,1 кг/м³.

Середньочетвертинні утворення представлені водно-льодовиковими і моренними відкладами. В їх складі виокремлено надморенні і підморенні піски. Потужність надморенних пісків 1–2 м зрідка 5–6 м; підморенних – від 2,0 до 12,0 м, в середньому 4–6 м. Представлені водно-льодовикові утворення різнозернистими пісками польовошпат-кварцового складу. Підморенні піски ільменітоносні: середній вміст ільменіту становить 30–40 кг/м³; максимальне значення – 438,8 кг/м³. Надморенні піски безрудні. Ільменіт в рудних пісках чорний, зрідка з коричневим відтінком переважно обкатаний або кутасто обкатаний. Ступінь гіпергенних змін зерен ільменіту незначний (вміст TiO₂ в ільменіті 49 – 52%).

Ступінь гіпергенних змін ільменіту незначний (вміст TiO₂ в ільменіті 48–50%). Кількість лейкоксену і лейколізованого ільменіту не перевищує 0,2–0,4 кг/м³. До продуктивного покладу моренні відклади не залучені, за винятком ділянки на заході родовища, де в супісках потужністю до 0,4 м вміст ільменіту 25,1–30,0 кг/м³.

Верхньочетвертинні відклади у межах родовища представлені алювіальними і алювіально-озерними (заплавними) утвореннями першої надзапальної тераси струмка Іршиця, які збереглися від розмиву на його правому березі; також фіксуються в долинах притоків струмків Іршиця та Радич. Відклади терас складені русловими пісками і заплавними мулом, супісками і суглинками. Сумарна їх потужність досягає 8,5–10 м. Руслові піски різнозернисті (переважно дрібно-середньозернисті), польовошпат-кварцові, помірно глинисті. Вміст ільменіту в терасових відкладах переважно незначний (1,0–12,3 кг/м³), іноді досягає 76,8 кг/м³; в алювіальних відкладах струмків вміст більш значний і становить 18,0–31,4 кг/м³. Вміст ільменіту у відкладах заплав також незначний (3,5–16,3 кг/м³).

Сучасні відклади представлені алювіальними (сучасні водотоки), озерними, озерно-болотними та делювіально-пролювіальними осадами. Сучасні відклади не включені до продуктивного покладу.

Таким чином, продуктивний поклад складений різновіковими і різногенетичними утвореннями, які в межах Катеринівського родовища просторово суміщені і в сукупності володіють значним ресурсним потенціалом. Це елювіальні та здебільшого флювіальні теригенні континентальні утворення мезозой-кайнозою. [4; 13]

Побудови та висновки.

Розподіл середніх концентрацій ільменіту в корі вивітрювання Катеринівського родовища за латераллю не рівномірний (рис. 1). Максимальне значення становить 376 кг/м^3 , мінімальне – $16,7 \text{ кг/м}^3$, середнє – $85,2 \text{ кг/м}^3$. Простежується зона найменшого середнього вмісту ільменіту в меридіональному напрямку, найбільший середній вміст ільменіту приурочений до західної і частково південної частин родовища.

Розподіл потужності кори вивітрювання Катеринівського родовища (рис. 2) не корелюється з середнім

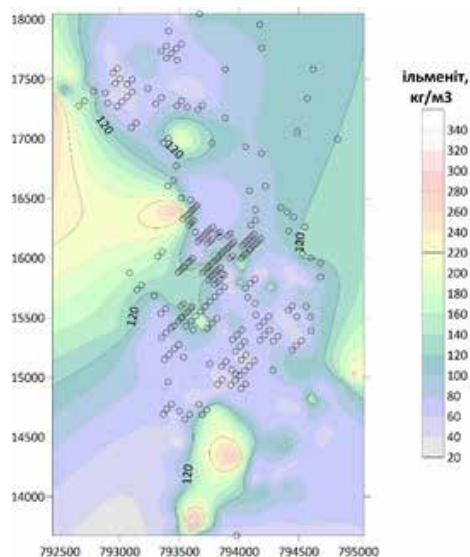


Рис. 1. Карта латерального розподілу середнього вмісту ільменіту в корі вивітрювання

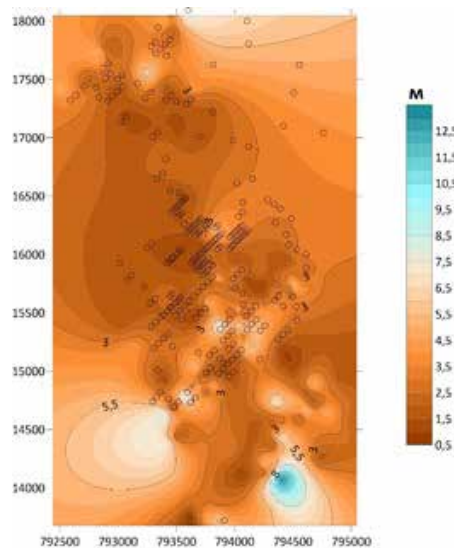


Рис. 2. Карта потужності кори вивітрювання

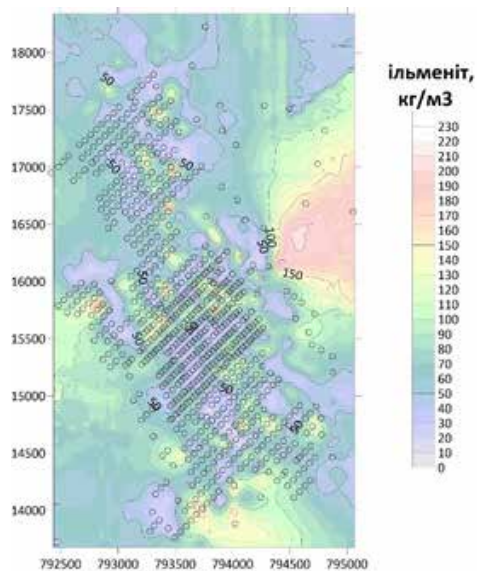


Рис. 3. Карта латерального розподілу середнього вмісту ільменіту в продуктивних флювіальних теригенних утвореннях мезозой-кайнозою

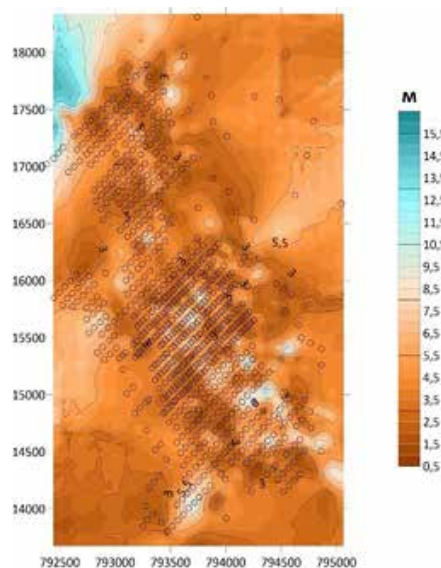


Рис. 4. Карта потужності продуктивних флювіальних теригенних утворень мезозой-кайнозою

вмістом ільменіту в елювії. Максимальне значення потужності кори вивітрювання становить 14 м, мінімальне – 0,5 м, середнє – 3,1 м.

Розподіл середніх концентрацій ільменіту в продуктивних флювіальних теригенних утвореннях мезозой-кайнозою Катеринівського родовища за латераллю не рівномірний та має плямистий характер (рис. 3). Плямиста смуга найменшого середнього вмісту ільменіту видовжена в субмеридіональному напрямку. У межах цієї смуги більші за розміром ділянки незначного вмісту ільменіту перемежуються з незначними за розміром ділянками значного середнього вмісту мінералу. Найбільший середній вміст ільменіту притаманний північно-східній і частково південній частинам родовища. Максимальний середній вміст ільменіту $640,3 \text{ кг/м}^3$, мінімальний – $2,6 \text{ кг/м}^3$, середнє значення – $63,7 \text{ кг/м}^3$.

Потужність продуктивних флювіальних теригенних утворень мезозой-кайнозою (рис. 4) коливається від 0,5 м до 23,2 м (середнє – 4,1 м). Ділянки підвищеної потужності мають плямистий характер, а найбільші потужності приурочені до північно-західної частини родовища.

Аналізуючи отримані дані стосовно рудоносності Катеринівського родовища варто відмітити, що найвищі середні вмісти ільменіту та найбільша потужність продуктивного покладу притаманна теригенній флювіальній його частині, натомість середній вміст ільменіту більший у елювіальній частині.

У вертикальному перетині свердловин вміст ільменіту розподіляється нерівномірно з певними особливостями для кожної свердловини. У більшості свердловин максимальні значення вмісту ільменіту приурочені до продуктивних флювіальних теригенних утворень мезозой-кайнозою, однак для свердловин 192 та 216 – до кори вивітрювання. Присутні один (св. 128, 136, 192, 232, 268) або два (св. 216) рівня збагачення ільменітом (рис. 5). Вміст ільменіту в надрудній товщі не нижче 2 кг/м^3 . Наявне збільшення вмісту ільменіту до $83,6 \text{ кг/м}^3$ (св. 216) у надпродуктивних теригенних утвореннях від мезозой-кайнозою до антропогену. Це свідчить про просторовий зв'язок корінних порід, кори вивітрювання та осадової частини, а також тривалий історичний процес живлення розсіпуютьними мінералами різновікових і різногене-

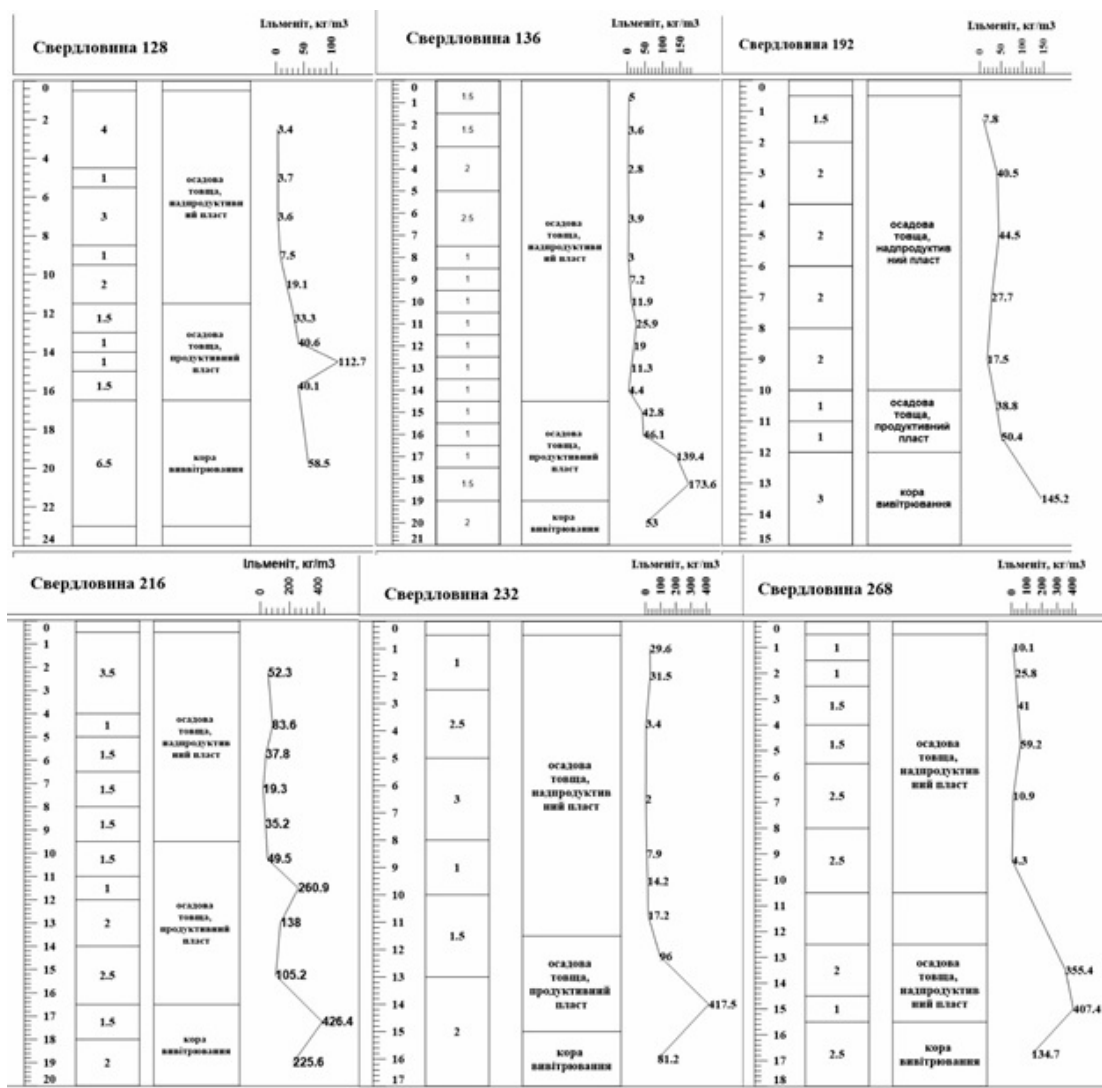


Рис. 5. Вертикальний розподіл вмісту ільменіту Катеринівського родовища

тичних теригенних флювіальних утворень (рис. 5).

Висновки. У межах Катеринівського родовища наявні два генетичних типи утворень, які містять кондіційні вмісти: елювіальні і алювіальні. Встановлено, що у будові продуктивного покладу елювіальні та алювіальні утворення складають близько 50%.

Вміст ільменіту в корі вивітрювання становить 50 – 100 кг/м³ і перевищує такий у материнських породах збільшуючись у напрямку до зони повної каолінізації елювію. Ільменіт характеризується високою якістю, а його хімічний склад не значно змінюється вгору за розміром елювію.

У складі флювіальних теригенних утворень мезозой-кайнозою нижньокрейдово-міоценові утворення становлять 15%; відклади міоцен-пліоценові – не більше 1%; неоген-нижньочетвертинні алювіальні – 60%, алювіально-озерні – близько 2%; породи нижньо-середньочетвертинного віку – 2%; середньочетвертинні підморенні піски – 25% їх об'єму. У будові продуктивного покладу алювіальні і алювіально-озерні утворення верхньочетвертинного віку та сучасні відклади не задіяні.

У корі вивітрювання вміст ільменіту 16,7–376 кг/м³; лише на окремих ділянках з найбільш рівномірним вмістом ільменіту його середній вміст становить близько 80 кг/м³.

Розподіл середнього вмісту ільменіту в рудному пласті осадової частини покладу за латераллю становить 2,6 – 640,3 кг/м³ (середнє – 63,7 кг/м³). Серед цих відкладів вміст ільменіту: в нижньокрейдово-міоценових делювіально-алювіальних відкладах коливається від 3,0 – 15,0 до 407,4 кг/м³ (максимальний вміст притаманний крупнозернистим піскам нижньої частини розрізу); в морських міоцен-пліоценових відкладах – 3,0–7,0 кг/м³, іноді – 26,8 кг/м³; у вторинних каолінах – 315 кг/м³; для неоген-нижньочетвертинних алювіально-озерних відкладів характерний незначний вміст ільменіту (0,5 – 6,0 кг/м³), лише зрідка (в піщаних каолінах) вміст мінералу досягає 30 – 40 кг/м³ (в одиничних пробах 156,5 кг/м³). В алювіальних відкладах іль-

меніт розподілений більш-менш рівномірно і його вміст становить 40–100 кг/м³; присутні лінзи піску з вмістом ільменіту до 594,3 кг/м³. Відклади алювіально-озерної нижньо-середньочетвертинної товщі мають незначний вміст ільменіту (4,8 кг/м³), однак інколи він досягає 176,1 кг/м³. У середньочетвертинних утвореннях середній вміст ільменіту 30–40 кг/м³ (максимум 438,8 кг/м³). Середній вміст ільменіту у верхньочетвертинних терасових відкладах переважно незначний – 1,0–12,3 кг/м³, іноді – 76,8 кг/м³; в алювіальних відкладах струмків середній вміст мінералу – 18,0–31,4 кг/м³. Середній вміст ільменіту у відкладах заплав – 3,5–16,3 кг/м³; у сучасних відкладах – 22,8 кг/м³.

Окрім ільменіту в незначній кількості (в середньому 0,2 – 0,4%) присутні такі мінерали: лейкоксен (від знаків до 0,2%), лімоніт (від знаків до 0,1%), апатит (від 0,1 до 2,6%), марказит (від знаків до 1,0%), титано-магнетит (від знаків до 0,2%), сидерит (0,6% лише в корі вивітрювання), гранати (від знаків до 0,05%), ставроліт (від знаків до 0,04%, в корі вивітрювання відсутній), рутил (до 0,02%), циркон (від знаків до 0,05%), турмалін (знаки), марказит по ільменіту (0,2% в корі вивітрювання). Вміст сидериту, апатиту, марказиту більший у корі вивітрювання.

На основі інтерпретації даних структурно-літологічної моделі Катеринівського родовища зроблено висновок, що найвищі середні вмісти ільменіту та найбільша потужність продуктивного покладу притаманна теригенній флювіальній його частині, натомість середній вміст ільменіту більший у елювіальній частині. Встановлено просторово-генетичний зв'язок корінних порід, кори вивітрювання та осадової частини, а також тривалий історичний процес живлення розсипоутворюючими мінералами різновікових і різногенетичних теригенних флювіальних утворень. Отримана структурно-літологічна модель може слугувати основою для розробки техніко-економічного обґрунтування для дорозвідки або розробки Катеринівського родовища.

Література:

1. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том. 1. Металічні корисні копалини. / Д. Гурський та ін.; ред.: М. Щербак, С. Гошовський. Київ-Львів: Центр Європи, 2006. 740 с.
2. Рудько Г.І., Бала Г.Р. Критична мінеральна сировина та її перспективи в Україні. *Мінеральні ресурси України*. 2021. № 2. С. 3–14. <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>
3. Ганжа О.А., Кузьманенко Г.О., Охоліна Т.В., Ремезова О.О. Сучасний стан мінерально-сировинної бази розсипних родовищ титану України. *Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Геологія*. 2022. № 4(99). С. 60–66.
4. Свівальнева Т.В. Геологія та рудоносність Злобичького розсипного родовища ільменіту (Український щит). Автореф. наук. ступеня канд. геол.н. : 04.00.01. Київ, 2014. 22 с.
5. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Рудоносність Осинової ділянки Межирічного родовищатитанових руд. *Геохімія та рудоутворення*. 2022. Вип. 43. С. 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059>
6. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Геологічна будова та рудоносність Юрської ділянки Межирічного родовища титанових руд. *Мінералогічний журнал*. 2023. Вип. 45, № 4. С. 100–117. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100>
7. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Ільменітоносність продуктивних відкладів та якісні параметри ільменіту Тросцяницького родовища титанових руд. *Мінералогічний збірник*. 2024. №74. С. 31–44
8. Kompanets H., Ganzha O., Kushnir A. Titanium deposits characteristics of the Volyn region. *Ideas and Innovations in Earth Sciences : Proceedings of the 10-th International Geosciences conference of young researchers*. May 23-24, 2024. Kyiv. P. 45–47. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.iies.2024.17>
9. Комлев О.О. Історико-динамічні басейнові геоморфосистеми геоморфологічних формацій Українського щита : дис. докт. геогр. наук : 11.00.04. Київ, 2005. 523 с.

10. Ganzha, O., Okholina, T., Kroshko, Yu., Kuzmanenko, H. & Kovalchuk, M. 2023, «Structural and Lithological Models of Ilmenite Placer Deposits in Ukraine», *Anuário do Instituto de Geociências*, 46:55949. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2023_46_55949

11. Хрущов Д.П., Лобасов О.П., Ремезова О.О., Василенко С.П., Свівальнева Т.В., Кравченко О.А. Цифрові структурно-літологічні моделі Злобицького та Мотроно-Аннівського розсипних родовищ титан-цирконієвих руд. *Геологічний журнал*. 2013. № 2. С. 26–36.

12. Костенко М.М. Геологічна будова та коричні копалини басейну верхньої течії р. Уж. Звіт геологозйомочного загону №10 Житомирської КГРП і Правобережної геофізичної партії за 1991–1999 рр., території аркуша М-35-XI (Коростень). Київ. 1999 р. 365 с.

References:

1. Gursky D. et al. (2006) Metal and non-metallic minerals of Ukraine . Vol. 1. Metal minerals.: Edited by M. Shcherbak, S. Hoshovsky. Kyiv-Lviv : Center of Europe. 740 p. [in Ukrainian].

2. Rudko, G.I., Bala, G.R. (2021). Mineralogical collection. 2. UA. pp. 3–14. DOI: <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14> [in Ukrainian].

3. Ganzha, O.A., Kuzmanenko, G.O., Okholina, T.V., Remezova, O.O. (2022) Current state of the mineral and raw material base of placer titanium deposits of Ukraine. *Bulletin of Kyiv National University named after T. Shevchenko. Geology*. No. 4(99). P. 60–66 [in Ukrainian].

4. Svivalneva, T.V. (2014) Geology and ore bearing of the Zlobytsky placer ilmenite deposit (Ukrainian shield). Abstract of sciences. candidate degree geol.n. : 04.00.01. Kyiv. 22 p. [in Ukrainian].

5. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2022) Ore-bearing capacity of the Asinova section of the Mezhyrich deposit of titanium ores. *Geochemistry and ore formation*. Vol. 43. P. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059> [in Ukrainian].

6. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2023) Geological structure and ore bearing of the Jurassic section of the Mezhyrich deposit of titanium ores. *Mineralogical journal*. Vol. 45, No. 4. P. 100–117. DOI: <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.04.100> [in Ukrainian].

7. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2024) Ilmenite content of productive sediments and quality parameters of ilmenite of the Trostyanytsky deposit of titanium ores. *Mineralogical collection*. No. 74. P. 31–44 [in Ukrainian].

8. Kompanets, H., Ganzha, O., Kushnir, A. Titanium deposits characteristics of the Volyn region. *Ideas and Innovations in Earth Sciences* : Proceedings of the 10-th International Geosciences conference of young researchers. May 23-24, 2024. Kyiv. P. 45–47. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.iies.2024.17> [in Ukrainian].

9. Komlev, O.O. (2005) Historical and dynamic basin geomorphosystems of geomorphological formations of the Ukrainian shield: diss. dr. geogr. Sciences: 11.00.04. Kyiv. 523 p. [in Ukrainian].

10. Ganzha, O., Okholina, T., Kroshko, Yu., Kuzmanenko, H. & Kovalchuk, M. (2023) «Structural and Lithological Models of Ilmenite Placer Deposits in Ukraine», *Anuário do Instituto de Geociências*, 46:55949. DOI: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2023_46_55949.

11. Khrushchev, D.P., Lobasov, O.P. Remezova, O.O., and others (2013) Digital structural and lithological models of the Zlobytsky and Motrono-Annivsky placer deposits of titanium-zirconium ores. *Geological Journal*. № 2. P. 26–36. [in Ukrainian].

12. Kostenko, M.M. (1999) Geological structure and mineral resources of the upper reaches of the Uzh River. Report of the geological survey team No. 10 of the Zhytomyr KGRP and the Right Bank Geophysical Party for 1991-1999, the territory of the sheet M-35-XI (Korosten). 365 p. [in Ukrainian].

ДИНАМІКА ЗАБРУДНЕННЯ ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ БІОГЕННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЗА ГІДРОХІМІЧНИМИ ТА СУПУТНИКОВИМИ МЕТОДАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Грига Марина Юріївна,

кандидат геологічних наук, науковий співробітник

Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України,

співзасновник, головний аналітик

Центру інноваційних досліджень Землі та космічного простору

ORCID ID: 0009-0003-9297-1161

Поверхневі води Дніпра зазнають постійного антропогенного навантаження через стоки різної природи. Біогенні елементи, які потрапляють зі стоками, чинять негативний вплив на водну екосистему та сприяють розвитку процесів евтрофікації. Забруднення є найбільш вираженим в межах водосховищ Дніпра. Мета роботи полягала у дослідженні динаміки забруднення поверхневих вод дніпровських водосховищ біогенними елементами із застосуванням гіdroхімічних методів та методів дистанційного зондування Землі. Об'єктом дослідження були території в межах Дніпровського водосховища та нижньої частини Кам'янського водосховища, від сел. Аули до міста Дніпро. Предметом дослідження були багаторічні та сезонні зміни концентрацій амоній-іонів NH_4^+ та фосфат-іонів PO_4^{3-} у поверхневих водах для періоду з 2015 по 2023 рік, та водні індекси NDWI, отримані в результаті дистанційного зондування Землі супутником Sentinel-2A для періоду з 2017 по 2023 рік. Було встановлено, що територія дослідження в межах Дніпровського водосховища та нижньої частини Кам'янського водосховища належить до однієї зони еколого-гіdroхімічних змін через подібні риси річних та сезонних розподілів біогенних елементів. Характер багаторічних змін концентрацій амонію вказує на його поступове зростання в межах усієї території дослідження. Фосфати мають більш виражену сезонність в порівнянні з амонієм та набувають явно вираженого максимуму в серпні-вересні, що відповідає максимальному прояву евтрофікації в межах території досліджень за супутниковими даними. Характер сезонних змін якості води за амонієм та індексами NDWI, вказує на системне зростання забруднення поверхневих вод у вегетаційний період, та сповільнення забруднення в холодну пору року. Поєднання гіdroхімічних даних і даних дистанційного зондування Землі забезпечує надійний метод оцінки динаміки забруднення поверхневих вод біогенними елементами, який може бути використаний для вдосконалення систем моніторингу та стратегій управління якістю води.

Ключові слова: поверхневі води, біогенні елементи, амоній, фосфати, евтрофікація, дніпровські водосховища, дистанційне зондування Землі, водний індекс.

Hryha Maryna. Dynamics of nutrient pollution in Dnieper Reservoirs: combining hydrochemical and remote sensing techniques

The Dnieper River's surface waters are under constant anthropogenic pressure due to various wastewater discharges. These discharges introduce nutrients to water that negatively impact the aquatic ecosystem, driving eutrophication which is the process that occurs when the environment becomes enriched with nutrients, increasing the amount of plant and algae growth. Nutrients include nitrogen and phosphorus compounds due to their ability to affect the vital functions of microorganisms and plants and cause biogenic pollution of water bodies. As the Dnipro River provides drinking and food water for 70% of the population, studying its pollution dynamics is strategically vital. The Dnipro reservoir cascade exhibits heightened sensitivity to biogenic contamination due to diminished water exchange rates, sedimentation, and progressive shallowing of extensive regions. This study aimed to investigate the dynamics of nutrient pollution in reservoir surface waters using hydrochemical analyses and remote sensing techniques. The study focused on the Dnieper Reservoir and the lower Kamianske Reservoir, specifically from Auly to Dnipro. It examined long-term and seasonal changes in ammonium (NH_4^+) and phosphate (PO_4^{3-}) concentrations in surface waters from 2015 to 2023 and analyzed NDWI derived from Sentinel-2A satellite data from 2017 to 2023. The findings indicated that the Dnieper and lower Kamianske Reservoirs form a single ecological-hydrochemical zone, characterized by similar annual and seasonal nutrient distribution patterns. Long-term ammonium trends show a gradual increase across the study area. Phosphate levels exhibited greater seasonal variability than ammonium, peaking in August-September, which aligned with maximum eutrophication with algae bloom observed via satellite imagery. Seasonal water quality trends, based on ammonium and NDWI, revealed consistent increases in pollution during the growing season, followed by a slowdown in colder months. Combining hydrochemical and remote sensing data provides a robust method for assessing surface water pollution dynamics, which can inform the development of effective monitoring systems and water quality management strategies.

Key words: surface waters, nutrients, ammonium, phosphates, eutrophication, algae bloom, Dnieper reservoirs, remote sensing, NDWI.

Вступ. Поверхневі води України зазнають постійного антропогенного навантаження через дифузні і точкові джерела комунально-побутового, промислового та сільськогосподарського характеру [1]. Щорічно до водойм України потрапляють сотні мільйонів кубометрів забруднених стічних вод, половина з яких припадає на Дніпро [2].

Оскільки Дніпро при цьому є джерелом забезпечення питних та продовольчих потреб 70% споживачів держави [3], стратегічно важливим є всебічне дослідження динаміки його забруднення. Особливу роль при забрудненні поверхневих вод Дніпра відіграють біогенні елементи [4]. До біогенних

елементів (речовин) відносять сполуки азоту і фосфору через їх здатність впливати на життєдіяльність мікроорганізмів та рослин і бути відповідальними за біогенне забруднення водойм [5; 6]. Надмірна кількість біогенних елементів у поверхневих водах викликає зміну поживних режимів водойм та створює передумови для виникнення евтрофікації («цвітіння» водойми) [6; 7]. В результаті масової евтрофікації, екосистема водойми може бути змінена, що супроводжується зменшенням біорізноманіття та розвитком шкідливих ціанобактерій [8].

Через уповільнення водообміну, замулення та обміління значних територій, каскад дніпровських водосховищ є чутливим до біогенного забруднення [9]. Поверхневі води Кам'янського та Дніпровського водосховищ, що розташовані в індустріальному регіоні з високою густотою населення, є під дією сумарних негативних впливів, а вода для комунально-побутових потреб з питних водозаборів цих територій має проходити численні методи очистки. Всебічне дослідження динаміки змін поверхневих вод складних водних системи, які зазнають постійного антропогенного впливу, передбачає комплексування різних підходів та методів.

Сучасні проблеми зміни стану поверхневих вод Дніпра були досліджені в [10; 11], де відмічено погіршення рівня забруднення за деякими сполуками азоту, фосфатами, виявлене зростання рівня біохімічного споживання кисню значної частини території басейну. Дослідженню екологічного стану Кам'янського та Дніпровського водосховищ, в тому числі із використанням методів дистанційного зондування Землі присвячені роботи [3; 12; 13]. Реалізація гідрохімічних досліджень із застосуванням методів математичної статистики продемонструвала значимі результати при оцінці просторово-часових змін забруднення поверхневих вод при негативних антропогенних впливах [14]. Застосування індексу NDWI при дослідженні біогенного забруднення та евтрофікації поверхневих вод дозволило оцінити забруднення водних систем по всьому світу [15; 16; 17; 18]. Отже, комплексування гідрохімічних та методів дистанційного зондування Землі є вдалим рішенням при дослідженні динаміки забруднення біогенними елементами дніпровських водосховищ.

Матеріал та методи. В процесі дослідження були задіяні дані Державного водного агентства, яке проводить моніторинг поверхневих вод відповідно до Порядку здійснення державного моніторингу вод, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 758. В статті були використані дані, отримані Лабораторією моніторингу вод РОВР у Дніпропетровській області при щомісячних вимірюваннях концентрацій наступних біогенних елементів: амонію (амоній-іонів NH_4^+) і фосфатів (фосфат-іонів PO_4^{3-}). Дослідження проводились для періоду з січня 2015 року по грудень 2023 року для трьох пунктів спостереження, розташованих в межах питних водозаборів Кам'янського та Дніпровського водосховищ. Станції спостереження розташовані зверху вниз за течією Дніпра в наступній послідовності: S(462) – на території нижньої частини Кам'янського водосховища в межах водозабору м.

Кам'янське біля сел. Аули на відстані 462 км від гирла Дніпра, S(420) – на території Дніпровського водосховища в межах Кайдакського водозабору м. Дніпро на відстані 420 км від гирла Дніпра, S(404) – на території Дніпровського водосховища в межах питного водозабору м. Дніпро на відстані 404 км від гирла Дніпра.

При проведенні дослідження поверхневих вод із використанням даних дистанційного зондування Землі були використані матеріали, отримані супутником Sentinel-2A Європейського космічного агентства за період з 2017 по 2023 рік включно. Для аналізу якості поверхневих вод був використаний водний індекс NDWI [19; 20], який є показником, що визначається як відношення різниці діапазонів B03 та B08 до їх суми, та реалізована оцінка знімків у видимому діапазоні у форматі Highlight Optimized Natural Color. Був проведений аналіз NDWI в межах території розташування станцій спостереження для 342 космічних знімків, отриманих при хмарності від 0 до 30%. Візуалізація даних була проведена з використанням Copernicus Browser.

В процесі дослідження застосовувались методи математичної статистики з розрахунком базових статистичних показників [21]. Були розраховані середньорічні та середньомісячні медіанні значення концентрацій амонію і фосфатів для кожного пункту спостереження за період з 2015 по 2023 рік, встановлені кореляційні зв'язки з розрахунком коефіцієнтів кореляції Пірсона [22] та оцінкою значущості кореляції з використанням альфа-рівнів.

Результати. В представленій статті оцінка харктеру змін концентрацій біогенних елементів в межах усіх станцій спостереження була реалізована з використанням статистичних методів, а висновки щодо сезонних трендів змін якості води були виконані, зважаючи на аналіз гідрохімічних даних та NDWI індексів.

З метою оцінки багаторічної динаміки забруднення поверхневих вод були розраховані медіанні значення для кожного року спостережень, основані на даних щомісячних вимірювань концентрацій амонію та фосфатів (рис. 1).

За результатами аналізу багаторічних змін концентрацій амонію та фосфатів (рис. 1) можна виділити ряд закономірностей. Амоній демонструє стабільний висхідний тренд зростання концентрацій в межах усіх станцій спостереження. В порівнянні з 2015 роком середньорічні концентрації амонію зросли в середньому на 25%. Найбільші концентрації серед усіх років дослідження спостерігались в 2018 році (0,38 мг/дм³ для S(462), 0,41 мг/дм³ для S(420), 0,39 мг/дм³ для S(404)), та в 2023 році ((0,41 мг/дм³ для S(462), 0,43 мг/дм³ для S(420), 0,42 мг/дм³ для S(404)). Фосфати за період дослідження змінили тренд і почали демонструвати щорічний ріст після різкого падіння показників протягом 2020 року, а в 2023 році концентрації фосфатів знову набули рівнів, характерних для періоду 2015-2019 років та склали 0,27 мг/дм³ для S(462), 0,31 мг/дм³ для S(420) та 0,33 мг/дм³ для S(404).

Характер багаторічних змін концентрацій фосфатів і амонію в межах усіх станцій спостереження вказує на спільні гідрологічні, гідрохімічні, антропогенні та клі-

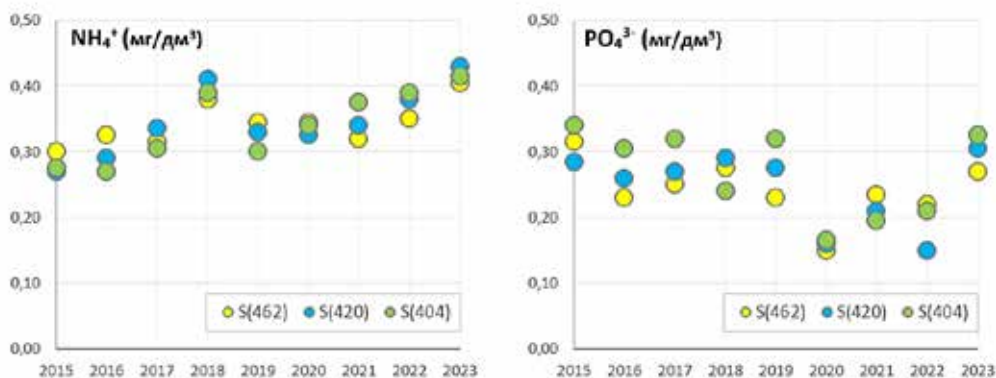


Рис. 1. Багаторічні зміни концентрацій амонію та фосфатів протягом 2015-2023 рр. в межах Дніпровського та нижньої частини Кам'янського водосховищ Дніпра

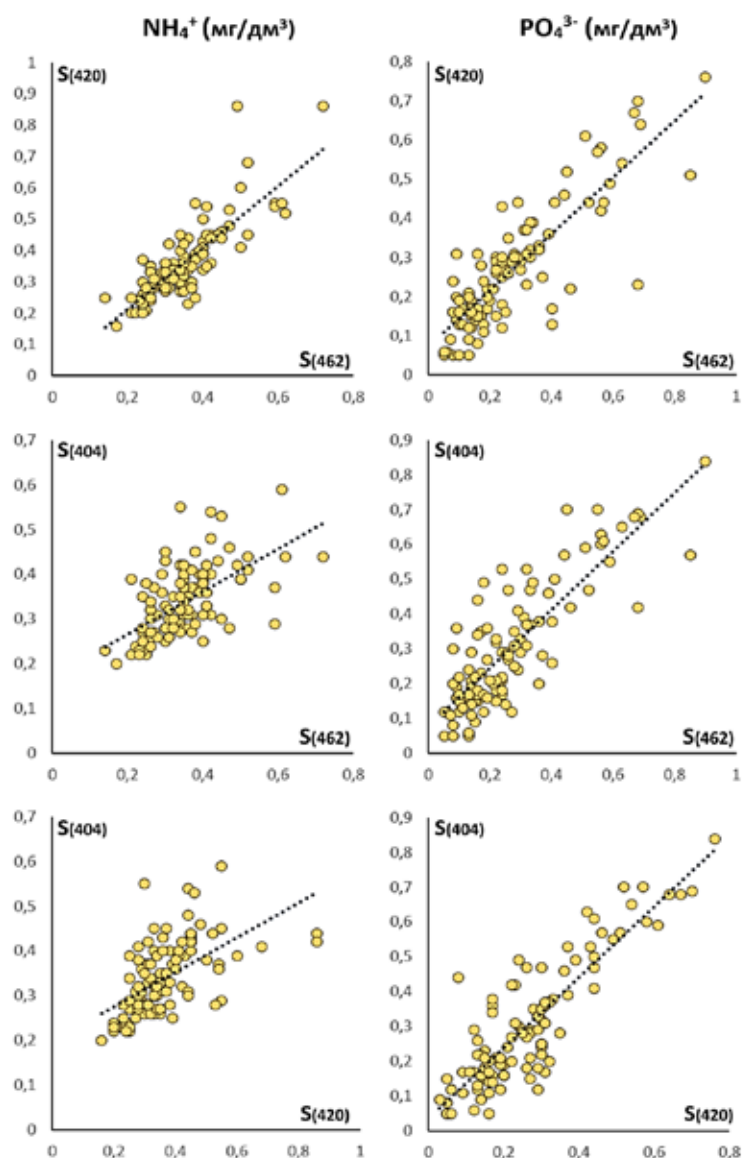


Рис. 2. Діаграми розсіювання залежності розподілу амонію та фосфатів для станцій спостереження в межах Дніпровського та нижньої частини Кам'янського водосховищ Дніпра

матичні чинники, які одночасного впливають на якість поверхневих вод в Дніпровському та південній частині Кам'янського водосховищ. Це підтверджується при розгляді діаграм розсіювання залежності щомісячних концентрацій біогенних елементів за 2015–2023 рр. між станціями спостереження (рис. 2).

На графіках можна спостерігати наявність виражених лінійних зв'язків у розподілах фосфатів та амонію між станціями спостереження, що вказує на одночасність змін рівнів забруднення біогенними елементами усю територію дослідження. Подібна лінійність також відображена в результатах кореляційного аналізу Пірсона. Для усіх станцій спостереження був встановлений високий рівень кореляційних зв'язків у розподілі фосфатів. Тут характерні значення коефіцієнтів кореляції Пірсона $r = 0,84$ між S462 та S420, $r = 0,84$ між S462 та S404 та $r = 0,89$ між S420 та S404. Для амонію високі кореляції спостерігаються між S462 та S420 зі значеннями $r = 0,82$. Окремо виділяється станція спостереження S404, для якої є характерними менші кореляційні зв'язки з іншими станціями спостереження за розподілом амонію, що також відображене на діаграмах розсіювання на рис. 2. Коефіцієнти кореляції характеризуються значеннями $r = 0,57$ між S462 та S404 та $r = 0,59$ між S420 та S404, які незважаючи на невисокі показники знаходяться суттєво вище рівня значущості, границя якого знаходиться на рівні 0,20 (при $\alpha=0,05$). Саме для станції S404 характерні найбільш виражені тренди зростання середньорічних концентрацій амонію, починаючи з 2019 року, а її розміщення в межах міста Дніпро вказує на можливі додаткові антропогенні чинники впливу на водну екосистему, відмінні від інших двох станцій спостереження (рис. 2).

З метою встановлення закономірностей сезонних змін сполук азоту і фосфору, були визначені середні за медіанами значення щомісячних показників для періоду з 2015 по 2023 рік. Графіки розподілу для амонію та фосфатів представлені на рис. 3. Було встановлено, що амоній характеризується сезонними коливаннями показників з найбільш типовим зростанням концентрацій у липні та серпні, і високими рівнями концентрацій у травні та, частково, вересні. Найменші показники концентрацій характерні для березня. Фосфати мають більш виражений сезонний розподіл в порівнянні з амонієм. Вони характеризуються наявністю мінімальних значень у квітні і травні, набувають поступового зростання починаючи з червня і досягають максимальних значень протягом періоду з серпня по жовтень, які змінюються падінням показників у холодну пору року. Як зазначене у [23], такий сезонний розподіл фосфатів може відображати періоди водопілля в квітні – травні, та масового розкладання фітопланктону наприкінці літа та на початку осені (рис. 3).

Особливості сезонної динаміки стану поверхневих вод Кам'янського та Дніпровського водосховищ було також досліджено з використанням даних супутникового зондування Землі. Був проведений аналіз космічних знімків для періоду з 2017 р по 2023 рік в межах територій розташування станцій спостереження. Дослідження проводилися з використанням водного індексу NDWI та у видимому оптичному діапазоні у форматі Highlight Optimized Natural Color. Було встановлено, що в межах усієї території дослідження присутні істотні зміни у розподілі водних індексів протягом року, які водночас корелюють з характером сезонних змін біогенних елементів. Загальний сезонний розподіл NDWI є співставним зі змінами концентрацій амонію, а при максимальних значеннях відповідає наявності максимальних концентрацій фосфатів. В холодну пору року водосховища характеризуються індексами вищими за 0,3, що є показниками чистих водойм, при можливому діапазоні змін NDWI від -1 до 1. В теплу пору року якість поверхневих вод починає погіршуватись з квітня, коли показники NDWI набувають значень від 0,15 до 0. Найгірших значень показники водного індексу набувають в серпні та на початку вересня, коли значення NDWI можуть бути від 0, при частковому забрудненні територій і до -0,5, коли значну частину водойми перекривають смуги водоростей, а прибережні зони та мілководні ділянки покриваються суцільною плівкою ціанобактерій.

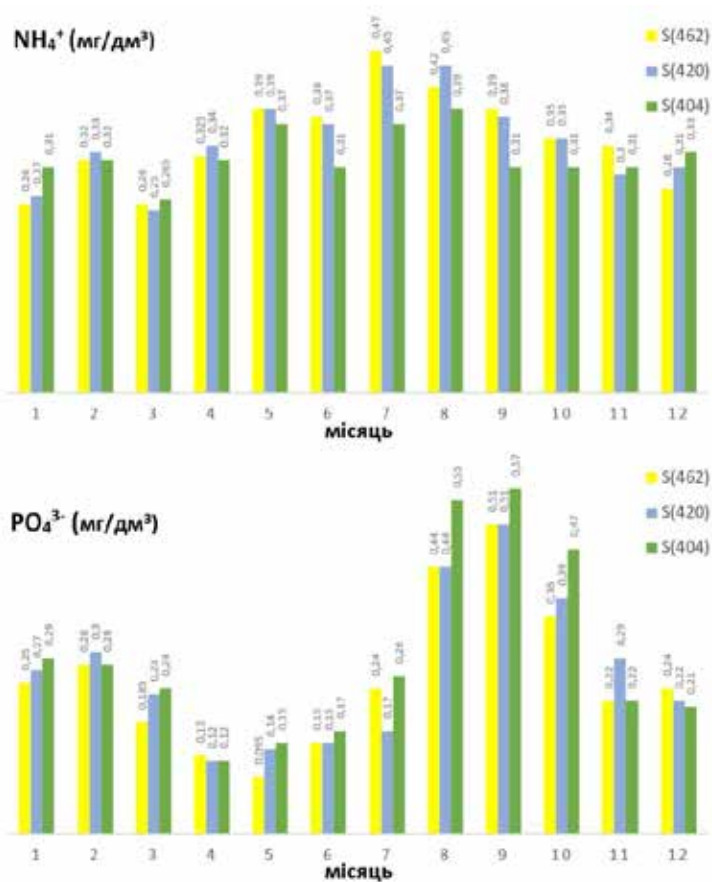


Рис. 3. Щомісячні зміни концентрацій амонію і фосфатів у поверхневих водах Дніпровського та нижньої частини Кам'янського водосховищ Дніпра

Покращення стану водойм простежуються з кінця вересня або в жовтні, а з листопаду і до льодоставу водні індекси можуть демонструвати значення 0,4 і вище. На рисунках 4, 5, 6 показано типові відображення водосховищ у періоди наявності та відсутності біогенного забруднення. Продемонстровано серпневе забруднення поверхневих вод Кам'янського та Дніпровського водосховищ з нульовими та від'ємними

індексами NDWI та проявами евтрофікації, які спостерігаються як за водними індексами, так і у видимому діапазоні. Також на рисунках 4, 5, 6 зображено типову для осінніх вод картину, що відображає їх очищення, в тому числі від біогенних елементів.

Було встановлено, що прояви евтрофікації носять системний характер в серпні та на початку вересня для усіх територій дослідження в межах Кам'янського

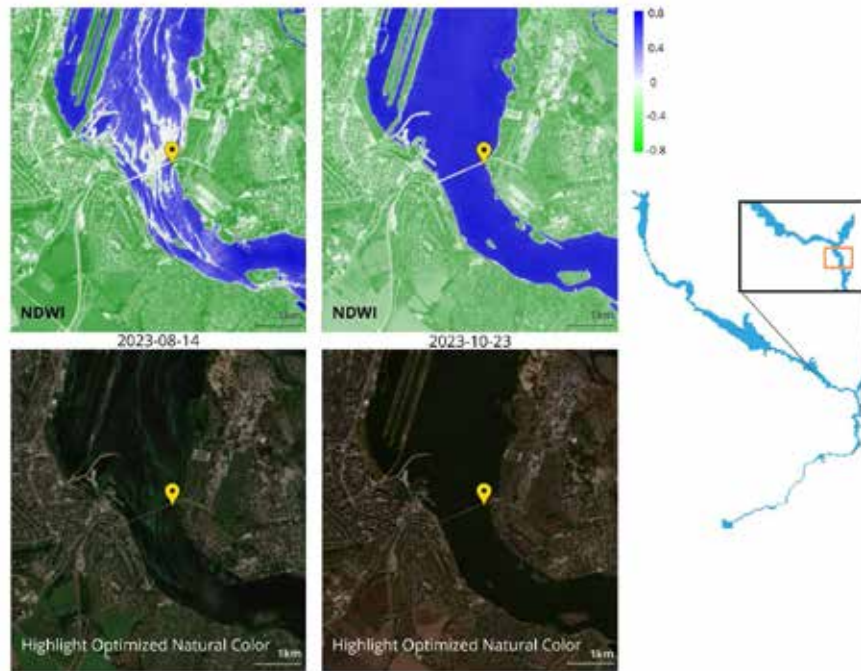


Рис. 4. Результати супутникових досліджень території в межах станції спостереження S404 (Дніпровське водосховище)

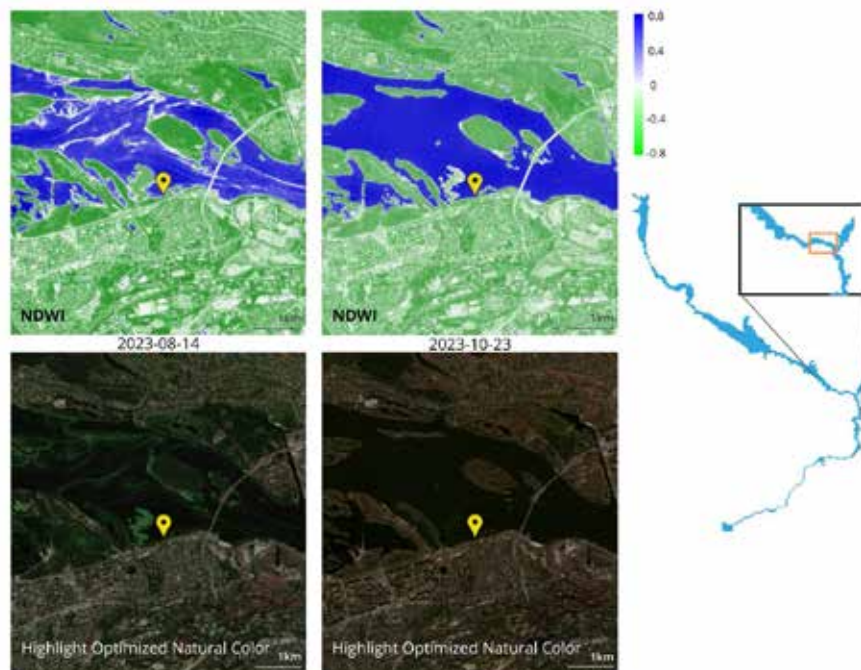


Рис. 5. Результати супутникових досліджень території в межах станції спостереження S420 (Дніпровське водосховище)

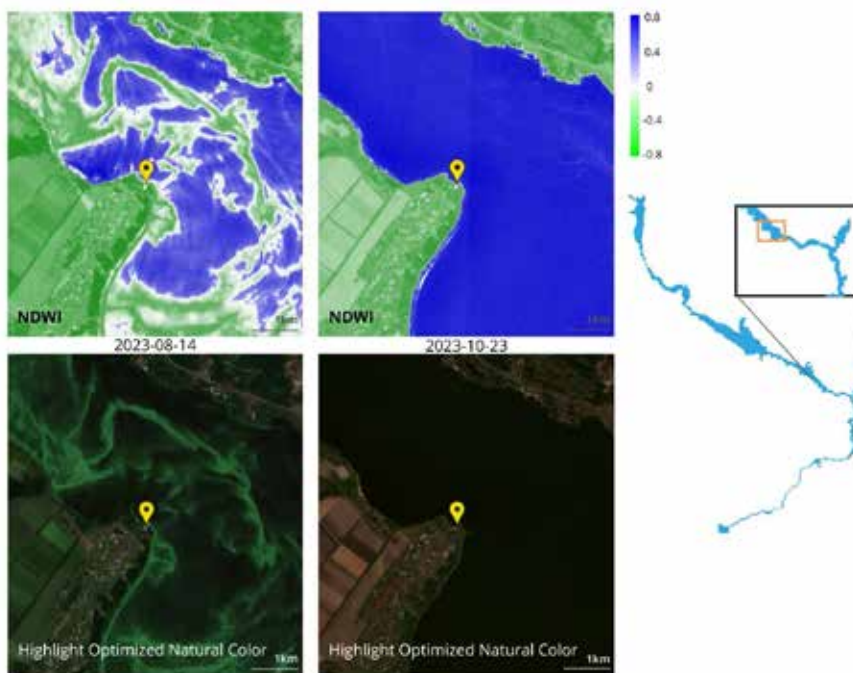


Рис. 6. Результати супутникових досліджень території в межах станції спостереження S462 (Кам'янське водосховище)

та Дніпровського водосховища та були типовими протягом усіх років, для яких проводились дослідження супутникових даних.

Висновки. В результаті проведених досліджень були отримані наступні результати. Було встановлено, що комплексуювання гідрохімічних методів та методів дистанційного зондування Землі дає можливість проведення системної оцінки динаміки забруднення поверхневих вод.

Було встановлено, що територія дослідження в межах Кам'янського та Дніпровського водосховищ належить до однієї зони еколого-гідрохімічних змін через подібні риси річних та сезонних розподілів біогенних елементів.

Характер багаторічних змін концентрацій амонію вказує на його поступове зростання в межах усієї території дослідження.

Фосфати мають більш виражену сезонність в порівнянні з амонієм та набувають явно вираженого максимуму в серпні-вересні, що відповідає максимальному прояву евтрофікації територій досліджень за супутниковими даними.

Характер сезонних змін якості води за амонієм та індексами NDWI, вказує на системне зростання забруднення поверхневих вод у вегетаційний період, та сповільнення забруднення в холодну пору року.

Поєднання гідрохімічних даних і даних дистанційного зондування Землі забезпечує надійний метод оцінки динаміки забруднення поверхневих вод біогенними елементами, який може бути використаний для вдосконалення систем моніторингу та стратегій управління якістю води.

Література:

1. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року». 2021. 55 с. DOI: <https://davr.gov.ua/proyekt-zakonu-ukraini-pro-vnesennya-zmin-do-zakonu-ukraini-pro-zatverdzhennya-zagalnoderzhavnoi-cilvoi-programi-rozvitku-vodnogo-gospodarstva-ta-ekologichnogo-ozdorovlennya-basejnu-richki-dni-pro-na-period-do-2021-roku>.
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. М-во зах. довкілля та природ. ресурсів України, 2021. 514 с. DOI: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>.
3. Пічура В. І., Потравко Л. О. Екологічний стан басейну ріки Дніпро та удосконалення механізму організації природокористування на водозабірній території. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2021. №. 1. Р. 170–200. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.14>
4. Строкаль В. П., Ковпак А. В. Причинно-наслідковий зв'язки забруднення біогенними елементами басейну річки Дніпра: синтез теоретичних даних. *Екологічні науки*. 2021. Vol. 35, no. 2. Р. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6>
5. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник. Київ: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
6. Дудник С. В., Євтушенко М. Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: монографія. Київ: Вид-во Укр. фітосоціол. центру, 2013. 298 с.
7. Khan F. A., Ansari A. A. Eutrophication: an ecological vision. *The botanical review*. 2005. Vol. 71, no. 4. Р. 449–482. DOI: [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2005\)071\[0449:eaev\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2005)071[0449:eaev]2.0.co;2)

8. Чуб І. М. Мікробіологія і хімія води. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2019. 122 с.
9. Хільчевський В. К., Гребін В. В. Великі і малі водосховища України: регіональні та басейнові особливості поширення. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. Т. 60, № 2. С. 6–17. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.1>
10. Грига М. Ю. Оцінка просторово-часових змін біохімічного споживання кисню (БСК) поверхневих вод Дніпра. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2024. Т. 72, № 2. С. 29–41. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.2.3>
11. Грига М. Ю. Еколого-геохімічна оцінка закономірностей розподілу сполук азоту і фосфору в поверхневих водах Дніпра. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2024. Т. 29, № 2 (45). С. 122–136. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2\(45\).318044](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2(45).318044)
12. Вишневський В. І. Просторово-часова мінливість «цвітіння» води у дніпровських водосховищах. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. Т. 20. С. 18–27.
13. Пічур В. І. Просторово-часові тенденції зміни трофічного стану водосховищ річки Дніпро. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сільськогосподарські науки*. 2016. Вип. 4 (76). С. 3–21.
14. Hryha M. Y. Evaluation of chemical indicators of anthropogenic influence in the Lower Danube basin. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. 2024. No. 1 (71). P. 74–84. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.7>
15. Özalkan E. Water body detection analysis using NDWI indices derived from landsat-8 OLI. *Polish journal of environmental studies*. 2020. Vol. 29, no. 2. P. 1759–1769. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/110447>
16. Detection of floating algae blooms on water bodies using planetscope images and shifted windows transformer model / J. Ahn et al. *Remote sensing*. 2024. Vol. 16, no. 20. P. 3791. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16203791>
17. Distinguishing algal blooms from aquatic vegetation in Chinese lakes using Sentinel 2 image / J. Pu et al. *Remote sensing*. 2022. Vol. 14, no. 9. P. 1988. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14091988>
18. Alharbi B. Remote sensing techniques for monitoring algal blooms in the area between Jeddah and Rabigh on the Red Sea Coast. *Remote sensing applications: society and environment*. 2023. P. 100935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100935>
19. McFetters S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*. 1996. Vol. 17, no. 7. P. 1425–1432. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
20. Gao B.-c. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*. 1996. Vol. 58, no. 3. P. 257–266. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3)
21. Vu J., Harrington D. Introductory statistics for the life and biomedical sciences. OpenIntro, Inc., 2020. 472 p.
22. Schober P., Boer C., Schwarte L. A. Correlation coefficients. *Anesthesia & analgesia*. 2018. Vol. 126, no. 5. P. 1763–1768. DOI: <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000002864>
23. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Регіональна гідрохімія України : підручник. ВПЦ «Київ. ун-т», 2019. 343 с.

References:

1. Zvit pro stratehichnu ekolohichnu otsinku proiektu Zakonu Ukrainy «Pro vnesennia zmin do Zakonu Ukrainy «Pro zatverdzhennia Zahalnodержavnoi tsilovoi prohramy rozvytku vodnoho hospodarstva ta ekolohichnoho ozdorovlennia baseinu richky Dnipro na period do 2021 roku». (2021). DOI: <https://dav.gov.ua/proyekt-zakonu-ukraini-pro-vnesennya-zmin-do-zakonu-ukraini-pro-zatverdzhennya-zagalnodержavnoi-cilovoi-programi-rozvitku-vodnoho-gospodarstva-ta-ekologichnogo-ozdorovlennia-basejnu-richki-dnipro-na-period-do-2021-roku> [in Ukrainian].
2. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2021 rotsi. (2021). Ministerstvo zakhystu dovkillya ta pryrodnykh resursiv Ukrainy. DOI: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> [in Ukrainian].
3. Pichura, V. I., & Potravka, L. O. (2021). Ecological condition of the Dnipro River Basin and improvement of the mechanism of organization of nature use on the water catchment territory. *Water Bioresources and Aquaculture*, (1), 170–200. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.14> [in Ukrainian].
4. Strokal, V. P., & Kovpak, A. V. (2021). Causes of nutrient pollution in the Dnieper river basin: theoretical syntheses. *Ecological Sciences*, 35(2), 37–44. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6> [in Ukrainian].
5. Khilchevskiy, V. K., Osadchyi, V. I., & Kurylo, S. M. (2012). Osnovy hidrokhemii. Nika-Tsentr [in Ukrainian].
6. Dudnyk, S. V., & Yevtushenko, M. Yu. (2013). Vodna toksykologhiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhie praktychne zastosuvannia. Vydavnytstvo Ukrainkoho fitosotsiologichnoho tsentru [in Ukrainian].
7. Khan, F. A., & Ansari, A. A. (2005). Eutrophication: An ecological vision. *The Botanical Review*, 71(4), 449–482. DOI: [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2005\)071\[0449:caev\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2005)071[0449:caev]2.0.co;2) [in Ukrainian].
8. Chub, I. M. (2019). Mikrobiologhiia i khimiiia vody. KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
9. Khilchevskiy, V. K., & Grebin, V. V. (2021). Large and small reservoirs of Ukraine: Regional and basin distribution features. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 60(2), 6–17. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.1>
10. Hryha, M. Yu. (2024). Spatiotemporal variation evaluation of biochemical oxygen demand (BOD) in Dnipro River. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, (2 (72)), 29–41. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.2.3> [in Ukrainian].
11. Hryha, M. Yu. (2024). Evaluation of the ecological and geochemical patterns of nitrogen and phosphorus distribution in the Dnipro River's surface waters. *Odesa National University Herald. Geography & Geology*, 29(2 (45)), 122–136. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2\(45\).318044](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2024.2(45).318044) [in Ukrainian].

12. Vyshnevskiy, V. I. (2019). Spatial-temporal variability of algal bloom in the Dnipro Reservoirs. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 20, 18–27 [in Ukrainian].
13. Pichura, V. I. (2016). Prostorovo-chasovi tendentsii zminy trofichnoho stanu vodoskhovyshech richky Dnipro. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Silskohospodarski nauky*, (vyp. 4 (76)), 3–21 [in Ukrainian].
14. Hryha, M. Yu. (2024). Evaluation of chemical indicators of anthropogenic influence in the Lower Danube basin. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, (1 (71)), 74–84. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.7>
15. Özalkan, E. (2020). Water body detection analysis using NDWI indices derived from landsat-8 OLI. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1759–1769. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/110447>
16. Ahn, J., Kim, K., Kim, Y., Kim, H., & Lee, Y. (2024). Detection of floating algae blooms on water bodies using planetscope images and shifted windows transformer model. *Remote Sensing*, 16(20), 3791. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16203791>
17. Pu, J., Song, K., Lv, Y., Liu, G., Fang, C., Hou, J., & Wen, Z. (2022). Distinguishing algal blooms from aquatic vegetation in Shinese lakes using Sentinel 2 image. *Remote Sensing*, 14(9), 1988. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14091988>
18. Alharbi, B. (2023). Remote sensing techniques for monitoring algal blooms in the area between Jeddah and Rabigh on the Red Sea Coast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 100935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100935>
19. McFEETERS, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
20. Gao, B.-c. (1996). NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3)
21. Vu, J., & Harrington, D. (2020). Introductory statistics for the life and biomedical sciences. OpenIntro, Inc.
22. Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients. *Anesthesia & analgesia*, 126(5), 1763–1768. DOI: <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000002864>
23. Khilchevskiy, V. K., Osadchyi, V. I., & Kurylo, S. M. (2019). Rehionalna hidrokhimiia Ukrainy. VPTs "Kyivskiy universytet" [in Ukrainian].

ТЕХНОГЕННА СКЛАДОВА ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ПРИКЛАДІ КАДАСТРОВИХ ДІЛЯНОК КОСІВСЬКОГО РАЙОНУ

Касіянчук Дмитро Васильович,

кандидат геологічних наук, доцент,
доцент кафедри геодезії та землеустрою,
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0003-4761-5320
Scopus Author ID: 56085007900
Web of Science Researcher ID: V-9598-2018

Штогрин Людмила Василівна,

кандидат геологічних наук, доцент,
доцент кафедри геодезії та землеустрою,
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
ORCID ID: 0000-0001-8381-1236
Scopus Author ID: 56369614200
Web of Science Researcher ID: IAM-3743-2023

Метою дослідження, представленого в даній роботі, є аналіз зсувонебезпечних процесів шляхом оцінки впливу техногенних факторів на землекористування в межах Косівського району Івано-Франківської області. Зростання негативних наслідків зсувних процесів в межах досліджуваної території, особливо в Українських Карпатах, зумовлює необхідність створення нових підходів до оцінки земельних ресурсів та цивільного будівництва з метою зменшення негативного впливу зсувів на навколишнє середовище та життєдіяльність людини. Зсувні процеси вивчалися з використанням геофізичних, GPS та геостатистичних методів аналізу даних. На основі картографічних шарів земельного кадастру та карти ризиків зсувної небезпеки Косівського району було проведено векторний аналіз для оцінки ризику кожної ділянки відповідно до її кадастрового номера. За допомогою QGIS було розраховано еколого-геологічні ризики техногенних компонентів зсувонебезпечних територій з використанням інструментів геоінформаційного та геостатистичного аналізу. Важливим результатом дослідження стала побудова карт зсувних ризиків для земельних ділянок на основі даних Держгеокадастру з використанням плагіну панелі інструментів Kadastr.Live. Вперше проведено аналіз техногенних складових зсувного ризику на території Косівського району як основи для оцінки зсувного ризику окремих земельних ділянок. Аналіз ризику здійснено на прикладі окремих ділянок як основу для уточнення нормативно-фінансових оцінок, зміни цільового призначення земельних ділянок та здійснення господарської діяльності, що потребує гідрогеологічних досліджень. Методика поділу факторів оцінки зсувної небезпеки на природні та антропогенні дозволяє при вивченні характеристик природних факторів виділити в межах досліджуваної території ділянки з найбільшою ймовірністю виникнення та активізації зсувів.

Ключові слова: зсуви, земельний кадастр, земельні ділянки, ризик

Kasiyanchuk Dmytro, Shtohryn Lyudmila. The technogenic component of ecological and geological risks of landslide hazard on the example of cadastral plots of Kosiv district

The purpose of the study presented in this paper is to analyse landslide hazard processes by assessing the impact of anthropogenic factors on land use within the Kosiv district of Ivano-Frankivsk region. The growing negative consequences of landslide processes within the study area, especially in the Ukrainian Carpathians, necessitates the creation of new approaches to land resources assessment and civil engineering in order to reduce the negative impact of landslides on the environment and human activity. Landslide processes were studied using geophysical, GPS and geostatistical data analysis methods. Based on the map layers of the land cadastre and the landslide risk map of Kosiv district, a vector analysis was conducted to assess the risk of each site according to its cadastral number. QGIS was used to calculate the environmental and geological risks of man-made components of landslide-prone areas using geoinformation and geostatistical analysis tools. An important result of the study was the construction of landslide risk maps for land plots based on the State Geocadastr data using the Kadastr.Live dashboard plug-in. For the first time, an analysis of the anthropogenic components of landslide risk in the Kosiv district was carried out as a basis for assessing the landslide risk of individual land plots. The risk analysis was carried out on the example of individual plots as a basis for clarifying regulatory and financial assessments, changing the designated purpose of land plots and carrying out economic activities that require hydrogeological research. The methodology of dividing landslide hazard assessment factors into natural and anthropogenic ones allows to identify the areas with the highest probability of landslide occurrence and activation within the studied territory when studying the characteristics of natural factors.

Key words: landslides, land cadastre, land plots, risk.

Вступ. Аналіз екзогенних геологічних процесів (ЕГП) потребує глибокого розуміння механізмів їх активізації та розвитку, зокрема таких небезпечних явищ, як зсуви, карстові процеси та селі. Ключовим аспектом

цього є вивчення факторів, що сприяють виникненню та розвитку геологічних загроз. Сучасні геоінформаційні системи (ГІС) забезпечують можливість проведення детальних геостатистичних та просторових досліджень.

Інтеграція різних наборів даних значно покращує ефективність аналізу та моделювання цих процесів.

Прогнозування, дослідження та мінімізація наслідків зсувних явищ є важливою темою на Всесвітньому форумі з питань зсувів [1], особливо у контексті зростання опадів, спричиненого зміною клімату, що впливає на активізацію зсувів. Вплив річкової ерозії та тектонічних процесів на розвиток природних катастроф у Карпатському регіоні України, включаючи зсуви, розглядається у працях [2, 3]. Дослідження [4] зосереджене на аналізі природних факторів у районах із високим рівнем ґрунтових вод, приділяючи особливу увагу проблемі неповноти даних. У свою чергу, у роботі [5] досліджуються причини формування неглибоких зсувів у Швейцарії з урахуванням регіональних геоморфологічних особливостей, геологічної будови та кліматичних відмінностей.

Оперативне та обґрунтоване прогнозування зсувних процесів відіграє ключову роль у плануванні та розвитку критично важливої інфраструктури, спрямованої на захист населення у сейсмічно активних регіонах. У цьому дослідженні представлено гібридну модель прогнозування зсувів COLAFOS, яка базується на врахуванні трьох основних факторів: середнього ухилу, експозиції та геологічної морфології. Проблема місцевого землекористування, зокрема його використання, була розглянута у дослідженні [6]. Там із застосуванням різноманітних інструментів ГІС проаналізовано взаємозв'язок між аналітичними та експертними даними з різних джерел для створення карти локального екологічного життєвого циклу.

Геоінформаційні системи мають широкий спектр застосувань для просторового аналізу ймовірності виникнення та активізації екзогенних геологічних процесів – від адміністративного управління до заходів з попередження та ліквідації наслідків природних катастроф. В Івано-Франківській області зсуви охоплюють близько 2% території, що становить приблизно 250 кв. км. Загальна кількість зсувонебезпечних ділянок перевищує 640, і 80% із них мають безпосередній зв'язок із господарською діяльністю.

Дане дослідження спрямоване на оцінку зсувної небезпеки через аналіз впливу техногенних факторів на землекористування в межах Косівського району Івано-Франківської області. Збільшення негативних наслідків зсувних процесів у досліджуваній місцевості, особливо в Українських Карпатах, вимагає розробки нових методів оцінки земельних ресурсів і планування цивільного будівництва. Це необхідно для мінімізації впливу зсувів на довкілля та безпеку населення.

Вихідні дані. Опрацьовано просторову базу даних зсувних явищ (ДНВП “Геоінформ України”) для Івано-Франківської області, а також використано матеріали геологічного дослідження за темою № 29/10-34 [7]. Для оцінки рівня зсувного ризику земельних ділянок застосовано інформацію з Державного земельного кадастру, використовуючи плагін Kadastr.Live Toolbar, а також карту еколого-геологічної оцінки ризиків зсувної небезпеки області [8].

Умови формування зсувних процесів у межах досліджуваної території. Косівський район розташований на низькогір'ї Покутських Карпат та ерозійних межиріччях Передкарпаття у внутрішній та зовнішній зонах Передкарпатського прогину. Сучасний рельєф Косівського району сформувався у результаті тектонічних рухів і безперервної дії екзогенних факторів. Зсуви й опливини, в основному, приурочені до ділянок схилів великих річкових долин. Потужність зсувних відкладів вимірюється декількома метрами. Зсуви проникають на великі глибини, накладаючи характерний відбиток на морфологію схилів. Генетичні типи зсувів – течії. Вид руху мас гірських порід – воднопластична течія глинистих порід по підготовленій поверхні.

Методи дослідження. Польові дослідження та камеральна обробка даних. Дослідження зсувних процесів здійснювалося за допомогою геофізичних методів, зокрема вертикального електричного зондування та аналізу природних імпульсних електромагнітних полів Землі з використанням GPS-прив'язки [7]. На основі отриманих баз даних проведено розрахунок характеристик генезису зсувних процесів та ймовірнісних індексів у програмному середовищі QGIS. Плагін Kadastr.Live, що працює на базі QGIS, застосовує API сервісу Kadastr.Live для ідентифікації місця розташування ділянки за її кадастровим номером. Цей плагін розроблено в рамках ініціативи «Відкриті інструменти просторового планування для України». Шляхом векторного аналізу шарів земельно-кадастрової карти та карти зсувонебезпечних територій Косівського району була проведена оцінка рівня ризику для кожної ділянки відповідно до її кадастрового номера.

Оцінка техногенної складової ризиків зсувної небезпеки. Основним завданням аналізу статистичних даних є розподіл груп факторів на природні та техногенні компоненти. За результатами аналізу груп факторних ознак розподілені за законом розподілу: нормальний закон розподілу – природна, логнормальний – техногенна складова.

Оцінка зсувної небезпеки техногенної складової факторів [8] проводилась за методикою:

1) узагальнення техногенної складової факторів, що впливають на розвиток зсувів (таблиця 1);

2) оцінка статистичних параметрів вибірки та приведення рядів даних до безрозмірних значень (нормалізація);

3) розрахунок функції взаємної кореляції між факторними характеристиками, що впливають на розвиток зсувів із розрахунком інформативності – внеску кожного фактору R_{np} (1):

$$R_{npj} = \frac{\sum |r_{i,j}|}{\sum_i \sum_j |r_{i,j}|} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де: $r_{i,j}$ – коефіцієнт парної кореляції між i, j змінними в матриці коефіцієнтів кореляції факторної характеристики;

4) розрахунок інтегрального показника, що враховує комплексну дію всіх факторів, що впливають на розвиток зсувів (2):

$$\Phi_i = \sum_{j=1}^m X_{ij}^{norm}, \quad (2)$$

де: m – кількість часових факторів, i – рік спостереження. виконання тривалого тимчасового прогнозу (табл. 1).

Результати дослідження. Доступність даних Державного земельного кадастру як взаємодіючого джерела інформації значно спрощує аналіз окремих параметрів, зокрема тих, що можуть суттєво впливати на характер землекористування. Використання геоінформаційного підходу дозволяє ефективно оцінювати рівень зсувної небезпеки на будь-якій території.

Згідно з даними плагіна «Кадастр.Live», який працює на основі Державного земельного кадастру та QGIS, у межах досліджуваної зони було ідентифіковано 65 538 земельних ділянок загальною площею 26 969 га. Оскільки загальна площа досліджуваної території становить 877,2 км², земельно-кадастрові дані охоплюють близько 30% території, що переважно включає населені пункти.

У межах досліджуваної території виділено вісім основних типів землекористування [9]. Найбільшу частку займають землі сільськогосподарського призначення, які налічують 34 616 ділянок із загальною площею 11 492 га, що становить 13,1% території.

Значну площу також займають землі житлової та громадської забудови (30 073 ділянки, 5 297 га, 6,04%) і лісгосподарські угіддя (78 ділянок, 4 590 га, 5,23%). Землі природно-заповідного фонду мають 48 ділянок загальною площею 4 926 га (5,62%).

Меншу частку займають землі промисловості, транспорту та оборони (553 ділянки, 331 га, 0,38%), рекреаційні зони (141 ділянка, 197 га, 0,22%), землі водного фонду (18 ділянок, 96 га, 0,11%) і оздоровчого призначення (11 ділянок, 39 га, 0,04%).

Загалом у межах дослідження враховано 65 538 земельних ділянок із загальною площею 26 969 га, що становить 30,74% території.

Наступний етап цього дослідження передбачає аналіз ризиків зсувів для кожного кадастрового номера за допомогою методів геостатистики. Карта зсувної небезпеки, зображена на рис. 1, відображає дані у форматі піксельної сітки, де кожен піксель містить відповідне значення.

Під час створення карт зсувної небезпеки для земельних ділянок Косівського району застосовувався підхід зональної статистики, який дозволяє оцінювати значення растрових пікселів у межах полігональних об'єктів. Цей метод є оптимальним для аналізу територій із великою площею або витягнутою формою. У QGIS такий підхід реалізується через інструмент "Zonal Statistics", який дозволяє розраховувати середні, максимальні, мінімальні та інші статистичні показники для растрових даних у межах векторних полігонів. Це дає змогу визначити рівень зсувної небезпеки для кожної кадастрової ділянки та класифікувати територію за ступенем ризику (рис. 1).

Як видно з карти (рис. 1) розподілення ризику у межах окремого населеного пункту є неоднорідним і залежить від факторів, які ініціюють зсуви (табл. 1). Значення ризику змінюється від 30,03% до 90,6% та характеризує територію, як таку, що піддається розвитку зсувів, урахувавши значне антропогенне навантаження. Внаслідок людської діяльності найбільшому ризику зсувонебезпеки підлягають землі лісгосподарського призначення (48-50%), промисловості, транспорту, зв'язку, енергетики, оборони (44-46%) та сільськогосподарського призначення (44-46%). Така просторова ураженість підтверджена відповідним статистичним аналізом, де стандартне відхилення складає 3,7%, і характеризує дані як такі, що добре описують

Таблиця 1

Фактори активізації ЕГП (техногенна складова) [8]

Група чинників	Фактор	Характеристика його дії на процес	Факторна характеристика
Геологічні	Наявність ділянок порушення геологічного середовища	Характеризує: – клімат і ґрунти; – характер рельєфу; – геологічну структуру; – характер порід; – гідрогеологічні умови; – сучасні фізико-геологічні процеси	Відстань до ділянок порушення геологічного середовища (водозаборів, кар'єрів)
			Коефіцієнт ураженості дорожньою мережею та населеними пунктами в межах району
Ландшафтні	Рослинність	Визначає характер поверхневого стоку і об'єм зсувного тіла	Зміна лісових площ, відстань до границі лісу
Геоморфологічні	Вібрація	Зменшення опірності ґрунтів гірських порід, зміна мікрокліматичних і гідрологічних умов	Відстань до джерела вібрації, рівень вібрації
	Модифікація схилів		Зміна кута нахилу
	Перевантаження схилів		Коефіцієнт стійкості
	Наявність доріг, залізниць		Відстань до дороги, залізниці
Гідрологічні	Наявність населених пунктів	Визначає характер фільтрації	Відстань до населеного пункту
	Коефіцієнт порушеності		Коефіцієнт порушеності, рівень ґрунтових вод

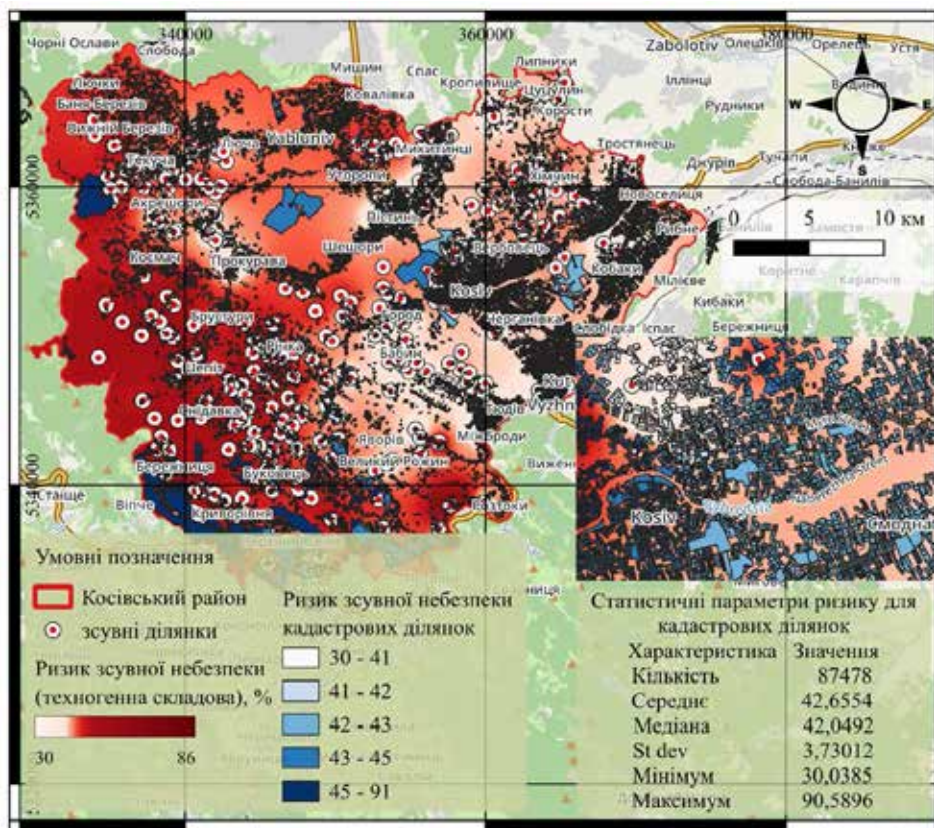


Рис. 1. Карта оцінки зсувної небезпеки для окремих кадастрових ділянок у межах Косівського району

значення ризику через оцінку значень пікселів растра карти ризиків зсувної небезпеки Косівського району.

Висновки. Дослідження екзогенних геологічних процесів, зокрема зсувів, є важливим завданням у контексті зростаючих кліматичних змін та антропогенного навантаження. На основі отриманих результатів було визначено, що найбільша частка зсувонебезпечних земель припадає на території сільськогосподарського та лісгосподарського призначення. Просторовий аналіз кадастрових ділянок у межах Косівського району показав неоднорідний розподіл ризиків, а їх значення варіюють від 30 до 91%, а 42% – є медіанним. Застосування методів геостатистичного аналізу, реалізованих

у середовищі QGIS, дозволило оцінити рівень ризику зсувів у межах кожного кадастрового номера. Використання концепції зональної статистики сприяло отриманню точніших характеристик зсувної небезпеки на основі растрових даних. Оцінка ймовірності ризику зсувної небезпеки кадастрових ділянок вперше виконана в складних інженерно-геологічних умовах.

Зважаючи на високий рівень ризику у досліджуваній місцевості, необхідним є впровадження превентивних заходів, спрямованих на мінімізацію впливу антропогенної діяльності на активізацію та розвиток зсувів з урахуванням складних інженерно-геологічних умов регіону.

Література:

1. Casagli, N., Canuti, P., Sassa, K. et al. The Sixth World Landslide Forum (WLF6) on November 14–17, 2023, Florence, Italy. *Landslides*. 2022. 19, 2539–2545. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01941-4>
2. Santangelo, M., Althuwaynee, O., Alvioli, M. et al. Inventory of landslides triggered by an extreme rainfall event in Marche-Umbria, Italy, on 15 September 2022. *Sci Data* 2023. 10, 427. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02336-3>
3. Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., Yanchenko, V., Shpyrko, S., Gadiatska, K. Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. *Journal of Ecological Engineering*, 2019. 20(4), 177-186. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>
4. Tymkiv, M., Kasiyanchuk, D. Research of Data Sequences of Groundwater Levels with Gaps. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. 20(3), 141-151. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/99744>
5. Zweifel, L., Samarin, M., Meusburger, K., Alewell, C. Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2021. 21, 3421–3437. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021>
6. Sammarco F.S., Terracciano A. Networks, Cycles and Urban Metabolism. Mapping Critical Environment: Giugliano in Campania (Naples) as a Case Study. *Journal of Mediterranean Cities*, 2023, 3(1), 101–118. DOI: https://doi.org/10.38027/mediterranean-cities_vol3no1_7

7. Кузьменко Е.Д., Штогрин Л.В. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Результати геологічного обстеження зсувних ділянок в Косівському районі Івано-Франківської області (Додаток 1. Інформаційний звіт про геологічне вивчення надр за темою № 29/10-34). Івано-Франківськ, 2010, 138 с.
8. Касіянчук Д.В. Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних процесів Карпатського регіону : дис. ... канд. геол. наук. Івано-Франківськ, 2016. 154с.
9. Kasiyanchuk D., Shtohryn L. Assessment of landslide hazard risks on the example of the land cadastre of Kosiv district. *ISTCGCAP*. 2023, 98: 50-62. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.050>

References:

1. Casagli, N., Canuti, P., Sassa, K. et al. (2022). The Sixth World Landslide Forum (WLF6) on November 14–17, 2023, Florence, Italy. *Landslides*. 19, 2539–2545. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01941-4>
2. Santangelo, M., Althuwaynee, O., Alvioli, M. et al. (2023). Inventory of landslides triggered by an extreme rainfall event in Marche-Umbria, Italy, on 15 September 2022. *Sci Data*. 10, 427. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02336-3>
3. Ivanik, O., Shevchuk, V., Kravchenko, D., Yanchenko, V., Shpyrko, S., Gadiatska, K. (2019). Geological and Geomorphological Factors of Natural Hazards in Ukrainian Carpathians. *Journal of Ecological Engineering*. 20(4), 177-186. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/102964>
4. Tymkiv, M., Kasiyanchuk, D. (2019). Research of Data Sequences of Groundwater Levels with Gaps. *Journal of Ecological Engineering*. 20(3), 141-151. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/99744>
5. Zweifel, L., Samarin, M., Meusburger, K., Alewell, C. (2021). Investigating causal factors of shallow landslides in grassland regions of Switzerland, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 21, 3421–3437. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3421-2021>
6. Sammarco, F.S., Terracciano, A. (2023). Networks, Cycles and Urban Metabolism. Mapping Critical Environment: Giugliano in Campania (Naples) as a Case Study. *Journal of Mediterranean Cities*. 3(1), 101–118. DOI: https://doi.org/10.38027/mediterranean-cities_vol3no1_7
7. Kuzmenko, E.D., Shtohryn, L.V. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. (2010). Результати геологічного обстеження зсувних ділянок в Косівському районі Івано-Франківської області (Додаток 1. Інформаційний звіт про геологічне вивчення надр за темою № 29/10-34). Івано-Франківськ. 138 с. (in Ukrainian)
8. Kasiyanchuk, D.V. (2016) Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних процесів Карпатського регіону : дис. канд. геол. наук. Івано-Франківськ. 154 с. (in Ukrainian)
9. Kasiyanchuk, D., Shtohryn, L. (2023) Assessment of landslide hazard risks on the example of the land cadastre of Kosiv district. *ISTCGCAP*. 98: 50-62. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.98.050>

ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ТОРФ'ЯНИХ ПОЖЕЖ НА ПРИКЛАДІ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ (СЕРПЕНЬ-ЛИСТОПАД 2024 РОКУ)

Мельник Ірина Геннадіївна,

кандидат географічних наук, доцент,

доцент кафедри хімії, географії та наук про Землю

ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

ORCID ID: 0000-0002-5349-0897

Стаття присвячена дослідженню торф'яних пожеж на території Полтавської області з використанням методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Торфовища є важливими екосистемами, які відіграють ключову роль у регулюванні водного балансу, збереженні біорізноманіття та накопиченні вуглецю. Проте, вони часто зазнають негативного впливу від пожеж, що призводить до екологічних та економічних збитків. У роботі розглянуто особливості торф'яних пожеж, їх причини та наслідки, а також можливості використання супутникових даних для їх моніторингу та аналізу. Дослідження проведено на прикладі Лубенського району Полтавської області, де за період з серпня по листопад 2024 року було зафіксовано 10 пожеж на нелісових торфовищах. Для моніторингу використовувалися супутникові знімки Sentinel-2 L2A, що дозволили виявити активні осередки горіння та згарища. Застосування мультиспектрального аналізу, зокрема каналів короткохвильового інфрачервоного діапазону (SWIR), а також вегетаційного (NDVI), водного (NDWI) індексів, нормалізованого коефіцієнту горіння (NBR) та індексу зеленого хлорофілу (GCI), дало змогу оцінити ступінь пошкодження рослинності та гідрологічного режиму торфовищ. Результати дослідження підтвердили високу ефективність використання супутникових даних для моніторингу торф'яних пожеж та їх наслідків. Виявлення первинних осередків горіння є критично важливим для встановлення причин пожеж та планування протипожежних заходів. Аналіз часової динаміки NDVI показав суттєве погіршення стану рослинності після пожеж. Стаття підкреслює необхідність подальших досліджень з використанням методів ДЗЗ для моніторингу торф'яних пожеж, а також важливість поєднання супутникових даних з наземними та аеровізуальними спостереженнями для отримання більш повної картини стану торфовищ.

Ключові слова: торф'яні пожежі, дистанційне зондування Землі, супутниковий моніторинг, Sentinel-2, NDVI, NDWI, NBR, GCI, Полтавська область, Лубенський район, екологічний моніторинг, мультиспектральний аналіз, SWIR, торфовища, екологічна безпека, пожежна безпека.

Melnyk Iryna. Satellite Data Application for Monitoring and Analyzing Peatland Fires in Poltava Region (August-November 2024)

The article is devoted to the study of peat fires in the Poltava region using remote sensing methods. Peatlands are important ecosystems that play a key role in regulating water balance, preserving biodiversity and accumulating carbon. However, they are often negatively affected by fires, which leads to environmental and economic damage. The paper considers the features of peat fires, their causes and consequences, as well as the possibilities of using satellite data for their monitoring and analysis. The study was conducted using the example of the Lubensky district of the Poltava region, where 10 non-forest peatland fires were recorded between August and November 2024. Satellite images of Sentinel-2 L2A were used for monitoring, which made it possible to detect active foci of combustion and burnt areas. The use of multispectral analysis, in particular the channels of the short-wave infrared range (SWIR), as well as vegetation (NDVI), water (NDWI) indices, Normalized Burn Ratio (NBR), and Green Chlorophyll Index (GCI), made it possible to assess the degree of damage to vegetation and the hydrological regime of peatlands. The results of the study confirmed the high efficiency of using satellite data to monitor peat fires and their consequences. The detection of primary combustion foci is critical for establishing the causes of fires and planning fire-fighting measures. The analysis of the NDVI time dynamics showed a significant decrease in the state of vegetation after fires. The article emphasizes the need for further research using remote sensing methods to monitor peat fires, as well as the importance of combining satellite data with ground and aerial observations to obtain a more complete picture of the state of peatlands.

Key words: peat fires, remote sensing, satellite monitoring, Sentinel-2, NDVI, NDWI, NBR, GCI, Poltava region, Lubensky district, environmental monitoring, multispectral analysis, SWIR, peatlands, environmental safety, fire safety.

Вступ. Торфовища – це унікальна природна система, яка часто недооцінюється, попри її величезне значення для екологічної рівноваги та сталого розвитку. Зазвичай до торфовищ відносять ділянки з потужністю торфу понад один метр [1]. Торфовища відіграють ключову роль у регулюванні балансу вуглецю та води, слугують джерелом органічної речовини, природним фільтром води та осередком біологічного різноманіття. Завдяки своїм властивостям, торф'яні масиви здатні регулювати водність річок

і озер, а також пом'якшувати вплив змін клімату. У періоди надмірних опадів вони поглинають надлишкову воду, захищаючи прилеглі населені пункти від повеней, а в посушливі періоди, навпаки, живлять річки та ґрунтові води [2]. Збереження та відновлення торфовищ має важливе значення в міжнародному контексті, що відображено в різних глобальних політичних рамках та конвенціях («Рамсарська конвенція» [3], «Глобальна ініціатива торфових боліт» (GPI) [4], Міжнародна група по охороні боліт (IMCG) [5] тощо).

Останніми десятиліттями, на тлі глобальних кліматичних змін, спостерігається зростання частоти пожеж на торфовищах. Коливання температурного режиму та режиму опадів, що спричинені цими змінами, призводять до висихання торфовищ і підвищення їх вразливості до загоряння. Зростання пожежної небезпеки зумовлене й низкою передумов, серед яких – зниження рівня ґрунтових вод через осушення боліт, надмірний видобуток підземних вод для побутових і сільськогосподарських потреб [6].

Причини загорань торф'яників різноманітні: від самозаймання та природних явищ, таких як блискавки, до антропогенних факторів, зокрема недбалості, навмисних підпалів та наслідків воєнних дій. Поширенню пожеж сприяє традиційне щорічне спалювання сухостоїв на пасовищах, стерні на орних землях, побутових відходів у домогосподарствах місцевого населення [7, с. 484]. Частота пожеж має виражену сезонну та міжрічну мінливість, що часто пов'язано з коливаннями погодних умов, особливостями рослинного покриву та джерелами займання [8].

Ключова відмінність торф'яних пожеж від лісових полягає у переважанні тління над відкритим горінням, що зумовлено внутрішньою вологістю та нестачею кисню в торфовому середовищі. Торфова пожежа може заглиблюватись, раптово спалахувати, змінювати напрямок, її важко гасити (вода часто не досягає глибинних шарів торфу, а лише випаровується) [1].

З екологічної точки зору, горіння торфовищ унаслідок пожеж можна розглядати як локальну екологічну кризу, що впливає на хімічний склад ґрунту, спричиняє деградацію й ерозію ґрунтово-земельних ресурсів, втрату біорізноманіття, забруднення атмосферного повітря та ґрунтів далеко за межами ділянки горіння [9; 10]. Пожежі суттєво та надовго змінюють динаміку екосистеми торфовищ, впливаючи на фізичну, хімічну й біологічну структуру ґрунту, його здатність поглинати та утримувати воду, змінювати гідрологічний режим. Дим торфовищ токсичніший, ніж від звичайної лісової пожежі. Він містить продукти неповного згоряння, серед яких – канцерогенний бензопірен, небезпечні оксиди сірки й азоту, важкі метали, дрібнодисперсні частинки золи (PM_{2.5} та PM₁₀) [9; 11]. Викиди негативно впливають на здоров'я людей. Через розміщення поблизу з перелогами, сільськогосподарськими угіддями або лісом, торфовища часто стають основою для розростання інших пожеж. На їх ліквідацію витрачається багато коштів та інших ресурсів [12]. У цілому, оцінювати ступінь пошкодження торфовищ складніше, ніж наслідки лісових пожеж.

Враховуючи специфіку торф'яних пожеж, традиційні методи їх попередження та виявлення часто виявляються неефективними та/або економічно невігідними. Тому зростає значення сучасних технологій, таких як дистанційне зондування (ДЗЗ), тепловізійні технології та моделювання. Системи ДЗЗ, на відміну від контактних методів, оснащені багатоспектральними датчиками, що дозволяють регулярно знімати земну поверхню та отримувати дані про відбиту енергію в різних областях електромагнітного спектру.

Завдяки широкому охопленню, супутникові знімки роблять можливим оперативно досліджувати будь-які території, від глобальних до локальних, у режимі реального часу або з мінімальною затримкою. Це надає важливі матеріали для оцінки змін навколишнього середовища та прийняття рішень щодо його захисту та відновлення [13]. Дані ДЗЗ використовуються для управління пожежами, оцінки їх впливу та ліквідації, визначення причин пожеж, оцінки ризику та моніторингу відновлення торфовищ [8]. Проте, методи ДЗЗ мають обмеження. Висока хмарність, туман або сильне задимлення ускладнюють спостереження. Торф'яні пожежі, що тліють під землею на глибині до кількох метрів, не завжди виявляються супутниками [14]. Густий рослинний покрив може маскувати теплові аномалії. Для детального моніторингу невеликих осередків потрібні супутники з високою просторовою роздільною здатністю, дані яких обмежені доступністю. Оскільки торфовища мають різноманітний дистанційний образ (розорані, обводнені, вигорілі), супутникові дані необхідно поєднувати з наземними та аеровізуальними (включаючи БПЛА) спостереженнями для отримання об'єктивної картини.

Існуючі дослідження підтверджують ефективність використання методів дистанційного зондування (ДЗЗ) для оцінки наслідків лісових і торф'яних пожеж (Артюшенко М. В., Хижняк А. В., 2020; Ліщенко Л. П., Шевчук Р. М., Філіпович В. Є., 2022; Осадчий В. І., Орещенко А. В., Савенець М. В., 2023; Tomchenko O. V. et al., 2023; Chen Y., Morton D. C., Randerson J. T., 2024; Rostami A. et al., 2024) [14; 11; 6; 13; 8; 15]. Методи виявлення пожеж в основному базуються на аналізі теплових і спектральних смуг [6]. Детальні методичні прийоми моніторингу стану торфовищ за допомогою методів ДЗЗ з метою виявлення ризику пожеж висвітлені в працях Ліщенко Л. П., Пазинич Н. В., Шевчук Р. М., Філіпович В. Є. [1; 11]. Для визначення ступеня пошкодження рослинності та ґрунту від торф'яних пожеж успішно застосовуються мультиспектральні дані Sentinel-2 з платформи Copernicus Browser, як це показано в дослідженні Afina F., Syaufina L., & Sitanggang I. (2022) [16]. Ефективність супутникових знімків Sentinel-2 та індексів NBR і NDVI для оцінки тяжкості опіків підтверджена дослідженням Pádua L. et al. (2020) [17]. Придатність індексу NDWI для оцінки водовідштовхувальних властивостей ґрунту, спричинених пожежею, обґрунтована у публікації Lee K., Kim B., & Park S (2023) [18]. В Україні дослідження торф'яних пожеж методами ДЗЗ представлені фрагментарно, що може свідчити про недооцінення внеску невеликих, розкиданих у просторі пожеж торфовищ у стан загальної екологічної ситуації вразливих регіонів.

Матеріали і методи. Метою дослідження стало застосування методів дистанційного зондування Землі для моніторингу та аналізу наслідків пожеж на торфовищах на регіональному та локальному рівнях. Для пошуку наукових статей, що підтверджують ефективність використання методів дистанційного зондування для моніторингу торф'яних пожеж, було використано індекс GCL (Global Change Literature).

Полтавську область було обрано як приклад для вивчення торф'яних пожеж за допомогою методів ДЗЗ через її статус регіону з високим ризиком таких явищ. У межах області, особливо в північних та центральних районах, є значні площі торфовищ у заплавах річок, болотистих місцевостях та низинах. За даними науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту України, усього за період з 2004 по 2023 роки в Полтавській області відбулася 191 пожежа на нелісових торфовищах. За цим показником регіон посів 5 місце після Київської, Львівської, Волинської та Житомирської областей. У 2024 р. було зафіксовано 40 займань на торфовищах, що в 7 разів більше ніж у 2023 році [19]. Упродовж п'яти років (2019 – 2023 рр.) на Полтавщині вигоріло 247,9 га нелісових торфовищ.

Моніторинг торф'яних пожеж у дослідженні було обмежено територією Лубенського району Полтавської області та періодом спостережень – з серпня по листопад 2024 року. Джерелом інформації про пожежі слугували оперативні повідомлення ДСНС у Полтавській області, згідно яких упродовж цього періоду відбулось 10 пожеж на нелісових торфовищах. Для моніторингу осередків загорань було використано відкриті (некомерційні) супутникові дані платформи Copernicus Browser, а саме – високоякісні оптичні зображення Sentinel-2 (рівень L2A з атмосферною корекцією) з інтервалом зйомки в п'ять днів (для цілей активного пожежогасіння, чим своєчасніші дані, тим більша їх цінність). Супутник Sentinel-2 має просторову роздільну здатність в 10-20 м для використаних спектральних каналів.

Для ефективного виявлення активних осередків горіння та нещодавно утворених згарищ було проаналізовано інфрачервоні знімки (передусім, короткохвильовий інфрачервоний SWIR, чутливий до теплового випромінювання та змін у структурі ґрунту) та мультиспектральні знімки (для більш точної оцінки стану

рослинності і ґрунту). Основним методом дослідження був мультиспектральний аналіз супутникових знімків Sentinel-2 L2A. Це дало змогу ідентифікувати майже в реальному часі більшість невеликих осередків пожеж, які могли бути непомітними у видимому спектральному діапазоні.

Для візуальної оцінки наслідків пожежі було задіяно інструменти для створення композитів та розрахунку індексів платформ Copernicus Browser [20] та Land Viewer [21]. Знімки аналізувались у картині композитів SWIR та False color, а також індексів NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс), NDWI (нормалізований диференційний водний індекс), NBR (нормалізований індекс горіння) та GCI (зелений індекс хлорофілу).

Результати. Одним із ключових завдань протипожежного моніторингу є локалізація та визначення масштабу пожеж [15], що було зроблено у процесі дослідження.

Як відомо, супутникові знімки у природних кольорах використовують лише видимий спектр світла, який не дозволяє виявити теплові аномалії, що є ключовим показником активної пожежі. Для ідентифікації пожеж у Лубенському районі супутникові знімки Sentinel-2 L2A переглядались у покращеному зображенні SWIR, отриманому за допомогою комбінації спектральних каналів B12+B8A+B4. Ця комбінація може бути корисна, щоб оцінити вміст води в рослинах і ґрунті, а також – для виявлення слідів пожеж на пізніх стадіях.

На рис. 1 (а; б) представлено 2 супутникові знімки Sentinel-2_L2A території пожежі поблизу с. Заріччя, відкриті в композиті SWIR.

На знімку, що на рис. 1(а), добре ідентифікується початок пожежі торфовища з ознаками відкритого вогню. Виявлення первинного осередку загорання є критично важливим не лише для встановлення причин його виникнення, а й для оптимізації розподілу ресурсів, прогнозування напрямку поширення вогню



а



б

Рис. 1. Пожежа на торфовищі поблизу с. Заріччя Лубенського району:
а – знімок супутника Sentinel-2_L2A_SWIR від 28 вересня 2024 року (первинний осередок займання); б – знімок супутника Sentinel-2_L2A_SWIR від 20 жовтня 2024 року (згарище від пожежі)

та вчасної евакуації населення у разі загрози. Знімок демонструє високий рівень продуктивності біомаси, що відображається у вигляді яскраво-зелених ділянок. На супутниковому знімку, представленою на рис. 1(б), відображено наслідки пожежі, що охопила близько 20 гектарів торфовища. Згарище виглядає як темно-коричнева пляма. Коричневий колір свідчить про повне згорання торфу та знищення рослинності.

Відзначимо, що існують альтернативні комбінації спектральних каналів, придатні для детектування опіків, спричинених пожежами. Зокрема, у композиті False Color (рис. 2(а)) здорова рослинність відображається червоними відтінками, тоді як згарище набуває насиченого темно-коричневого або чорного кольору. Світло-червоними тонами на знімку візуалізується трав'яниста або чагарникова рослинність, темнішими червоними – хвойні ліси. Однак, зазначена колірна комбінація є менш інформативною для візуальної інтерпретації порівняно з композитом SWIR та може ускладнити ідентифікацію осередків пожеж невеликої площі.

На відміну від False Color, на супутниковому знімку в картині SWIR, що на рис. 2(б), коричневий опік від пожежі поблизу с. Нетратівка (долина річки Удай) вдало контрастує із здоровою (яскраво-зеленою) рослинністю, не зачепленою пожежею.

Торф'яні пожежі характеризуються підповерхневим горінням, що ускладнює їх візуальне розпізнавання. Однак, комбінація каналів B12 (SWIR) + B11 (SWIR) + B8A (NIR) супутникового знімка Sentinel-2 L2A дозволяє виявити ділянки, де торф'яний шар зазнав впливу вогню, навіть за умови збереження надземного рослинного покриву, що видно з рис. 3 (а; б). Цей композит спектральних каналів, як і композит SWIR, ефективно відображає осередки відкритого вогню, що особливо важливо для моніторингу активної фази пожежі (рис. 3(а)).

Із 10-ти пожеж, що сталися на торфовищах у Лубенському районі в серпні-листопаді 2024 році, вдалось ідентифікувати вісім. Сприятливим фактором для їх ідентифікації стали метеорологічні умови, зокрема відносно безхмарна і суха погода у зазначений період.



а



б

Рис. 2. Згарище на торфовищі біля с. Нетратівка:

а – супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_False color від 20 жовтня 2024 року;

б – супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_SWIR від 20 жовтня 2024 року



а



б

Рис. 3. Пожежа поблизу с. Мацькова Лучка:

а – супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_Custom_12-11-8A від 28 вересня 2024 р. (первинний осередок займання з елементами відкритого вогню); б – супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_Custom_12-11-8A від 10 жовтня 2024 р. (згарище від пожежі)

Невеликі пожежі, що швидко були ліквідовані і залишили після себе згаріще площею менше 1 га, не вдалось виявити на супутникових знімках Sentinel-1-2. Однією з причин цього є те, що період знімання не співпадав з періодом пожеж на досліджуваній території.

Наступні супутникові зображення наочно демонструють можливості методів ДЗЗ у виявленні наслідків пожеж на нелісових торфовищах.

Пожежа викликає різке погіршення стану рослинного покриву, що візуалізується через зниження значень нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) на супутникових знімках, отриманих до та після події. Розглянемо, як це працює, на прикладі пожежі торфовища біля с. Нетратівка. Здорова рослинність (насичений темно-зелений колір, NDVI наближається до 1,0) видна на рис. 4(а) (ситуація до пожежі). Після пожежі індекс NDVI суттєво знизився (ділянки, що до пожежі були темно-зеленими, набули жовтуватих відтінків, що на шкалі відповідає показнику 0-0,2). Зни-

ження значень NDVI (рис. 4(б)) свідчить про утворення оголених ділянок або ділянок з незначними залишками рослинності. Як вже зазначалось, надземна біомаса водно-болотної рослинності прямо вказує на здоров'я екосистеми водно-болотних угідь і має вирішальне значення для очищення води, циклу вуглецю та збереження біорізноманіття. Якщо ця біомаса втрачається, стан екосистеми закономірно погіршується (рис. 4).

Наступна пожежа, що зафіксована поблизу с. Староаврамівка Лубенського району, представлена на супутникових знімках у композиті SWIR (рис. 5(а)) та в картині нормалізованого диференційного водного індексу NDWI (рис. 5(б)). Останній індекс використовується для виявлення та моніторингу змін вмісту води в рослинності та ґрунті. Аналіз обох знімків демонструє ідентичність контурів постраждалої ділянки, що підтверджує ефективність індексу NDWI для точного визначення периметру і площі утвореного згаріща. Пожежі спричиняють порушення природного гідроло-

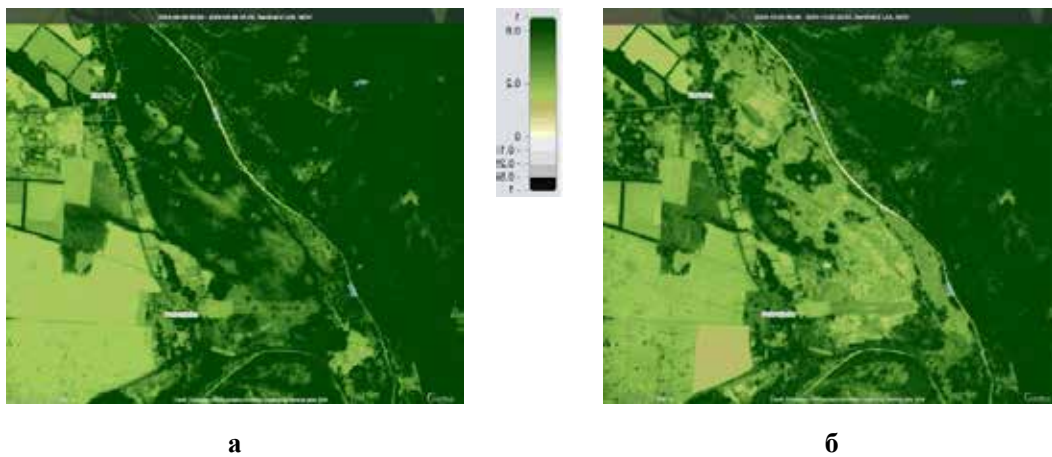


Рис. 4. Ділянка торфовища поблизу с. Нетратівка:
а – супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_NDVI від 28 вересня 2024 р. (до пожежі);
б – Супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_NDVI від 20 жовтня 2024 р. (після пожежі)



Рис. 5. Пожежа на торфовищі поблизу с. Староаврамівка Лубенського району:
а – супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_SWIR від 15 вересня 2024 р.;
б – супутниковий знімок Sentinel-2_L2A_NDWI від 20 вересня 2024 р.
(демонструє ступінь висушування ґрунту на згаріщах)



Рис. 6. Контрольна ділянка в межах згарища на схід від с. Староаврамівка Лубенського району в картині індексу NDVI від 15 вересня 2024 р.

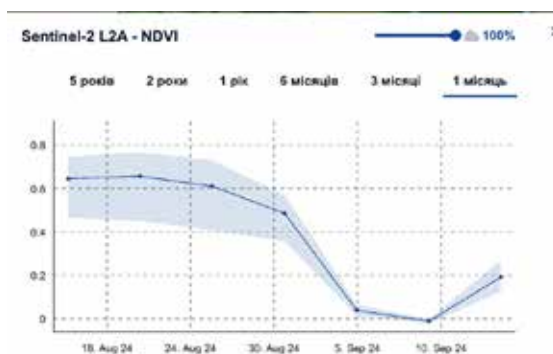


Рис. 7. Графік динаміки індексу NDVI впродовж місяця (серпень-вересень) на контрольній ділянці східніше с. Староаврамівка Лубенського району

гічного режиму торфовищ, що проявляється у змінах рівня ґрунтових вод та впливі на водні об'єкти. Значення NDWI дозволяють оцінити ступінь висушування торфовищ та, відповідно, рівень їх пошкодження.

З метою верифікації зниження вегетаційного індексу NDVI внаслідок пожежі, було обрано контрольну ділянку на супутниковому знімку Sentinel-2 L2A (рис. 6). Для цієї ділянки побудовано графік часової динаміки NDVI (рис. 7), що відображає зміни індексу впродовж місяця (серпень-вересень). Аналіз графіку демонструє чітку тенденцію до зниження значень NDVI після пожежі. Це підтверджує, що пожежа призвела до

суттєвого зменшення кількості рослинності та її стану на досліджуваній території. Зниження NDVI є прямим наслідком знищення рослинності та пошкодження ґрунтового покриву внаслідок дії вогню.

Зазначимо, що для вивчення ступеня пошкодження рослинності нарівні з нормалізованим вегетаційним індексом можна використовувати індекс зеленого хлорофілу GCI, який вважається більш чутливим до стану здоров'я рослин, ніж NDVI. Так, GCI допомагає виявити приховані пошкодження рослинності, які можуть бути невидимі на NDVI. Якщо торф'яна пожежа прихована (глибинна), це позначиться на значенні індексу. Періо-

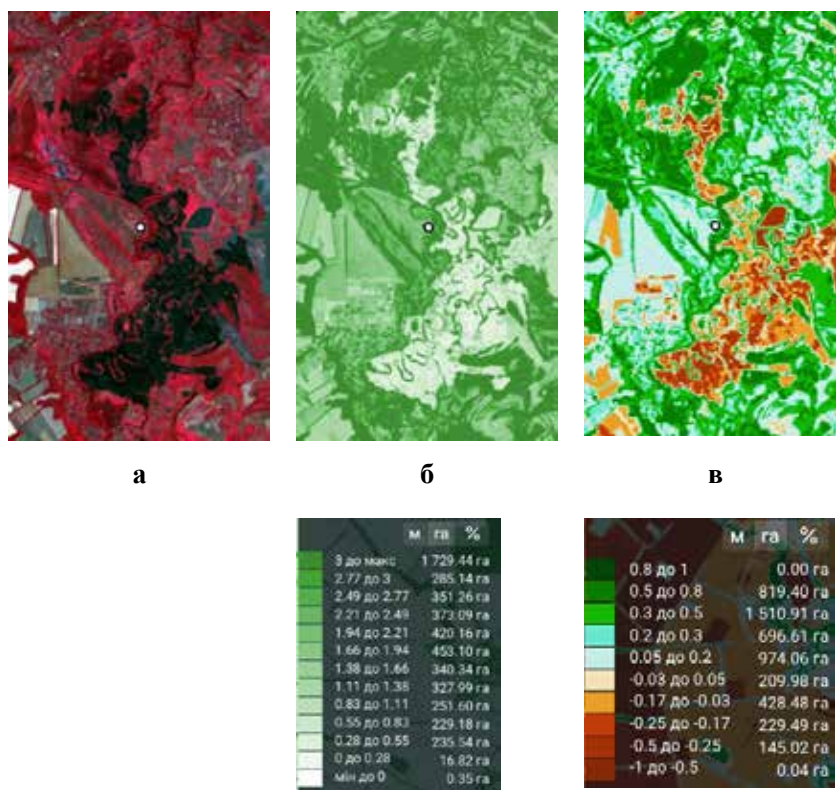


Рис. 8. Згарище від пожежі торфовища поблизу с. Єрківці. Супутниковий знімок Sentinel-2 L2A від 20 вересня 2024 р., відображений у вигляді: а – композиції False color; б – індексу GCI; в – індексу NBR

дичні вимірювання GCI дозволяють відстежувати динаміку відновлення рослинності. Це може представляти особливий інтерес для об'єктів природно-заповідного фонду з торфовищами. Інтерпретація значень GCI вимагає врахування конкретних умов досліджуваної території та типу рослинності.

Стандартним перевіреним підходом для оцінки площ та серйозності опіку є застосування нормалізованого коефіцієнту горіння (NBR) [9]. Формула для його обчислення поєднує використання ближнього інфрачервоного (NIR) і короткохвильового інфрачервоного (SWIR) довжин хвиль:

$$NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR).$$

Застосування інструментарію платформи Land-Viewer [21] дозволило здійснити аналіз супутникового знімка згарища торфовища поблизу с. Єрківці Лубенського району з використанням композиції False color та індексів GCI і NBR (рис. 8).

На рисунку 8(в) червоним кольором позначено ділянки з максимальним ступенем термічного ураження (повна деструкція рослинного покриву та значні пошкодження ґрунту, значення індексу NBR в діапазоні від -0,25 до -1,0); насиченим зеленим кольором – ділянки, що не зазнали впливу вогню, з неущодженим рослинним покривом (значення індексу NBR в діапазоні від 0,3 до 1,0).

Висновки. Результати проведеного дослідження підтвердили високу ефективність використання супут-

никових даних Sentinel-2 L2A для моніторингу та аналізу наслідків торф'яних пожеж на регіональному рівні. Мультиспектральний аналіз з використанням каналів короткохвильового інфрачервоного діапазону (SWIR) дозволив виявити активні осередки горіння та утворені згарища, що є критично важливим для організації протипожежних заходів. Вигорілі ділянки площею менше 1 га виявити на супутникових знімках не вдалось. Використання вегетаційного (NDVI), водного (NDWI), нормалізованого коефіцієнту горіння (NBR) та індексу зеленого хлорофілу (GCI) забезпечило можливість кількісної оцінки ступеня пошкодження рослинності та гідрологічного режиму торфовищ. Аналіз часової динаміки NDVI показав суттєве погіршення стану рослинності після пожеж. У підсумку, порівняння одного і того ж супутникового знімка згарища в різних індексах дозволило отримати комплексну картину наслідків пожежі та оцінити різні аспекти пошкоджень. Отримані результати можуть бути використані для: розробки системи оперативного моніторингу торф'яних пожеж; оцінки екологічних збитків від пожеж; планування заходів з відновлення торфовищ.

Для підвищення ефективності супутникового моніторингу рекомендується поєднувати супутникові дані з наземними та аеровізуальними спостереженнями, а також використовувати супутникові знімки з високою просторовою роздільною здатністю для моніторингу невеликих осередків пожеж.

Література:

1. Ліщенко Л. П., Пазинич Н. В. Моніторинг стану торфовищ для виявлення пожежонебезпечних ділянок за допомогою дистанційних методів. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2016. № 8. С. 29–39. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.210>
2. Lyalko V., Dugin S. S., Sybirtseva O. M., Dorofey Y., Orlenko T. On the Possibility of Identifying Peatland Features Using Remote Sensing Data. *Geological Journal*. 2023. P. 61–78. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.288929>
3. Convention on Wetlands [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ramsar.org/>
4. Global Peatlands Initiative [Електронний ресурс]. URL: <https://globalpeatlands.org/>
5. International Mire Conservation Group (IMCG) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.imcg.net/>
6. Осадчий В., Орещенко А., Савенець М. Супутниковий моніторинг пожеж і забруднення атмосферного повітря: монографія. Київ: ДСНС України, НАН України, УкрГМІ, 2023. 256 с.
7. Fesyuk V., Moroz I., Chyzhevska L., Karpiuk Z., Polianskyi S. Burned peatlands within the Volyn region: state, dynamics, threats, ways of further use. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2020. № 29(3). P. 483–494. DOI: <https://doi.org/10.15421/112043>
8. Chen Y., Morton D. C., Randerson J. T. Remote sensing for wildfire monitoring: Insights into burned area, emissions, and fire dynamics. *One Earth*. 2024. Vol. 7, № 6. P. 1022–1028. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.05.014>
9. Saputra A., Setiabudidaya D., Setyawan D., Khakim M. Y. N., Iskandar I. Burnscar Analysis Using Normalized Burning Ratio (NBR) Index During 2015 Forest Fire at Merang-Kepahyang Peat Forest, South Sumatra, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1857. P. 100001. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4987107>
10. Schroeder W., Oliva P., Giglio L., Quayle B., Lorenz E., Morelli F. Active fire detection using Landsat-8/OLI data. *Remote Sensing of Environment*. 2016. Vol. 185. P. 210–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.032>
11. Ліщенко Л. П., Шевчук Р. М., Філіпович В. Є. Методика супутникового моніторингу торфовищ з метою визначення їх пожежонебезпечного стану та оцінювання ризиків виникнення пожеж на них. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2022. Т. 9, № 1. С. 16–25. URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001316327>
12. Несен І., Слагін Г., Алексеева О., Ножко І., Куценко М., Алексеев А. До проблеми попередження пожеж на торфовищах. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2022. № 6(1). С. 69–74. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.2.46-50>
13. Tomchenko O. V., Khyzhniak A., Sheviakina N., Zahorodnia S., Yelistratova L., Yakovenko M., Stakhiv I. Assessment and monitoring of fires caused by the War in Ukraine on Landscape scale. *Journal of Landscape Ecology*. 2023. Vol. 16. P. 76–97. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0011>
14. Artiushenko M. V., Khyzhniak A. V. Methodology of Fire Safety Monitoring for Peatlands Using Space Survey. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2020. № 52(7). P. 63–73. DOI: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v52.i7.60>

15. Rostami A., Shah-Hosseini R., Asgari S., Zarei A., Aghdami-Nia M., Homayouni S. Active Fire Detection from Landsat-8 Imagery Using Deep Multiple Kernel Learning. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, № 4. P. 992. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14040992>
16. Afina F., Syaafina L., & Sitanggang I. (2022). Forest and Peatland Fire Severity Assessment at Siak Regency, Riau Province using Sentinel-2 Imagery. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* (Journal of Natural Resources and Environmental Management). 2022. №11(4). P. 621–630. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.11.4.621-630>
17. Pádua L., Guimarães N., Adão T., Sousa A., Peres E., & Sousa J. J. Effectiveness of Sentinel-2 in Multi-Temporal Post-Fire Monitoring When Compared with UAV Imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020. №9(4). P. 225. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi9040225>
18. Lee K., Kim B., & Park S. Evaluating the potential of burn severity mapping and transferability of Copernicus EMS data using Sentinel-2 imagery and machine learning approaches. *GIScience & Remote Sensing*. 2023. №60(1). 2192157. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2192157>
19. Семисал К., Весна Т. «Вогонь на великій глибині»: на Полтавщині майже у сім разів збільшилась кількість торф'яних пожеж. *Суспільне Полтава*. 2024. 04 жовт. URL: <https://susplne.media/poltava/850953-vogon-na-velikij-glibini-na-poltavsini-majze-u-sim-raziv-zbilsilas-kilkist-torfanih-pozez/>
20. Copernicus Browser [Електронний ресурс]. <https://dataspace.copernicus.eu/>
21. Land Viewer [Електронний ресурс]. <https://eos.com/landviewer/>

References:

1. Lishchenko, L. P., & Pazynych, N. V. (2016). Monitoring stanu torfovyshch dlia vyivlennia pozhezh-nebezpechnykh dilianok za dopomohoiu dystantsiinykh metodiv [Monitoring of peatlands to identify fire-hazardous areas using remote methods]. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 8, 29–39. DOI: <https://doi.org/10.36023/ujsr.2016.8.72>. [in Ukrainian]
2. Lyalko, V. I., Dugin, S. S., Sybirtseva, O. M., Dorofey, E. M., Golubov, S. I., & Orlenko, T. A. (2023). On the possibility of identifying peatland features using remote sensing data. *Geological Journal*, 61–78. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.4.288929>
3. Convention on Wetlands. (n.d.). URL: <https://www.ramsar.org/>
4. Global Peatlands Initiative. (n.d.). URL: <https://globalpeatlands.org/>
5. International Mire Conservation Group (IMCG). (n.d.). URL: <https://www.imcg.net/>
6. Osadchyi, V., Oreshchenko, A., & Savenets, M. (2023). Suputnykovyi monitorynh pozhezh i zabrudnennia atmosferoho povitria: monohrafiia [Satellite monitoring of fires and air pollution: monograph]. DSNS Ukrainy, NAN Ukrainy, UkrHMI. [in Ukrainian]
7. Fesyuk, V., Moroz, I., Chyzhevska, L., Karpiuk, Z., & Polianskyi, S. (2020). Burned peatlands within the Volyn region: State, dynamics, threats, ways of further use. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(3), 483–494. DOI: <https://doi.org/10.15421/112043>
8. Chen, Y., Morton, D. C., & Randerson, J. T. (2024). Remote sensing for wildfire monitoring: Insights into burned area, emissions, and fire dynamics. *One Earth*, 7(6), 1022–1028. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.05.014>
9. Saputra, A., Setiabudidaya, D., Setyawan, D., Khakim, M. Y. N., & Iskandar, I. (2017). Burnscar analysis using normalized burning ratio (NBR) index during 2015 forest fire at Merang-Kepahyang peat forest, South Sumatra, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 1857, 100001. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4987107>
10. Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., Quayle, B., Lorenz, E., & Morelli, F. (2016). Active fire detection using Landsat-8/OLI data. *Remote Sensing of Environment*, 185, 210–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.032>
11. Lishchenko, L. P., Shevchuk, R. M., & Filipovych, V. Ye. (2022). Metodyka suputnykovoho monitorynhu torfovyshch z metoiu vyznachennia yikh pozhezh-nebezpechnoho stanu ta otsiniuvannia ryzykiv vynyknennia pozhezh na nykh [Methodology of satellite monitoring of peatlands to determine their fire-hazardous state and assess the risks of fires on them]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiynoho zonduvannia Zemli*, 9(1), 16–25. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001316327>. [in Ukrainian]
12. Nesen, I., Yelagin, H., Alekseeva, O., Nozhko, I., Kutsenko, M., & Alekseev, A. (2022). Do problemy poperedzhennia pozhezh na torfovyshchakh [On the problem of peatland fire prevention]. *Nadzvychni situatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia*, 6(1), 69–74. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.2.46-50>. [in Ukrainian]
13. Tomchenko, O. V., Khyzhniak, A. V., Sheviakina, N. A., Zahorodnia, S. A., Yelistratova, L. A., Yakovenko, M. I., & Stakhiv, I. R. (2023). Assessment and monitoring of fires caused by the War in Ukraine on landscape scale. *Journal of Landscape Ecology*, 16, 76–97. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0011>
14. Artiushenko, M. V., & Khyzhniak, A. V. (2020). Methodology of fire safety monitoring for peatlands using space survey. *Journal of Automation and Information Sciences*, 52(7), 63–73. DOI: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v52.i7.60>
15. Rostami, A., Shah-Hosseini, R., Asgari, S., Zarei, A., Aghdami-Nia, M., & Homayouni, S. (2022). Active fire detection from Landsat-8 imagery using deep multiple kernel learning. *Remote Sensing*, 14(4), 992. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14040992>
16. Afina, F., Syaafina, L., & Sitanggang, I. (2022). Forest and Peatland Fire Severity Assessment at Siak Regency, Riau Province using Sentinel-2 Imagery. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* (Journal of Natural Resources and Environmental Management), 11(4), 621–630. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.11.4.621-630>
17. Pádua, L., Guimarães, N., Adão, T., Sousa, A., Peres, E., & Sousa, J. J. (2020). Effectiveness of Sentinel-2 in multi-temporal post-fire monitoring when compared with UAV imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 225. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi9040225>

18. Lee, K., Kim, B., & Park, S. (2023). Evaluating the potential of burn severity mapping and transferability of Copernicus EMS data using Sentinel-2 imagery and machine learning approaches. *GIScience & Remote Sensing*, 60(1), 2192157. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2192157>
19. Semysal, K., & Vesna, T. (2024, October 4). «Vohon na velykii hlybyni»: na Poltavshchyni maizhe u sim raziv zbilshylas kilnist torfianykh pozhezh [«Fire at great depth»: the number of peat fires in the Poltava region has almost increased sevenfold]. *Suspilne Poltava*. URL: <https://suspilne.media/poltava/850953-vogon-na-velikij-glibini-na-poltavsini-majze-u-sim-raziv-zbilsilas-kilkist-torfanih-pozhez/>. [in Ukrainian]
20. Copernicus Browser. (n.d.). URL: <https://dataspace.copernicus.eu/>
21. Land Viewer. (n.d.). URL: <https://eos.com/landviewer/>

ОЦІНКА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТІВ ДОЛИНИ РІЧКИ СТАВЧАНКА У МЕЖАХ МІСТА ПУСТОМИТИ

Наконечний Юрій Ігорович,

кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів
Львівського національного університету імені Івана Франка
ORCID ID: 0000-0001-5046-4397

Паньків Зіновій Павлович,

доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри ґрунтознавства і географії ґрунтів
Львівського національного університету імені Івана Франка
ORCID ID: 0000-0002-6384-9541
Scopus Author ID: 57215672891

Проведено комплексне дослідження польовими („мокрим” органолептичним методом) і лабораторними (метод Качинського) методами гранулометричного складу ґрунтів долини річки Ставчанка у межах міста Пустомити Львівської області. Річка Ставчанка – це невелика річка, яка протікає у Львівській області, має довжину 24 км і є правою притокою річки Щирка, яка, у свою чергу, впадає у ріку Дністер. Вивчення гранулометричного складу виконували тільки у мінеральних ґрунтах долини цієї річки, а саме у дернових і лучних ґрунтах на давньоалювіальних відкладах. У органогенних торфовищах низинних, які також поширені на досліджуваній території у найбільш понижених місцях, вивчення гранулометричного складу не проводилося, оскільки ці ґрунти на більше, ніж 50% складаються більше з органічного матеріалу (різного ступеня розкладу органічної речовини). Було встановлено, що досліджувані мінеральні ґрунти характеризуються легкосуглинковим гранулометричним складом у верхніх горизонтах (вміст фізичної глини 20–30%), проте у середній частині профілю у лучних ґрунтах він є середньосуглинковим із вмістом фізичної глини 30–39%, а у ґрунтоутвірній породі як дернових, так і лучних ґрунтів гранулометричний склад є супіщаний (вміст фізичної глини 16–18%). Серед фракцій гранулометричних елементів чітко простежується переважання піщаної фракції, яка складається з добре обкатаних давніх алювіальних відкладів. Її вміст у генетичних горизонтах досліджуваних ґрунтів коливається у межах 30–54%. Вміст мулу характеризується широкими амплітудами значень по всьому профілю дернових і лучних ґрунтів долини р. Ставчанка у межах м. Пустомити (від 6 до 29%), причому спостерігається чергування горизонтів із більшим і меншим вмістом мулу по профілю досліджуваних ґрунтів. Це підтверджує думку про те, що ці ґрунти пройшли заплавну фазу ґрунтоутворення, де відбувалось щорічне накопичення свіжовідкладеного алювію на поверхні цих ґрунтів. Отримані результати досліджень стануть у нагоді землевласникам і землекористувачам території досліджень при веденні науково-обґрунтованої господарської діяльності на цих землях.

Ключові слова: дернові ґрунти, лучні ґрунти, долина річки, гранулометричний склад, фізична глина.

Nakonechnyy Yuriy, Pankiv Zinovi. Assessment of the granulometric composition of soils of the Stavchanka River valley within the boundaries of the city of Pustomyty

A comprehensive study was conducted using field („wet” organoleptic) and laboratory (Kachinsky's method) methods of the granulometric composition of soils of the Stavchanka River valley within the city of Pustomyty, Lviv region. The Stavchanka River is a small river that flows in the Lviv region, has a length of 24 km and is the right tributary of the Shchyrka River, which, in turn, flows into the Dniester River. We carried out the study of the granulometric composition only in mineral soils of the river valley, namely in sod and meadow soils on ancient alluvial deposits. In lowland organogenic peatlands, which are also common in the studied area, the study of the granulometric composition was not carried out, since these soils consist of more than 50% of organic material (various degrees of decomposition of organic matter). It was found that the studied mineral soils are characterized by a light loam granulometric composition in the upper horizons (physical clay content 20–30%), however, in the middle part of the profile in meadow soils it is medium loam with a physical clay content of 30–39%, and in the soil-forming rock of both sod and meadow soils the granulometric composition is sandy (physical clay content 16–18%). Among the fractions of granulometric elements, the predominance of the sandy fraction, which consists of well-rolled ancient alluvial deposits, is clearly visible. Its content in the genetic horizons of the studied soils ranges from 30–54%. The silt content is characterized by wide amplitudes of values throughout the profile of sod and meadow soils of the Stavchanka River valley within the city of Pustomyty (from 6 to 29%), and there is an alternation of horizons with a higher and lower silt content along the profile of the studied soils. This confirms the idea that these soils underwent a floodplain phase of soil formation, where there was an annual accumulation of freshly deposited alluvium on the surface of these soils. The obtained research results will be useful to landowners and land users of the research area when conducting scientifically substantiated economic activities on these lands.

Key words: sod and meadow soils, river valley, granulometric composition, physical clay.

Вступ. Долини річок мають ключове значення в історії землеробства, адже саме на цих територіях почали з'являтися перші поселення та перші спроби ведення сільськогосподарського виробництва. Завдяки доброму зволоженню, ґрунти річкових долин характеризуються високою родючістю. Проте, на відміну від

плакорних автоморфних ґрунтів, гідроморфні та напів-гідроморфні ґрунти заплавно-долинних комплексів і на сьогоднішній день є недостатньо вивченими. Особливо гостро ця проблема стосується ґрунтів долин невеликих річок, таких як Ставчанка. Під час великомасштабних обстежень ґрунтів, проведених у 1950–1960-х роках ХХ століття, а також їх наступних коригувань, зовсім мало уваги приділялося вивченню ґрунтів долин річок, адже вважалося, що вони є мало придатними для ведення сільськогосподарського виробництва без масштабних осушувальних меліорацій. Тому комплексні дослідження складу і властивостей ґрунтів річкових долин дадуть змогу визначити доцільність їх використання у господарських цілях, шляхи підвищення їх родючості, а також здійснити оцінку екологічного стану досліджуваних ґрунтів.

Завданнями наших досліджень було у польових і лабораторних умовах провести дослідження гранулометричного складу мінеральних ґрунтів долини р. Ставчанка у межах м. Пустомити, а саме: за вмістом фізичної глини встановити власне гранулометричний склад ґрунтів, переважаючи фракції гранулометричних елементів, розподіл по профілю мулистої фракції із відсотковими значеннями перелічених показників.

Матеріал і методи. Матеріалом даного дослідження стали праці таких вчених у галузі ґрунтознавства і географії ґрунтів, як: Горіна М.О., Наконечного Ю.І., Позняка С.П., Михайлюка В.І., Вовк О.Б., Орлова О.Л. та інших [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7]. Для вивчення гранулометричного складу мінеральних ґрунтів долини річки Ставчанка в межах міста Пустомити ми використовували у польових умовах „мокрий” органолептичний метод, а в навчально-науковій лабораторії „Аналізу ґрунтів і природних вод” географічного факультету ЛНУ імені Івана Франка – метод Качинського з підготовкою пірофосфатним методом за С.І. Долговою і А.І. Лічмановою.

Результати дослідження. Річка Ставчанка – маленька річка, яка протікає у Львівській області протяжністю 24 км, є правою притокою р. Щирка, яка впадає у Дністер. За фізико-географічним районуванням долина річки Ставчанка знаходиться у межах Городоцько-Щирецького природного району Опілля, що є частиною Подільської височини [3].

Гранулометричний склад є однією з найважливіших генетичних і агрономічних характеристик ґрунту, який відображає ґрунтоутворний процес, під впливом якого розвинувся ґрунт. Від нього залежать майже всі фізичні властивості ґрунтів: шпаруватість, вологомісткість, водопроникність, повітряний і тепловий режими та ін. В заплавно-долинних ґрунтах гранулометричний склад обумовлюється, в основному, характером алювію і взважених часточок [5; 6].

Характерною особливістю гранулометричного складу ґрунтів на сучасних і давніх алювіальних відкладах є збільшення вмісту фізичної глини (частинок розміром $<0,01$ мм) в напрямку від русла ріки до корінного берега або тераси, проте, завдяки тому, що річка Ставчанка належить до малих річок із недостатньо

сформованою заплавою з поділом на три частини і терасовими комплексами, то ця закономірність у досліджуваних ґрунтах спостерігається слабо (табл. 1).

Ми досліджували гранулометричний склад лише мінеральних дернових і лучних ґрунтів долини р. Ставчанка. У органогенних торфовищах низинних, які також поширені на досліджуваній території, вивчення гранулометричного складу не проводилося, оскільки ці ґрунти більше ніж на 50% складаються з органічного матеріалу (різного ступеня розкладу органічної речовини).

Мінеральні дернові й лучні ґрунти долини Ставчанки характеризується легкосуглинковим гранулометричним складом (за верхніми горизонтами). Вміст фізичної глини (частинок розміром менше 0,01 мм) в гумусових горизонтах цих ґрунтів коливається у межах 20,50–29,94% (табл. 1).

Досліджувані дернові ґрунти майже по всьому профілю мають легкосуглинковий гранулометричний склад із вмістом фізичної глини 20–29%. Спостерігається незначне збільшення вмісту фізичної глини (до 9%) у середній частині профілю, що може бути пов'язано з шаруватістю профілю цих ґрунтів. У ґрунтоутворній породі гранулометричний склад змінюється на супіщаний із вмістом фізичної глини 16,7%. Таке різке його полегшення відбувається у зв'язку з присутністю в материнській породі великої кількості добре окатаного алювіального піску, що додатково свідчить про алювіальну природу досліджуваних ґрунтів (табл. 1).

Серед гранулометричних фракцій переважає фракція середнього та дрібного піску (сума всіх фракцій піску 36–54%), причому її вміст вниз по профілю закономірно збільшується. Вміст фракції грубого пилу має найвищі значення у гумусово-аккумулятивному горизонті (близько 44%). В середній частині його вміст дещо знижується до 22–25%, а у ґрунтоутворній породі зростає до 33–36%. Як і у всіх ґрунтах долин річок Західного регіону України, вміст середньо- і дрібнопилуватої фракції є низьким і коливається у межах 1,5–11,5% (табл. 1).

Шаруватість профілю дернових ґрунтів найкраще видно з розподілу по профілю мулистої фракції, де відбувається ритмічне чергування горизонтів із більшим (16–20%) і меншим (6–12%) вмістом мулу (табл. 1).

У досліджуваних лучних ґрунтах долини р. Ставчанка у межах міста Пустомити гранулометричний склад змінюється від легкосуглинкового у гумусованій частині профілю (горизонти H_1 , H_2 , H_p) (вміст фізичної глини коливається у межах 23–29%), середньосуглинкового – у перехідних до породи горизонтах (вміст фізичної глини 31–39%) і до супіщаного, як і у дернових ґрунтах – у ґрунтоутворній породі (вміст фізичної глини 19%) (табл. 1).

Серед гранулометричних фракцій також переважає піщана (30–54%). Чіткої закономірності до збільшення чи зменшення її вмісту вниз по профілю не спостерігається. За вмістом фракції грубого пилу спостерігаємо ритмічне чергування горизонтів із більшим (31–40%) і меншим (24–28%) її вмістом. Як і у дернових ґрунтах, у лучних спостерігається низький вміст фракцій середнього і дрібного пилу (максимум до 9%).

Гранулометричний склад ґрунтів долини р. Ставчанка у межах м. Пустомити

Генетичні горизонти	Глибина відбору зразків, см	Розмір частинок у мм, кількість у%						Сума частинок < 0,01 мм, %	Назва ґрунту за гранулометричним складом
		Фізичний пісок			Фізична глина				
		пісок		пил			мул		
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001		
Дерновий глибокий глеюватий легкосуглинковий на давньоалювіальних відкладах, розріз №2—П									
Н	10-30	0,20	35,70	43,6	4,10	4,40	12,00	20,50	Піщано-легкосуглинковий
	30-45	7,67	37,51	24,88	9,15	0,20	20,59	29,94	Піщано-легкосуглинковий
Нpgl	45-59	18,25	36,30	22,47	1,61	11,42	9,95	22,98	Піщано-легкосуглинковий
Phgl	59-78	6,55	31,74	36,16	4,28	4,67	16,60	25,55	Піщано-легкосуглинковий
PGl	78-100	12,36	37,05	33,93	5,25	4,65	6,76	16,66	Супіщаний
Лучний глеюватий легкосуглинковий на давньоалювіальних відкладах, розріз №3—П									
Н ₁	6-22	5,07	49,28	27,04	1,15	2,76	14,70	23,53	Піщано-легкосуглинковий
Н ₂	22-48	10,38	24,24	40,12	2,39	0,58	22,29	25,26	Піщано-легкосуглинковий
Нp(gl)	48-67	7,67	37,51	24,88	9,15	0,20	20,59	29,94	Піщано-легкосуглинковий
Phgl	67-84	1,03	29,02	31,10	4,90	4,31	29,64	38,85	Піщано-середньосуглинковий
P(h)gl	84-112	0,92	39,86	28,34	3,41	7,33	20,14	30,88	Піщано-середньосуглинковий
PGl	112-135	1,71	42,07	37,48	6,38	5,35	7,01	18,74	Супіщаний

У профільному розподілі мулистої фракції спостерігається поступове зростання її вмісту з поверхні до середньої частини профілю (з 23 до 29%). У ґрунотвірній породі вміст мулу різко знижується до 7% (табл.).

Порівнюючи показники гранулометричного складу дернових і лучних ґрунтів долини р. Ставчанка, можна відзначити більш чіткий прояв шаруватості профілю дернових ґрунтів за вмістом практично всіх фракцій гранулометричних елементів, на відміну від лучних ґрунтів, де вона проявляється лише у розподілі по профілю грубого пилу і фракції фізичної глини.

Висновки. Отже, наші польові та лабораторні дослідження гранулометричного складу мінеральних дернових і лучних ґрунтів долини річки Ставчанка у межах м. Пустомити дозволили зробити такі висновки:

- досліджувані ґрунти за гранулометричним складом є легкосуглинковими (за вмістом глини у верхніх горизонтах);
- ґрунотворна порода (давньоалювіальні відклади), яка складається з добре окатаного алювіального піску, має супіщаний гранулометричний склад;

– серед фракцій гранулометричних елементів переважає піщана фракція, причому її вміст вниз по профілю збільшується;

– дослідження показали широку амплітуду значень вмісту мулу у дернових і лучних ґрунтах;

– шаруватість профілю за показниками гранулометричного складу більше проявляється у дернових ґрунтах, що є закономірним явищем, адже дернові ґрунти залягають ближче до русла річки і на них активніше впливали у минулому (коли ця територія була ще заплавою) алювіальний (седиментаційний) та заплашний процеси ґрунотворення.

Отримані результати досліджень можуть стати у нагоді землевласникам і землекористувачам території досліджень при веденні господарської діяльності на цих землях. Вони уже лягли в основу при правильному виборі деревних культур для створення рекреаційної зони у долині Ставчанки. Це стало можливим за сприяння керівництва Пустомитівської територіальної громади у співпраці з кафедрою ґрунтознавства і географії ґрунтів Львівського національного університету імені Івана Франка.

Література:

1. Горін М. О. Заплавне ґрунотворення Полісся та лісостепу України (еволюція, біогеохімія, окультурювання) : автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Харків, 2002. 42 с.
2. Вовк О., Орлов О. Алювіальні наноси річок Закарпатської низовини і їх роль у заплавному ґрунотворенні. *Гене́за, географія та екологія ґрунтів : збірник наук. праць*. Львів, 2008. С. 113–120.
3. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України. К. : Т-во «Знання», 2003. 479 с.
4. Михайлюк В. І. Ґрунти долин річок північно-західного Причорномор'я : екологія, генеза, систематика, властивості, проблеми використання. Одеса : Астропринт, 2001. 340 с.

5. Наконечний Ю.І, Позняк С.П. Ґрунти заплави ріки Західний Буг. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 220 с.
6. Наконечний Ю. І. Практикум з ґрунтознавства і географії ґрунтів. Видавничий Центр. ЛНУ ім. І. Франка, Львів, 2013. 374 с.
7. Перець Х, Вовк О., Орлов О., Луцишин О. Властивості алювіальних наносів річок Верхньодністерської алювіальної рівнини. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2017. Вип. 51. С. 293–303.

References:

8. Horin, M. O. (2002). Zaplavne gruntotvorenня Polissia ta lisostepu Ukrainy (evoliutsiia, bioheokhimiia, okulturiuvannia) : avto-ref. dys. ... d-ra biol. nauk. [Floodplain soil formation of Polissya and the forest-steppe of Ukraine (evolution, biogeochemistry, cultivation)]. Kharkiv, 42 p. [in Ukrainian].
9. Vovk, O., Orlov, O. (2008). Aliuvialni nanosy richok Zakarpatskoi nyzovyny i yikh rol u zaplavnomu gruntotvorenni. [Alluvial deposits of rivers of the Transcarpathian Lowland and their role in floodplain soil formation]. Geneza, heohrafiia ta ekolohiia gruntiv : zbirnyk nauk. prats. Lviv, pp. 113–120. [in Ukrainian].
10. Marynych, O. M., Shyshchenko, P. H. (2003). Fizychna heohrafiia Ukrainy. [Physical geography of Ukraine]. K.: T-vo „Znannia”, 479 p. [in Ukrainian].
11. Mykhailiuk, V. I. (2001). Grunty dolyn richok pivnichno-zakhidnoho Prychornomoria : ekolohiia, heneza, systematyka, vlastyvoli, problemy vykorystannia. [Soils of river valleys of the northwestern Black Sea region: ecology, genesis, systematics, properties, problems of use]. Odesa : Astroprynt, 340 p. [in Ukrainian].
12. Nakonechnyi, Yu. I., Pozniak S. P. (2011). Grunty zaplavy riky Zakhidnyi Buh : monohrafiia [Soils of the floodplains of the Western Bug River: monograph]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka, 220 p. [in Ukrainian].
13. Nakonechnyi, Yu. I. (2013). Praktykum z gruntoznavstva i heohrafiï gruntiv [Workshop on soil science and soil geography]. Vydavnychiy Tsentr. LNU im. I. Franka, Lviv, 374 p. [in Ukrainian].
14. Perets, Kh., Vovk O., Orlov O., Lutsyshyn O. (2017). Vlastyvoli aliuvialnykh nanosiv richok Verkhnodnisterskoi aliuvialnoi rivnyny. [Properties of alluvial sediments of the rivers of the Upper Dniester alluvial plain]. Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heohrafichna. Vyp. 51. pp. 293–303. [in Ukrainian].

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ФАКТОРІВ ВРАЗЛИВОСТІ ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Удалов Ігор Валерійович,

доктор геологічних наук, професор,
професор кафедри фундаментальної і прикладної геології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
ORCID ID: 0000-0003-3844-6481
Scopus Author ID: 36633141700

Кононенко Аліна Володимирівна,

кандидат геологічних наук,
доцент кафедри фундаментальної і прикладної геології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
ORCID ID: 0000-0003-0382-3910
Scopus Author ID: 57204570385
Web of Science Researcher ID: GZN-1272-2022

Міхалкова Ніна Василівна,

аспірант кафедри фундаментальної і прикладної геології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
ORCID ID: 0000-0001-9119-213X

У статті дана комплексна оцінка факторів вразливості якості підземних вод у Донбасі (на прикладі водозаборів Луганської області) в умовах техногенної кризи сьогодення. Описано, що практичне значення для централізованого господарсько-питного водопостачання мають підземні води у тріщинуватих породах верхньої крейди та кам'яновугільних відкладах. Проаналізовано гідрогеологічні умови та особливості шахтного водовідливу гірничо-промислових районів (ГПР) Донбасу. Виявлена складна взаємодія гідравлічно та фільтраційно зв'язаних шахт, водозаборів, поверхневих водних об'єктів, техногенно змінених зон геологічного середовища (проммайданчики, терикони, майданчики промислових і побутових відходів та ін.). Виділено природно-техногенні фактори, що впливають на вразливість якості підземних вод в сучасних умовах. Для регіональної оцінки ступеня та масштабів зміни гідрогеологічних умов, попереднього регіонального прогнозу забруднення водоносних горизонтів, що використовуються для господарсько-питного водопостачання запропоновано використовувати комплексну оцінку вразливості підземних вод. Комплексна оцінка вразливості підземних вод базується на варіативній оцінці тієї чи іншої суми факторів, що впливають на погіршення якості, зміну умов формування та зниження екологічних показників стану та використання ресурсів підземних вод. На основі комплексної оцінки дії природних та техногенних факторів виділено градації вразливості якості підземних вод. Доведено, що використання комплексної оцінки вразливості підземних вод дозволить суттєво підвищити комплексність та достовірність еколого-гідрогеологічних прогнозів у процесі відновлення ГПР Донбасу у межах Луганської області та інших регіонів. Наведена регіональна прогнозна оцінка забруднення водоносних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання. Виходячи з результатів попереднього прогнозу, для попередження впливу закриття шахт на водоносні горизонти, що використовуються для питного водопостачання, дані рекомендації щодо проведення подальших досліджень.

Ключові слова: якість підземних вод, еколого-гідрогеологічні умови, вразливість підземних вод, геологічне середовище, техногенні фактори.

Udalov Igor, Kononenko Alina, Mikhalkova Nina. Comprehensive assessment of groundwater quality vulnerability factors in modern conditions

The article provides a comprehensive assessment of the vulnerability factors of groundwater quality in Donbas (using the example of water intakes in Luhansk region) in the conditions of the current technogenic crisis. It is described that groundwater in fractured rocks of the Upper Cretaceous and coal deposits is of practical importance for centralized domestic and drinking water supply. The hydrogeological conditions and features of mine drainage in mining and industrial areas of Donbas are analyzed. The complex interaction of hydraulically and filtrationally connected mines, water intakes, surface water bodies, technogenically altered zones of the geological environment (industrial sites, tailings dumps, industrial and domestic waste sites, etc.) is revealed. Natural and technogenic factors affecting the vulnerability of groundwater quality in modern conditions are highlighted. For a regional assessment of the degree and scale of changes in hydrogeological conditions, a preliminary regional forecast of contamination of aquifers used for domestic and drinking water supply, it is proposed to use a comprehensive assessment of groundwater vulnerability. A comprehensive assessment of groundwater vulnerability is based on a variable assessment of a particular sum of factors affecting the deterioration of quality, changes in the conditions for the formation and reduction of environmental indicators of the state and use of groundwater resources. Based on a comprehensive assessment of the action of natural and technogenic factors, gradations of vulnerability of groundwater quality are highlighted. It is proven that the use of a comprehensive assessment of groundwater vulnerability will significantly increase

the complexity and reliability of ecological and hydrogeological forecasts in the process of restoring in mining and industrial areas of Donbas within the Luhansk region and other regions. A regional forecast assessment of contamination of aquifers used for drinking water supply is presented. Based on the results of the preliminary forecast, recommendations for further research are given to prevent the impact of mine closures on aquifers used for drinking water supply.

Key words: groundwater quality, ecological and hydrogeological conditions, groundwater vulnerability, geological environment, technogenic factors.

Вступ. Проблема збереження якості підземних вод в умовах реструктуризації значної кількості гірничодобувних підприємств Донбасу, зокрема в умовах ведення воєнних дій, є однією з актуальних. Не секрет, що післявоєнне водопостачання населення буде можливим виключно на основі підземних вод. Кількість, а головне якість поверхневих вод на досліджуваній території після активної фази бойових дій говорить про неможливість їх використання в довоєнних обсягах. Наслідком реструктуризації вугільної галузі, що проводилася в Україні на початку 2000-х років, є регіональна зміна структури та обсягу водовідливу, формування зон підйому рівнів та змін хімічного складу підземних та поверхневих вод, а також інші процеси перебудови еколого-гідрогеологічних параметрів геологічного середовища [7; 8]. Комплекс факторів кількісних та якісних змін еколого-гідрогеологічних параметрів пов'язаний з неконтрольованим автореабілітаційним підйомом рівнів підземних вод, а також з переорієнтацією впливу техногенних факторів на формування еколого-гідрогеологічних умов.

Метою статті – виявлення факторів вразливості якості підземних вод у Донбасі на прикладі водозаборів Луганської області в умовах техногенної кризи сьогодення.

Матеріали та методи. Стаття написана в рамках загальнодержавної цільової програми «Питна вода України на 2022-2026 рр.».

В основу статті покладено результати аналізу наукової літератури та фондової документації. Дослідження, результати яких наведені у статті, виконувались відповідно до методики еколого-гідрогеологічного вивчення стану територій та методики оцінки екологічного стану територій, забруднених внаслідок закриття вугільних шахт. Обидві методики розроблено Українським науково-дослідним інститутом екологічних проблем та затверджено Міністерством екології та природних ресурсів України.

Результати дослідження. Згідно з гідрогеологічним районуванням Донбасу ліквідовані вугледобувні підприємства приурочені до чотирьох гідрогеологічних районів: купольних структур, закритої частини північної зони дрібної складчастості, відкритої частини північної зони дрібної складчастості, великих лінійних складок [7].

Аналіз гідрогеологічних умов гірничо-промислових районів (ГПР) Донбасу та особливостей шахтного водовідливу [3] при відпрацюванні вугільних родовищ на досліджуваній території дозволяють констатувати:

1) на полях усіх розглянутих шахт відзначаються виходи джерел, які під час закриття шахт можуть бути додатковими шляхами міграції мінералізованих шахтних вод;

2) в цілому розривні порушення та генетично пов'язані з ними тріщинуваті проникні зони безпосередньо визначають як особливості гідрогеологічних умов шахтних полів, так і ступінь обводнення гірських виробок, умови та характер водообмінних процесів між ними та прилеглим породним масивом;

3) ступінь обводненості шахт також суттєво визначається величиною природного та техногенного інфільтраційного живлення дренуваних водоносних горизонтів, розміром виробленого простору, кількістю пластів, що розробляються;

4) порушені масиви гірських порід із зонами штучної тріщинуватості над гірничими виробками та розкриті ними зони тектонічної тріщинуватості є основними шляхами міграції підземних вод при затопленні шахт та їх подальшого розподілу в підземних та поверхневих водних об'єктах;

5) при відновленні рівнів рух підземних вод спрямований в основному до річкових долин, приурочених переважно до структур тектонічних порушень. У багатьох випадках шахтні води надходять на сусідні шахти, які гідравлічно пов'язані між собою гірничими роботами, а також по тріщинуватих зонах на суміжні шахти, що не мають прямого гідравлічного зв'язку. В цьому випадку інтенсивність перетікання підземних вод обумовлена поточним розподілом напорів, проникністю ціликів, фільтраційними та гідрогеологічними параметрами порушеного масиву порід [3].

Отримані дані про специфіку впливу закриття шахт у минулому та зупинка роботи шахт на сучасному етапі, вказують на додаткове вторинне переформування техногенно-природних гідрогеологічних умов шахтних полів та прилеглих територій (переважно в межах місцевих водозбірних площ) [2; 5; 6], що свідчить про активізацію наступних факторів підвищення вразливості підземних вод:

1) формування гідравлічних потоків у гірничих виробках, що сприяють прискоренню латеральної міграції високомінералізованих шахтних вод;

2) перетин гірничими виробками значної кількості водопровідних тектонічних структур, що сприяють висхідній міграції мінералізованих вод глибоких горизонтів карбону та включенню їх у латеральні потоки в зонах впливу гірничих робіт;

3) прояв гідрогеодеформаційних процесів у масивах порушених порід з відтискуванням вод підвищеної мінералізації та подальшою міграцією їх у латеральних потоках підземних і поверхневих вод, що формуються.

Таким чином, сучасна оцінка впливу зупинки роботи шахт (на сьогодні робота вугледобувних підприємств у зоні активної фази військових дій неможлива) на еколого-гідрогеологічні умови прогнозних ресурсів

та експлуатаційних запасів підземних вод безпосередньо пов'язана з виявленням зміни просторово-часових параметрів потоків підземних вод та структури їх взаємодії з поверхневими водними об'єктами.

Експертні прогнози оцінки свідчать, що ліквідація та скорочення розмірів депресій рівнів підземних вод у процесі зупинки роботи шахт у гідрогеофільтраційному плані еквівалентно розсіюванню розвантаження шахтних вод у підземному потоці [8]. Остання обставина є фактором ризику погіршення стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод на діючих та розвіданих водозаборах.

Таким чином, важливим техногенним фактором, що викликає особливе занепокоєння при еколого-гідрогеологічній оцінці ГПР є динамічне зниження захищеності прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод від забруднення по мірі регіонального підвищення рівнів підземних вод та обов'язковим наступним підтопленням денної поверхні [2]. З останнім пов'язане зростання міграції забруднюючих речовин, а також посилення впливу низки техногенних об'єктів, а саме – зон хімічного забруднення ландшафтів, що сформувалися раніше, в районах розташування: відвалів гірських порід; накопичувачів шахтних та стічних вод; підприємств, що характеризуються значними викидами шкідливих речовин в атмосферу. Крім того, необхідно враховувати катастрофічний вплив бойових дій та появу в геологічному середовищі характерних для них комплексів забруднюючих речовин.

Розглянемо детальніше територію Луганської області. У межах досліджуваної території підземні води, що мають практичне значення для централізованого господарсько-питного водопостачання, приурочені до зон активного водообміну – тріщин у породах верхньої крейди та кам'яновугільних відкладів.

Водоносний горизонт тріщинуватої зони верхньої крейди поширений у північній частині досліджуваної території та інтенсивно використовується для централізованого господарсько-питного водопостачання (рис. 1). Прогнозні ресурси підземних вод у межах території становлять 1832,3 тис. м³/добу. Основна їх частина приурочена до заплавної частини долини р. Сіверський Донець та її правобережних приток р. Лугані, Вільхова, Біла, Луганчик, де водоносний горизонт має двошарову будову внаслідок перекриття високопроникної тріщинуватої зони крейдових порід водоносними пісками алювіальних відкладів. У зв'язку з цим основна ресурсна складова крейдяного горизонту пов'язана з поверхневими водами, що періодично (у паводок) обводняють алювіальні відклади [6].

Розвідані експлуатаційні запаси підземних вод у кількості 1409,3 тис. м³/добу оцінено на 43 ділянках родовищ, з яких 39 експлуатується з водовідбором 755,7 тис. м³/добу. Освоєння розвіданих експлуатаційних запасів є одним із найвищих в Україні і становить близько 54%. Попередньо розвідані експлуатаційні запаси у кількості 48,9 тис. м³/добу оцінено на 4 ділянках родовищ, з яких 2 експлуатуються з водовідбором 21,3 тис. м³/добу, тобто використання їх становить лише 43%.

У цілому прогнозні ресурси підземних вод крейдяного водоносного горизонту характеризуються досить високою розвіданістю (79%) і низьким використанням (42%).

Модуль прогнозних ресурсів підземних вод крейдяного водоносного горизонту змінюється від 0,01 до 0,71 тис. м³/добу з км². Максимальні значення цього показника приурочені до долин р. Сіверський Донець та Лугань.

На водозаборах правобережних приток р. Сіверський Донець якість підземних вод, що відбираються, продовжує погіршуватися. Спостерігається зростання мінералізації з інтенсивністю 40–60 мг/рік та загальною жорсткістю 0,6–1,4 мг екв/рік [4].

В даний час по 15 водозаборах централізованого господарсько-питного водопостачання, що працювали до 2014 року з сумарною продуктивністю 271,4 тис. м³/добу (близько 35% від загального водовідбору з розвіданих запасів) мінералізація вод, що відбираються перевищує 1,5 г/дм³, а це не відповідає вимогам ДержСанПін 2.2.4-171-10 [1].

Варто зазначити, що до 38-43% розвіданих запасів підземних вод некондиційні за якісним складом (підвищена мінералізація та жорсткість), що пов'язано зі скиданням великої кількості мінералізованих шахтних вод у річкову мережу. При цьому поверхневі води є одним із основних джерел формування ресурсів підземних вод та визначають їх якісні та кількісні характеристики.

Водоносний комплекс кам'яновугільних відкладів розвинений по всій території вуглепромислової частини області (рис. 1). Сумарні прогнози ресурсів підземних вод становлять 1311,2 тис. м³/добу. Розвідані експлуатаційні запаси підземних вод оцінено по семи ділянках родовищ у кількості 34,5 тис. м³/добу. За описуваний період експлуатувалося 5 водозаборів із сумарною продуктивністю 41,2 тис. м³/добу, тобто водовідбір на 20% перевищував розвідані запаси.

Попередньо розвідані експлуатаційні запаси у кількості 71,1 тис. м³/добу оцінено на 55 ділянках родовищ. При цьому освоєно 23 ділянки, водовідбір на яких становить 16,5 тис. м³/добу. У цілому розвіданість прогнозних ресурсів становить трохи менше 10%, а використання експлуатаційних запасів близько 55% [4].

Модуль прогнозних ресурсів водоносного комплексу кам'яновугільних відкладів змінюється від 0,09 до 0,58 тис. м³/добу з км². Максимальні значення цього показника характерні для східних та західних районів на території Луганської області.

Водоносний горизонт кам'яновугільних відкладів приурочений до тріщинуватої зони кори вивітрювання часто потрапляє в зону впливу шахтного водовідливу, у зв'язку з чим водовідбір носить тимчасовий характер.

В результаті для господарсько-питних потреб використовувалися підземні води з мінералізацією від 1,0 до 1,5 г/дм³, меншою мірою використовувалася вода з мінералізацією 1,5–3,0 г/дм³ [4]. Зміни якості підземних вод мають регіональний характер і зумовлені в основному впливом скидання шахтних вод у річ-

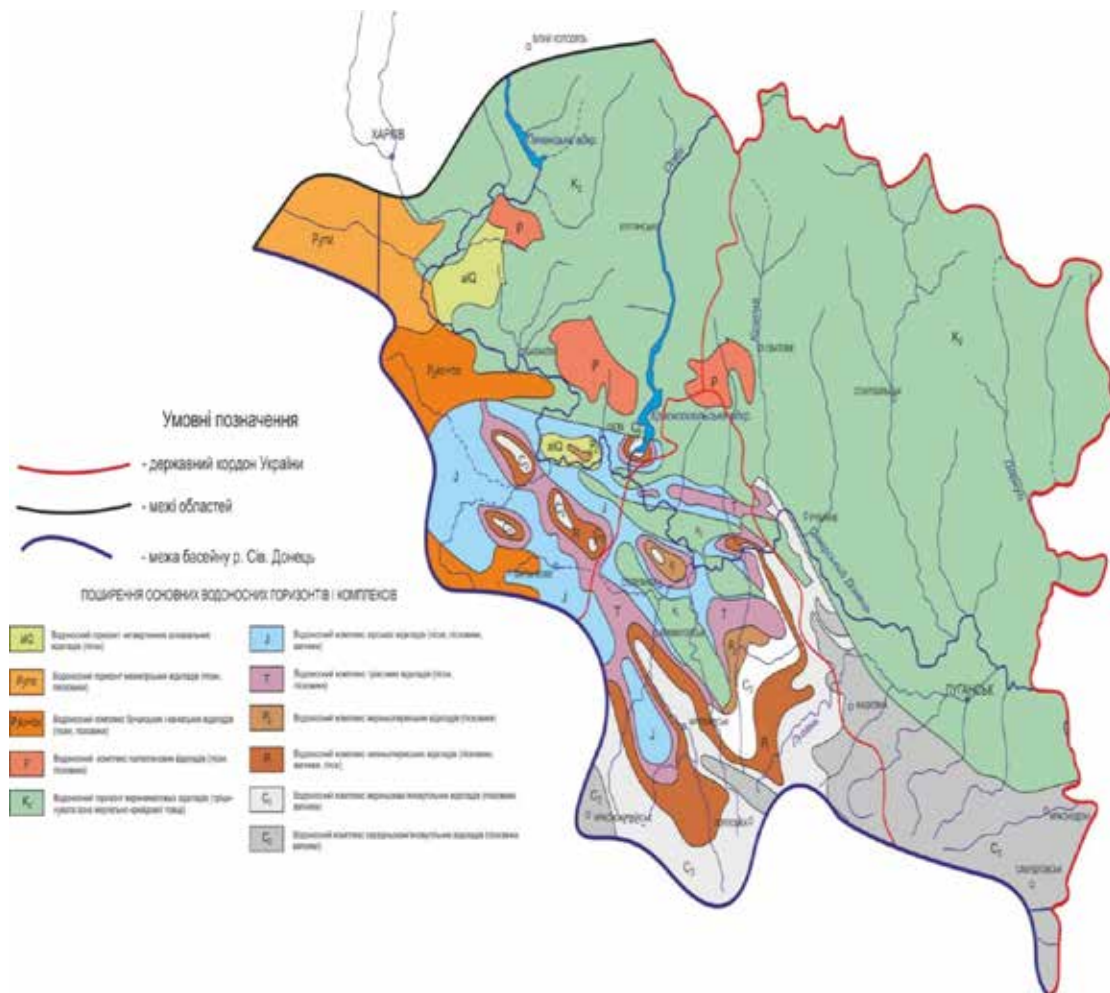


Рис. 1. Гідрогеологічна карта території досліджень (побудовано за матеріалами ГРГП «Схід»)

кову мережу, що викликало зростання мінералізації поверхневих вод та підтягування некондиційних вод до діючих водозаборів.

У зв'язку зі значною складністю та динамічністю змін захисної спроможності геологічного середовища ГПР Луганської області, для регіональної оцінки ступеня та масштабів зміни гідрогеологічних умов, що визначають спрямованість розвитку екологічних наслідків зупинки шахт, а також для попереднього регіонального прогнозу можливого забруднення водоносних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання (прогноз шкоди прогнозним ресурсам та експлуатаційним запасам підземних вод), нами використано метод оцінки вразливості підземних вод, який є комплексною оцінкою ризику погіршення якості підземних вод.

Прийнята схема оцінки вразливості підземних вод на території досліджень базується на варіативній оцінці тієї чи іншої суми факторів, що впливають на погіршення якості, зміну умов формування та зниження екологічних показників стану та використання ресурсів підземних вод. Загалом система оцінки вразливості підземних вод базується на використанні GIS-технологій та створенні баз даних, що характеризують параметри різних груп факторів у вигляді сукупності таблиць.

Комплексна оцінка дії природних та техногенних факторів дозволила виділити наступну градацію вразливості:

- незначна природно-техногенна вразливість підземних вод;
- підвищена природно-техногенна вразливість підземних вод;
- висока природно-техногенна вразливість підземних вод.

Слід зазначити, що останні приурочені, переважно, до зон гірничих робіт та до супутніх їм зон гірничо-міських агломерацій.

Встановлено, що рух підземних вод у структурі геологічного середовища та їх взаємозв'язок з поверхневими водними об'єктами (фільтраційний або гідравлічний при підробітку гірничими виробками) зумовили значне перевищення площ депресійних ліжок підземних вод над розмірами гірських об'єктів (у десятки разів) [7; 8]. У свою чергу, це призведе до кількісної переоцінки стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод у межах ГПР.

Важливість проблеми достовірного прогнозу змін еколого-гідрогеологічних параметрів прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод обумовлена тим, що перспективи та стійкість подаль-

шого розвитку ГПР значною мірою залежать від сталої роботи господарсько-питних водозаборів та їхньої екологічної безпеки.

Складна взаємодія гідравлічно та фільтраційно зв'язаних шахт, водозаборів, поверхневих водних об'єктів, техногенно змінених зон геологічного середовища (проммайданчики, терикони, майданчики промислових та побутових відходів та ін.) визначає важливість випереджальних оцінок змін екологічних параметрів прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод, а також розробку та реалізацію захисних заходів [5]. Використання методу оцінки вразливості підземних вод дозволяє суттєво підвищити комплексність та достовірність еколого-гідрогеологічних прогнозів у процесі відновлення ГПР Донбасу у межах Луганської області та інших регіонів. Багато в чому це пов'язано з використанням методу з можливістю обліку:

- комплексної дії природних та техногенних факторів;
- поєднання кількісних та якісних оцінок критеріїв, що враховуються;
- можливість використання різних ГІС-технологій, зокрема графоаналітичних, статистичних та інших оцінок та розрахунків.

Згідно з прогнозою оцінкою забруднення водонесних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання:

1) загальна величина збитків прогнозним ресурсам підземних вод у межах вуглепромислової зони Луганської області внаслідок впливу закритих шахт становить близько 327,29 тис. м³/добу, у т. ч. по кам'яновугільному водонесному горизонту 291,75 тис. м³/добу (близько 89%) та водонесному горизонту крейдаєних відкладів 35,54 тис. м³/добу;

2) загальна площа зон локального прояву збитків прогнозним ресурсам підземних вод закритих шахт становить 1863 км² (близько 19% території вуглепромислової частини області) при сумарній площі шахтних полів близько 550 км², тобто площі розвитку збитків майже в 3,5 рази перевищують розміри шахтних полів;

3) величину шкоди прогнозним ресурсам підземних вод до 5,0 тис. м³/добу формують 13 одиничних та групових шахтних полів (46%) від закритих шахт та шахт, що закриваються; від 5,0 до 20 тис. м³/добу – 11 одиничних та групових шахтних полів (39%); понад 20 тис. м³/добу – 4 групових шахтних поля (14 %);

4) вплив ліквідованих та зупинених шахт на шкоду прогнозним ресурсам підземних вод становитиме: для крейдаєного водонесного горизонту – 5,0%; для водонесного комплексу кам'яновугільних відкладів – 32,2%;

5) у зону прямого впливу закритих шахт потрапляє ряд водозаборів із затвердженими експлуатаційними запасами підземних вод (Рівненський-2, Волнухінський, Краснодарський, Свердловський-2, Свердловський-4, Антрацитівський-7, що експлуатують кам'яновугільний водонесний горизонт та Володинський – крейдаєний водонесний горизонт), зі збитками 6,61 тис. м³/добу (близько 10% від їх загальної кількості) по водонесному комплексу кам'яновугільних відкладів та 18,9 тис. м³/до-

бу (близько 1% від загальної кількості) – по крейдаєному водонесному горизонту;

6) кількість водозаборів, на які може поширитися опосередкований вплив (вплив закриття шахт за рахунок транспорту забруднених підземних вод, що розвантажуються, поверхневим стоком у зону місцевого формування експлуатаційних запасів) становить більше 20;

7) при цьому збитки експлуатаційним запасам підземних вод по водонесному горизонту крейдаєних відкладів складе 442,37 тис. м³/добу (близько 31% від їх загальної величини) та 2,58 тис. м³/добу (близько 4% від їх загальної величини) – по водонесному горизонту кам'яновугільних відкладів.

Виконані експертні оцінки мають регіональний попередній характер. Більш детальне рішення завдання може бути виконане на основі картографічних та математичних моделей на локальному та об'єктовому рівнях.

Висновки. В статті виконано аналіз геолого-гідрогеологічних умов та ступеня техногенного навантаження на геологічне середовище території досліджень. Переконаливо доведено, що з комплексу факторів, які впливають на вразливість якісного складу підземних вод найбільш значущими є:

– гідравлічні потоки, які формуються у гірничих виробках та сприяють латеральній міграції високомінералізованих шахтних вод карбону;

– зона тріщинуватості, яка обрамляє тектонічні порушення і безпосередньо впливає на висхідну міграцію мінералізованих вод глибоких горизонтів та включенню їх у латеральні потоки в зонах впливу гірничих робіт;

– прояв деформаційних процесів у масивах порушених порід активізує відтискання вод з підвищеною мінералізацією та насичує їх небезпечними компонентами, що в свою чергу, гарантує появу цих вод в зоні активного водообміну;

– цей фактор є похідною перших трьох виділених факторів, а саме динамічне зниження захищеності прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод від забруднення високомінералізованими водами карбону та обов'язковим підтопленням ними денної поверхні.

З урахуванням отриманих даних можна зробити висновки щодо можливості використання прийнятого методу оцінки вразливості підземних вод для великомасштабних (районних або для окремих частин ГПР) та об'єктових оцінок прогнозних змін еколого-гідрогеологічних умов, включаючи збитки прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод, обґрунтування напрямів захисних заходів та ін.

Виходячи з отриманих результатів попереднього регіонального прогнозу, для попередження впливу закриття шахт на водонесні горизонти, що використовуються для питного водопостачання, вважаємо за необхідне проведення подальших досліджень щодо:

– уточнення та конкретизації переліку водозаборів, що потрапляють до зони прямого впливу закриття шахт;

– уточнення та конкретизації переліку водозаборів, що потрапляють до зони опосередкованого впливу закриття шахт (за рахунок забруднення річковими водами);

– визначення величини (оцінка) шкоди прогнозними ресурсам підземних вод від прямого та опосередкованого впливу закриття кожної конкретної шахти чи групи шахт на конкретних водозаборах;

– визначення величини (оцінка) шкоди експлуатаційним запасам підземних вод від прямого та опосередкованого впливу закриття шахт за конкретними водозаборами.

Література:

1. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). К., 2010.
2. Міхалкова Н., Кононенко А., Удалов І. Аналіз впливу техногенних об'єктів Лисичансько-Рубіжанського промвузла на екологічний стан навколишнього природного середовища. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2022. № 56. С. 225–239.
3. Міхалкова Н. В., Удалов І. В. Геологічні фактори формування хімічного складу підземних вод північно-східних окраїн Донбасу. *Гідрогеологія: наука, освіта, практика: збірник наукових праць. Вип. 2. / Відповідальний за випуск І. В. Удалов. Х.: Стиль-Издат, 2020, С. 62–65.*
4. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2022 р. Мінрегіонрозвитку України, Київ, 2023, 664 с.
5. Удалов І. В., Кононенко А. В. Вплив техногенних факторів на еколого-гідрогеологічні характеристики крейдових водозаборів Північно-Східного Донбасу. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2016. № 45. С. 177–183.
6. Удалов І. В., Кононенко А. В. Основні передумови зниження якості питних підземних вод крейдових водозаборів Східної України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2016. № 44. С. 63–70.
7. Удалов І. В. Трансформація геологічного середовища під впливом техногенних процесів в умовах Північно-Східного Донбасу: монографія. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016, 176 с.
8. Яковлев Є., Удалов І. Потенційні фактори регіонального розвитку небезпечних геофільтраційних процесів водокористування у басейнах підземних вод України. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2024. № 60. С. 109–123.

References:

1. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Hiiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoiu» (DSanPiN 2.2.4-171-10) [State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" (SSanPiR 2.2.4-171-10)]. K., 2010. [in Ukrainian]
2. Mikhalkova, N., Kononenko, A., Udalov, I. (2022). Analiz vplyvu tekhnohennykh ob'ektiv Lysychansko-Rubizhanskoho promvuzla na ekolohichnyi stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha [Analysis of the impact of man-made facilities of the Lysychansk-Rubizhany industrial complex on the ecological state of the natural environment]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* – *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 56, 225–239. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-17> [in Ukrainian]
3. Mikhalkova, N. V., Udalov, I. V. (2020). Heolohichni faktory formuvannia khimichnoho skladu pidzemnykh vod pivnichno-skhidnykh okrain Donbasu [Geological factors of formation of chemical composition of groundwater of the north-eastern outskirts of Donbas]. *Hidroheolohiia: nauka, osvita, praktyka: zbirnyk naukovykh prats. Vyp. 2. Vidpovidalnyi za vypusk I. V. Udalov – Kh.: Styl-Yzdat, 62–65.* [in Ukrainian]
4. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytnoho vodopostachannia ta vodovidvedennia v Ukraini u 2022 r. [National report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply and wastewater disposal in Ukraine in 2022.] *Minrehionrozvytku Ukrainy, Kyiv, 2023, 664 s.* [in Ukrainian]
5. Udalov, I. V., Kononenko, A. V. (2016). Vplyv tekhnohennykh faktoriv na ekoloho-hidroheolohichni kharakterystyky kreidovykh vodozaboriv Pivnichno-Skhidnoho Donbasu [The influence of technogenic factors on the ecological and hydrogeological characteristics of chalk water intakes of the North-Eastern Donbass]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* – *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 45, 177–183. [in Ukrainian]
6. Udalov, I. V., Kononenko, A. V. (2016). Osnovni peredumovi znizhennia yakosti pitnih pidzemnih vod kreidyanih vodozaboriv Shidnoyi Ukraini [The main prerequisites decline of the quality of drinking groundwater in the Cretaceous water intakes of the Eastern Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* – *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 44, 63–71. [in Ukrainian]
7. Udalov, I. V. (2016). Transformatsiya geologicheskoy sredy pod vlianiem tehnogennykh protsessov v usloviyah Severo-Vostochnogo Donbassa: monografiya [The transformation of the geological environment under the influence of technological processes in the North-Eastern Donbass: monograph]. *Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University, 176.* [in Ukrainian]
8. Yakovlev, Ye., Udalov, I. (2024). Potentsiini faktory rehionalnoho rozvytku nebezpechnykh heofiltratsiinykh protsesiv vodokorystuvannia u basinakh pidzemnykh vod Ukrainy [Potential factors of regional development of hazardous geofiltration processes of water use in groundwater basins of Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»*, 60, 109–123. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-08> [in Ukrainian]

ГЕОСИСТЕМА РІЧКИ ТЕТЕРІВ: ОПИС ПРИРОДНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

Шевчук Лариса Миколаївна,
доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри наук про Землю
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-4164-514X
Scopus Author ID: 6507954532

Васільсва Людмила Анатоліївна,
кандидат біологічних наук,
доцент кафедри наук про Землю
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-0661-927X
Scopus Author ID: 57194690369

Билина Лілія Вікторівна,
викладач
Бердичівського медичного фахового коледжу
ORCID ID: 0000-0002-5893-4733
Scopus Author ID: 59484248100

Герасимчук Олена Леонтіївна,
кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач кафедри наук про Землю
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-1279-1888
Scopus Author ID: 57217461659

Стаття присвячена комплексному дослідженню геосистеми річки Тетерів як важливого компонента Дніпровського басейну. Розглянуто основні природні характеристики річкової системи, проаналізовано наслідки антропогенного впливу. Представлено детальний аналіз просторової диференціації ландшафтних комплексів річки Тетерів від витоків до гирла – від горбистого рельєфу Подільської височини до типових поліських ландшафтів з піщаними терасами та заболоченими заплавами. На основі аналізу моніторингових досліджень виявлено основні проблеми якості води річки Тетерів, зокрема, стабільно високий вміст заліза загального та марганцю, що перевищує нормативи у 3,5–5,6 та 7–12,6 рази відповідно. Встановлено чітку сезонну динаміку забруднення з піком у II кварталі та поступовим зниженням у III та IV кварталах, що свідчить про певну здатність річкової системи до самоочищення. Проаналізовано антропогенні впливи на геосистему річки, насамперед через трансформацію природного гідрологічного режиму внаслідок створення каскаду водосховищ (Чуднівське, Денишівське, Відсічне, Житомирське, Білокриницьке) та численних ставків (1174). Розглянуто основні небезпечкові ситуації в межах геосистеми Тетерева, включаючи катастрофічні повені (квітень 2013 р.) та маловоддя (літо 2020 р.), деградацію ландшафтних комплексів внаслідок гірничодобувної діяльності, зниження рівня підземних вод. На основі проведеного SWOT-аналізу визначено сильні та слабкі сторони геосистеми річки Тетерів, а також можливості та загрози для її сталого функціонування. Це дозволило обґрунтувати необхідність розробки комплексних заходів, спрямованих на модернізацію водогосподарської інфраструктури, екологічну реабілітацію порушених ландшафтів, створення ефективної системи моніторингу та адаптації до кліматичних змін. Результати дослідження мають теоретичне та практичне значення для розробки регіональних програм екологічного оздоровлення річки Тетерів, оптимізації режимів експлуатації водосховищ та вдосконалення системи моніторингу якості поверхневих вод у басейні річки.

Ключові слова: геосистема річки Тетерів, ландшафтні комплекси, гідрохімічний режим, антропогенне навантаження, зарегульованість стоку, евтрофікація, якість води, водні ресурси, SWOT-аналіз.

Shevchuk Larysa, Vasilieva Liudmyla, Bylina Liliia, Herasymchuk Olena. Teteriv River geosystem: description of natural components and anthropogenic impact

The article presents a comprehensive study of the Teteriv River geosystem as an important component of the Dnipro basin. It examines the main natural characteristics of the river system and analyzes the consequences of anthropogenic impact. The paper provides a detailed analysis of the spatial differentiation of landscape complexes along the Teteriv River from its source to mouth – from the hilly relief of the Podillia Upland to typical Polissia landscapes with sandy terraces and waterlogged floodplains. Based on monitoring

research analysis, the main water quality problems of the Teteriv River have been identified, particularly the consistently high content of total iron and manganese, exceeding standards by 3.5–5.6 and 7–12.6 times respectively. A clear seasonal dynamics of pollution has been established, with a peak in the second quarter and gradual decrease in the third and fourth quarters, indicating a certain capacity of the river system for self-purification. The anthropogenic impacts on the river's geosystem have been analyzed, primarily through the transformation of the natural hydrological regime due to the creation of a cascade of reservoirs (Chudniv, Denyshe, Vidsichne, Zhytomyr, Bilokrynytske) and numerous ponds (1,174). The article examines the main hazardous situations within the Teteriv geosystem, including catastrophic floods (April 2013) and low water levels (summer 2020), degradation of landscape complexes due to mining activities, and declining groundwater levels. Based on the SWOT analysis, the strengths and weaknesses of the Teteriv River geosystem have been identified, as well as opportunities and threats to its sustainable functioning. This allowed substantiating the need to develop comprehensive measures aimed at modernizing water management infrastructure, ecological rehabilitation of disturbed landscapes, creating an effective monitoring system, and adaptation to climate change. The research results have theoretical and practical significance for developing regional programs for ecological recovery of the Teteriv River, optimizing reservoir operation regimes, and improving the surface water quality monitoring system in the river basin.

Key words: Teteriv River geosystem, landscape complexes, hydrochemical regime, anthropogenic load, flow regulation, eutrophication, water quality, water resources, SWOT analysis.

Вступ. Річка Тетерів є однією з ключових водних артерій Центральної України, що становить важливий компонент Дніпровського басейну як його права притока. Дослідження цієї геосистеми набуває особливої актуальності в контексті зростаючих антропогенних навантажень та кліматичних змін, що призводять до суттєвих трансформацій водних екосистем. Протікаючи територією Житомирської та Київської областей на відстані 365 км, Тетерів формує унікальний природно-територіальний комплекс, що характеризується різноманітними ландшафтами – від лесових рівнин Подільської височини до типових поліських ландшафтів з піщаними терасами та заболоченими заплавами. Середня течія річки перетинає Український кристалічний щит, утворюючи мальовничі каньйоноподібні ділянки з виходами гранітів та гнейсів. Тривала історія господарського освоєння басейну Тетерева, особливо інтенсивна у XX столітті, призвела до суттєвої трансформації природного гідрологічного режиму річки через створення каскаду водосховищ та численних ставків, що вплинуло на функціонування всіх компонентів геосистеми. У даному дослідженні розглядаються основні природні компоненти геосистеми річки Тетерів та аналізуються наслідки антропогенного впливу, що визначають сучасний стан та перспективи розвитку цього важливого водного об'єкту.

Матеріали та методи. Дослідження геосистеми річки Тетерів базувалося на комплексному аналізі гідрологічних, гідрохімічних та ландшафтних характеристик водного об'єкту. Для оцінки якісного стану води матеріалами дослідження слугували дані моніторингу якості води Басейнового управління водних ресурсів Прип'яті за 2024 рік, що охоплювали ключові пункти спостережень вздовж русла річки, включаючи Відсічне водосховище (місце водозабору для м. Житомира). Аналізувалися такі показники: насиченість киснем, вміст заліза загального, марганцю, нікелю та його сполук, біохімічне споживання кисню (БСК₅), а також концентрації біогенних елементів – сполук нітрогену та фосфору.

Для вивчення особливостей ландшафтних комплексів річки застосовано метод просторово-територіального аналізу з виділенням характерних ділянок від витоків до гирла. Також морфологічні характеристики річкової долини досліджувалися шляхом аналізу

космічних знімків. Платформа доступу: Copernicus Browser, інструмент збору даних: Sentinel-2 L2A (з атмосферною корекцією), спектральний індекс: SWIR.

Антропогенний вплив на геосистему річки оцінювався на основі аналізу літературних даних. Для оцінки стійкості геосистеми річки проведено аналіз динаміки перевищень нормативних показників якості води та швидкості їх повернення до допустимих значень. Розраховувалися темпи зниження концентрацій забруднюючих речовин між кварталами, що дозволило визначити здатність річкової системи до самовідновлення після піків забруднення. Дослідження небезпечної ситуації у межах геосистеми річки включало аналіз ризиків, пов'язаних з різкими коливаннями рівня води у незарегульованих ділянках та маловоддям. Проаналізовано ситуацію щорічного "цвітіння" води у літній період та проведено аналіз можливих причин.

Результати дослідження. Річка Тетерів представляє собою праву притоку Дніпра середньої величини. Витік річки розташований приблизно за 4 км на південний захід від села Носівка Бердичівського району Житомирської області. Загальна протяжність річки становить 365 км, з яких 247 км проходить територією Житомирської області, решта – Київської [1]. Ширина річки коливається в межах 12-40 метрів, похил становить 0,5 м/км [2; 3, с. 50].

Басейн річки характеризується значним лісовим покривом, що становить 15% території, та заболоченими ділянками, які займають 4,4% площі. Перетинаючи Український кристалічний щит, р. Тетерів має добре зрізані, здебільшого скелясті береги з виходами на денну поверхню гнейсів та гранітів [4]. Річка Тетерів в межах розповсюдження осадових порід часто меандрує, має широку долину (до 1 км) з пологіми схилами, течія повільна, тиха. Зокрема, до міста Радомишль Тетерів тече у вузькій долині, річище звивисте та порожисте. Нижче річище поділяється на рукави та протоки, має острови, глибина від 0,5 до 2 м [3, с. 50]. Будова долини р. Тетерів асиметрична. Лівий берег крутий (іноді крутизна досягає 150) і високий (біля Коростишева висота краю долини над урізом води в річці 44,8 м); правий берег пологий. На крутому схилі лівого берегу, по всьому протязі р. Тетерів оголюються кристалічні породи у вигляді скель і невеликих

оголень. Правий пологий берег задернований. Абсолютні відмітки поверхні правого берегу значно менші ніж на лівому березі [5]. Для басейну річки характерний помірно-континентальний клімат. Ґрунти в межах геосистеми різноманітні: від дерново-підзолистих на півночі до дерново-глейових, лучних та болотних. Саме структура ґрунтового покриву та лісові масиви обумовлюють формування хімічного складу поверхневих, ґрунтових і підземних вод Тетерева. Також вони визначають мінералізацію, концентрацію органічних та біогенних сполук в них. У періоди високих паводків і повеней відбувається збагачення води органічними кислотами з лісової підстилки, що підвищує її кольоровість, знижує рН та зменшує вміст гідрокарбонатів. Під час меженного періоду вплив лісових екосистем послаблюється, що призводить до відновлення гідрокарбонатно-кальцієвого складу річкових вод. Циклічність змін гідрохімічних показників корелює із сезонними коливаннями гідрологічного режиму та відповідними біогеохімічними процесами. Природні фактори функціонують у комплексі з антропогенними чинниками, формуючи інтегральний вплив на гідрохімічний режим і потенційно інтенсифікуючи процеси забруднення водних об'єктів [3]. Загалом для Тетерева хімічний склад води характеризується гідрокарбонатно-кальцієвою структурою із сезонними коливаннями рівня мінералізації: мінімальні показники (316 мг/дм^3) фіксуються у весняний період, тоді як максимальні значення (522 мг/дм^3) спостерігаються взимку [6].

Живлення річки Тетерів переважно снігове, з помітним внеском дощових і ґрунтових вод. Річний гідрологічний режим характеризується чітко вираженою весняною повінню, низькою меженню та періодичними дощовими паводками. Льодостав на річці, як правило, суцільний і сталий. Середня потужність льодового покриву становить $0,2\text{--}0,3 \text{ м}$, а максимальна зафіксована потужність сягає $0,7 \text{ м}$. Льодовий покрив формується у другій половині листопада, а скресання річки відбувається у березні – на початку квітня [5].

Басейн річки Тетерів зазнав значних трансформацій протягом тривалого геологічного розвитку. Його фундамент у районі м. Житомира складається з сірих грубозернистих гранітів Чуднівсько-Бердичівського типу, які містять залишки прошарків гнейсу вздовж річкових долин, а також поодинокі жили середньозернистого граніту Житомирського типу, пегматитів та аплітів, що заповнюють тріщини в гранітних масивах. На даній території спостерігаються процеси гідрохімічної метаморфізації гранітів у гнейси, які тривають з моменту їх утворення до сучасного етапу [7].

Річка Тетерів протікає через різноманітні природні зони, формуючи характерні ландшафтні комплекси, які змінюються від витоків до гирла [8]. Верхня течія річки характеризується горбистим рельєфом Подільської височини. Тут переважають лесові рівнини з сірими лісовими ґрунтами та залишками широколистяних лісів. Долина річки неглибока, схили пологі, заплава переважно лучна, місцями заболочена. Сільськогосподарські угіддя займають значну частину території, що

суттєво змінило первинний ландшафт. Середня течія Тетерева перетинає Житомирське Полісся, де домінують моренно-зандрові рівнини. Тут річка формує глибоку (до $30\text{--}50 \text{ м}$) долину з численними скельними виходами кристалічних порід Українського щита. На цій ділянці спостерігаються мальовничі каньйоноподібні ділянки з гранітними берегами, які створюють характерний «поліський» пейзаж. Лісистість території зростає – з'являються мішані ліси з сосни, дуба, граба. Заплава набуває чітко вираженої терасової структури. Ділянки з водосховищами формують специфічний ландшафтний комплекс, де річкова долина трансформована в озероподібні розширення з підтопленими берегами та прилеглими територіями. Тут спостерігається зміна гідрофільної рослинності, формування абразійних берегів та акумулятивних зон. Нижня течія відзначається поступовим переходом до типових поліських ландшафтів з піщаними терасами, покритими сосновими лісами, та широкою заболоченою заплавою. Річкова долина стає більш пологою і широкою, а течія уповільнюється. Для цієї ділянки (після смт Пісківка) характерні меандри, стариці та заплавні озера. Приміські ландшафти у районі Житомира та інших населених пунктів являють собою антропогенно змінені комплекси з регульованими берегами, рекреаційними зонами, штучними насадженнями та різноманітною інфраструктурою. Гирлова ділянка Тетерева перед впадінням у Дніпро характеризується низинними, сильно заболоченими територіями з лучно-болотною рослинністю та вільховими лісами. Загалом, ландшафти річки Тетерів відзначаються значним різноманіттям і високим ступенем антропогенної трансформації, особливо в районах водосховищ та населених пунктів, що створює унікальне поєднання природних і культурних ландшафтних комплексів.

У межах Житомирської області до Тетерева впадає низка приток (рис. 1). Найзначнішими правими притоками є річка Гнилоп'ять, на березі якої розташоване місто Бердичів, та річка Гуїва, що протікає через місто Андрушівка. Серед лівих приток найбільшою є річка Ірша. На берегах Тетерева розташовані населені пункти, серед яких обласний центр Житомир (рис. 2), міста Коростишів і Радомишль, а також Чуднів, Іванків та Левків. Гідрологічний режим річки значно зарегульований. На Тетереві у межах Житомирської області створено п'ять водосховищ: Чуднівське, Денишівське (рис. 3), Відсічне (рис. 4), Житомирське та Білокриницьке. На притоках Тетерева споруджено вісімнадцять водосховищ. Тетерів виконує важливу водогосподарську функцію, слугуючи джерелом питного водопостачання для міста Житомира [1]. При цьому варто зазначити, що у Житомирській області спостерігається низька забезпеченість водними ресурсами ($2,27 \text{ тис. м}^3/\text{рік}$ на одну людину), а у Київській – катастрофічно низька ($0,46 \text{ тис. м}^3/\text{рік}$ на одну людину) [9, с. 11]. У зв'язку з посиленням антропогенного впливу на природне середовище, розвитком суспільного виробництва та зростанням матеріальних потреб виникає необхідність розробки та дотримання спеціальних норм регулювання



Рис. 1. Річка Тетерів [11]



Рис. 2. Річка Тетерів у м. Житомир [1]



Рис. 3. Денишівське водосховище [1]



Рис. 4. Водосховище «Відсічне» [1]

водокористування, забезпечення раціонального використання водних ресурсів та реалізації екологічно збалансованих заходів щодо їх охорони [10].

Загалом, річка Тетерів є одним із найбільш досліджених водних об'єктів Житомирської області [12, с. 83]. Дослідження її гідрологічного режиму та хімічного складу води розпочалися ще в XIX столітті, коли постало питання водопостачання міста Житомира. Вже в 1880-х роках проводились перші хімічні аналізи води річки, що підтверджується документальними свідченнями. Зокрема, в 1881 році в лабораторії Київського університету було проведено хімічний аналіз води Тетерева, який виявив присутність 6 неорганічних речовин у пропорціях, що перевищували санітарні норми того часу. При цьому зазначалось, що вода річки відмінної якості лише вище міста Житомира. Забруднені води до неї несла річка Кам'янка, яка впадає в межах міста, на берегах якої знаходилося кладовище, шкірзавод, лазні, пральні, тому її вода містить стоки та нечистоти. Саме тому зазначалось, що Тетерів в межах міста як джерело чистої води для водокористування використовуватись не може. Проте, іще до періоду Другої світової війни частина жителів міста використовували, поряд з централізованим водопостачанням, воду з річки Тетерів для пиття та щоденних потреб.

В 1950-х роках було зафіксовано погіршення якості води через промислові стоки, особливо від Бердичівського шкірзаводу, який скидав свої води у притоку Тетереви – річку Гнилоп'ять. Саме тому водозабір для міста було перенесено вище місця впадіння цієї річки. У 1960-1970 роках паралельно з розвитком промисловості в місті Житомирі, зростали скиди у Тетерів забруднюючих речовин [12, с. 84]. Зростання міста Житомира, будівництво нових фабрик та заводів вимагало створення стабільного водопостачання. У зв'язку з цим на річці Тетерів було розпочато спорудження декількох значних водосховищ, які суттєво змінили гідрологічний режим та екосистему річки. Споруджувались водосховища і на притоках річки.

Загалом, створення каскаду водосховищ на Тетереви дозволило вирішити проблеми водопостачання населених пунктів, але призвело до суттєвої трансформації природного характеру річки, її гідрологічного та гідрохімічного режиму. Більшість менших ставків на Тетереви та його притоках створювалися переважно у 1960–1980-х роках у період активного розвитку меліорації та сільського господарства в Україні. На сьогодні загальна кількість ставків у басейні Тетерева становить 1174 [13].

У контексті дослідження небезпечної ситуації у межах геосистеми річки можна виділити кілька основних типів загроз. У останні роки типовою проблемою є різке коливання рівня води у незарегульованих ділянках. У квітні 2013 р. на річці Тетерів спостерігалось значне підвищення рівня води на 1,5–2 метри, спричинене інтенсивним таненням снігового покриву. Це призвело до повного затоплення мосту, який забезпечував транспортне сполучення між містом Коростишевом та селом Харитонівка, а також ще п'ятьма населеними пунктами, розташованими за ним. Внаслідок цього було порушено постачання продуктів харчування та транспортну доступність до цих територій. На той момент неможливо було відновити функціонування мосту до зниження рівня води, що створювало додаткові ризики для місцевих мешканців. Існувала загроза розмиву берегів, що могло призвести до руйнування мостової конструкції та втрати транспортного зв'язку [14]. Ця ситуація підкреслює необхідність розробки ефективних заходів з управління ризиками повеней та адаптації до змін гідрологічного режиму в умовах кліматичних змін.

Натомість у літку 2020 року через відсутність опадів критично впав рівень води у річці і перед містом Житомир постала небезпека залишитись без води [15]. На знімку чітко можна побачити, що у межах села Дениші, одразу нижче греблі, русло річки не візуалізується (рис. 5).



Рис. 5. Знімок русла річки Тетерів

Особливу загрозу для стійкості геосистеми річки становить прогнозоване зменшення водного стоку, що призводить не лише до кількісного дефіциту води, а й до погіршення її якісних показників. У сільських населених пунктах та малих містах басейну Тетерева спостерігається зниження рівня підземних вод, пересихання колодязів і джерел, що порушує традиційну систему водопостачання індивідуальних домогосподарств і свідчить про зменшення стійкості ландшафтних комплексів річкової системи до наростаючих природно-техногенних викликів [9, с. 46–47].

Ще однією проблемою річки є щорічне «цвітіння води» у літній період (рис. 6). При цьому вміст фосфатів та сполук нітрогену у воді за даними багаторічного моніторингу не перевищує норми [16, 17]. Тому, ймовірно, велика площа мілководь, що добре прогріваються, замулення, уповільнений водообмін, що є наслідком зарегулювання стоку, можуть бути причинами регулярного «цвітіння» води. Також, наприклад, у воді р. Тетерів влітку 2024 року у період «цвітіння» був зафіксований підвищений рівень БСК₅ (3,47 мгО₂/дм³ при нормі 3,0 мгО₂/дм³). Це свідчить про органічне забруднення, що створює передумови для евтрофікації водойми.

Геосистема річки Тетерів у північній частині Полісся зазнає деградації ландшафтних комплексів внаслідок гірничодобувної діяльності. Численні антропогенні форми рельєфу (кар'єри, котловани, канали, канави) спричиняють істотне порушення природної структури земельних і водних ресурсів регіону. Особливо негативного впливу завдають відвали, відсів та вскришні породи, що за площею часто перевищують розміри самих виробок, підвищуючи рівень пилового забруднення та змінюючи первинні ландшафтні особливості території. Хоча на місці закинутих кар'єрів спостерігається стихійне формування рекреаційних зон і об'єктів зеленого туризму, такі ділянки характеризуються підвищеною природно-тех-

ногенною небезпекою та потребують значних ресурсів для екологічної реабілітації ландшафтів і відновлення стійкості геосистеми Тетерева [19].

Аналіз результатів досліджень якісного стану води у ключових пунктах річки Тетерів, включаючи Відсічне водосховище (місце водозабору для м. Житомира), протягом усього 2024 року [17], виявив високі показники насиченості киснем – від 8,8 до 13,5 мгО₂/дм³ залежно від сезону, що значно перевищує мінімально допустимі норми. Це створює сприятливі умови для водних організмів та свідчить про активні процеси самоочищення водойми.

При цьому відмічено стабільно високий вміст заліза загального, концентрація якого перевищує нормативи у 3,5–5,6 рази. Так, у другому кварталі року показник сягнув 0,560 мг/дм³ при нормі 0,1 мг/дм³. Подібна ситуація спостерігається із вмістом марганцю – його концентрація перевищує допустимі норми у 7–12 разів протягом року, з піковими значеннями у другому та третьому кварталах.

Підвищені концентрації сполук Mn і Fe у водоймах Полісся зумовлюються специфічними геохімічними умовами регіону, зокрема заболоченістю басейнів, високим рівнем залісненості та близьким розташуванням ілювіальних горизонтів дерново-підзолистих ґрунтів. Особливо критичною є ситуація у водоймах з обмеженим водообміном, де ці елементи спершу акумулюються в донних відкладах, а згодом при підвищенні температури повторно надходять у водну товщу. Сезонні коливання вмісту важких металів пояснюються їх періодичним вивільненням із донних відкладів та вимиванням із лісової підстилки і залізо-марганцевих конкрецій ґрунту. Хоча значна кількість сполук заліза може надходити і зі стічними водами підприємств. Перевищення за залізом загальним та манганом відмічається і іншими авторами [3; 16, с. 55].

Окрім того відмічено перевищення у Тетереві важких металів у четвертому кварталі. Жовтневі проби



Рис. 6. «Цвітіння» води у Тетереві у районі міського пляжу (27.06.2021) [18]

показали значне перевищення вмісту нікелю та його сполук на різних ділянках річки: у Радомишлі – у 13,2 рази вище норми, нижче міста Житомир – у 3 рази, а у Відсічному водосховищі, звідки здійснюється водозабір для обласного центру – у 1,7 рази. Органічне забруднення води у Тетереві також залишається актуальною проблемою. Показник біохімічного споживання кисню (БСК₅) перевищує нормативні значення протягом більшої частини року. Найвищі значення зафіксовані у третьому кварталі – 3,47 мгО₂/дм³ при нормі 3,0 мгО₂/дм³, що свідчить про надмірний вміст органічних речовин у воді. Водночас вода річки Тетерів має відносно низькі концентрації біогенних елементів – сполук нітрогену та фосфору. Вміст амонію, нітратів, нітритів та фосфатів протягом року залишався значно нижчим за гранично допустимі рівні, що є позитивним фактором і свідчить про обмежений вплив сільськогосподарських стоків (рис. 7).

Фахівці Басейнового управління водних ресурсів Прип'яті пов'язують наявні проблеми з якістю води передусім із недостатньо очищеними стічними водами населених пунктів та промисловими стоками. Значну роль відіграють також дифузні джерела забруднення, що особливо актуально для вмісту важких металів [17].

Оцінка стійкості геосистеми річки Тетерів потребує ретельного аналізу динаміки перевищень нормативних показників якості води та швидкості їх повернення до допустимих значень. Проведений аналіз даних моніторингу за 2024 рік дозволяє зробити наступні висновки щодо стійкості річкової екосистеми.

1. Сезонна динаміка забруднення. Спостерігається чітка сезонна динаміка забруднення з піком у II кварталі (весна-початок літа) та поступовим зниженням у III та IV кварталах. Це свідчить про певну здатність річкової системи до самоочищення.

2. Темпи повернення до норми. Найбільш швидкими темпами знижується концентрація марганцю – на 31,40% між III і IV кварталами. Залізо загальне та БСК₅ демонструють помірні темпи зниження – на 10,20% та 6,34% відповідно. Однак концентрація нікелю продовжує зростати, що вказує на відсутність процесів самоочищення за цим показником.

3. Характер перевищень. Для заліза та марганцю характерні перевищення норми в 3,5–12,6 рази протягом усього року без повного повернення до нормативних значень. Це свідчить про хронічний характер забруднення, ймовірно пов'язаний із природними геохімічними особливостями басейну.

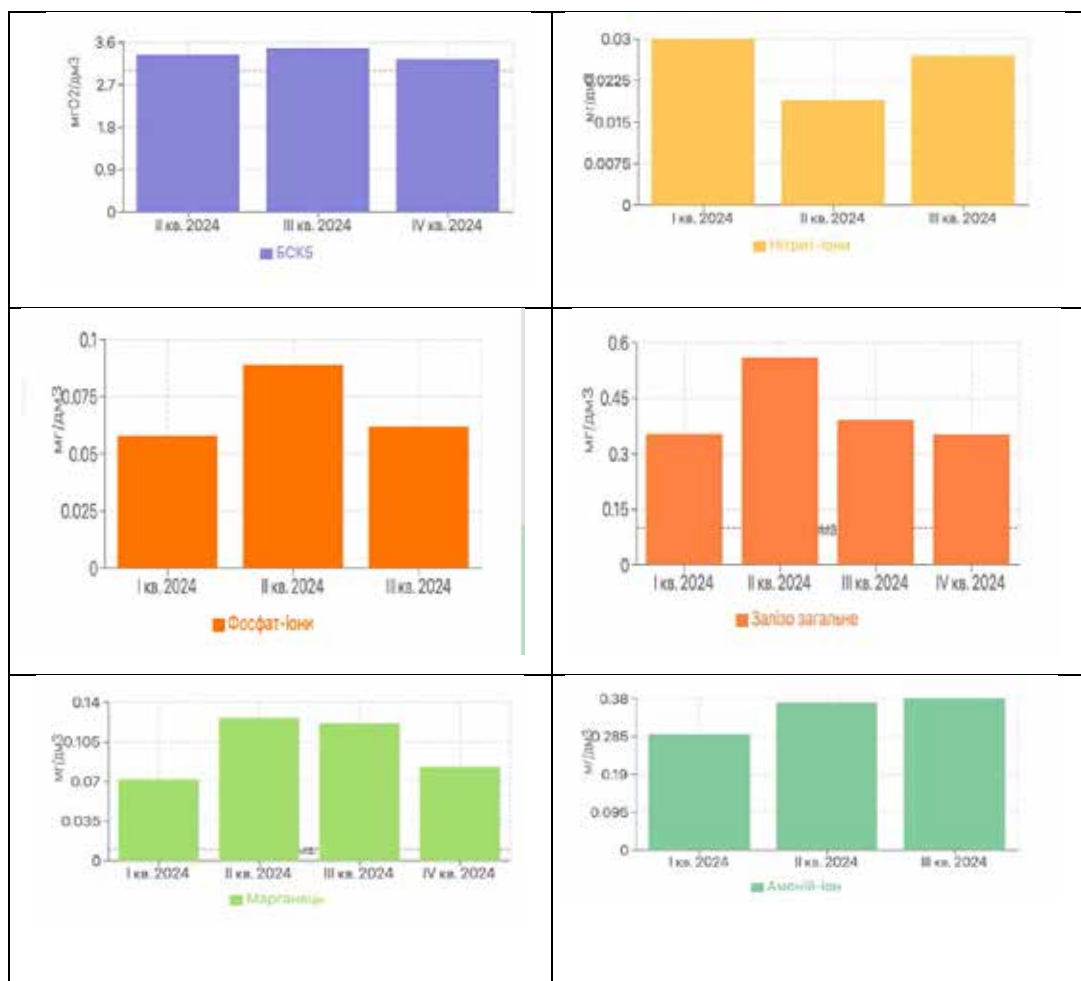


Рис. 7. Показники якості води річки Тетерів у 2024 році (червона пунктирна лінія показує ГДК за зазначеним показником)

4. Швидкість відновлення. Загальна тенденція до зниження середнього перевищення нормативів у III та IV кварталах (на 29,04% та 19,91% відповідно) свідчить про помірну здатність геосистеми до відновлення. Однак повного повернення до норми не спостерігається для жодного з показників.

5. Стійкість геосистеми. Геосистема річки Тетерів демонструє ознаки помірної стійкості з точки зору швидкості відновлення після піків забруднення. Зниження концентрацій забруднювачів у III та IV кварталах свідчить про функціонування механізмів самоочищення, однак їх ефективність недостатня для повного відновлення якості води.

6. Критичні показники. Найбільш проблемним показником є марганець, концентрація якого перевищує норму в 7,2–12,6 рази протягом року. Також викликає занепокоєння зростаюча концентрація нікелю в IV кварталі, що може свідчити про накопичення цього елемента в річковій системі.

Таким чином, спостерігається певна здатність геосистеми річки Тетерів до самовідновлення після піків забруднення, однак повернення до нормативних показників не відбувається. Система функціонує в умовах хронічного перевищення концентрацій заліза, мар-

ганцю та періодичного перевищення БСК₅ і вмісту нікелю.

Істотною проблемою, що детермінує якісні показники води річки Тетерів, є технологічна застарілість комплексів очисних споруд каналізації комунальних підприємств. Наявні системи характеризуються низькою ефективністю функціонування і потребують модернізації з імплементацією сучасних технологій очищення стічних вод. Статистичні дані свідчать, що із 31,527 млн м³ стічних вод, які підлягають очищенню, 93,9% (29,612 млн м³) відводяться як нормативно очищені, а 6,1% (1,915 млн м³) не досягають нормативних показників очистки [20].

У серпні 2021 р. комунальне підприємство «Житомирводоканал» через злив нечистот у річку Тетерів завдало збитків довікллю в розмірі 22,88 млн грн. У ґрунті також виявлене перевищення вмісту амонію, фосфору та хлоридів. Напередодні на головному колекторі Житомира сталася аварія. Шкоду від забруднення річки в Житомирі розрахували фахівці Державної екологічної інспекції (ДЕІ) [21].

Результати проведеного дослідження дозволили здійснити SWOT-аналіз геосистеми річки Тетерів, що представлений у таблиці 1.

Таблиця 1

SWOT-аналіз геосистеми річки Тетерів

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
1. Багатофункціональне значення для регіону: 1. Забезпечення питного водопостачання міста Житомира та інших населених пунктів. 2. Формування унікального природно-територіального комплексу з різноманітними ландшафтами	1. Хронічне забруднення води: 1. Стабільно високий вміст заліза загального, що перевищує нормативи у 3,5–5,6 рази. 2. Значне перевищення концентрації марганцю (у 7–12,6 рази протягом року). 3. Періодичне перевищення БСК ₅ та вмісту нікелю
2. Природне біорізноманіття: 1. Різноманітність ландшафтних комплексів: від лесових рівнин Подільської височини до типових поліських ландшафтів. 2. Наявність мальовничих каньйоноподібних ділянок з виходами гранітів та гнейсів у середній течії	2. Зарегульованість стоку: 1. Суттєва трансформація природного гідрологічного режиму через створення каскаду водосховищ та численних ставків. 2. Уповільнений водообмін, що сприяє евтрофікації водойми. 3. Значна площа мілководь, що швидко прогриваються і сприяють «цвітінню» води
3. Гідрологічні особливості: 1. Висока насиченість води киснем (8,8–13,5 мгО ₂ /дм ³), що створює сприятливі умови для водних організмів. 2. Низькі концентрації біогенних елементів (сполук нітрогену та фосфору) у воді протягом року	3. Технологічна застарілість очисних споруд: 1. Низька ефективність функціонування комплексів очисних споруд каналізації комунальних підприємств. 2. Близько 6% стічних вод не досягають нормативних показників очистки
4. Здатність до самоочищення: 1. Тенденція до зниження середнього перевищення нормативів забруднюючих речовин у III та IV кварталах (на 29,04% та 19,91% відповідно). 2. Помірна стійкість геосистеми з точки зору швидкості відновлення після піків забруднення	4. Асиметричність долини річки: 1. Нерівномірний розподіл стоку та відкладення наносів через асиметричну будову долини 2. Лівий берег крутий (до 15°) і високий, що створює ризики ерозії, правий берег пологий
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
1. Розвиток екологічного моніторингу: 1. Впровадження систематичного комплексного моніторингу стану річки. 2. Використання сучасних методів дистанційного зондування для контролю за станом водних екосистем	1. Кліматичні зміни: 1. Прогнозоване зменшення водного стоку, що призводить до кількісного дефіциту води та погіршення її якісних показників. 2. Ризик критичного падіння рівня води у літній період (як у 2020 році) та загроза водної кризи для м. Житомир
2. Модернізація водогосподарської інфраструктури: 1. Оновлення та реконструкція очисних споруд для підвищення ефективності очищення стічних вод. 2. Впровадження сучасних технологій водопідготовки для покращення якості питної води	2. Гідрологічні ризики: 1. Різкі коливання рівня води у незарегульованих ділянках. 2. Загроза повеней (як у квітні 2013 р.) з підйомом води на 1,5–2 метри. 3. Ризик руйнування берегів та порушення транспортного сполучення між населеними пунктами
3. Екологічна реабілітація ландшафтів: 1. Відновлення деградованих ділянок у північній частині Полісся, порушених гірничодобувною діяльністю. 2. Створення водоохоронних зон та прибережних захисних смуг для зменшення впливу дифузних джерел забруднення	3. Забруднення важкими металами: 1. Зростання концентрації нікелю, що може свідчити про накопичення цього елемента в річковій системі. 2. Ризик аварійних скидів, які можуть призвести до значних збитків довікллю (як у серпні 2021 р.)
4. Розвиток рекреаційного потенціалу: 1. Формування екологічно орієнтованих рекреаційних зон на базі водосховищ. 2. Розвиток зеленого туризму на основі мальовничих каньйоноподібних ділянок річки	4. Зниження стійкості ландшафтних комплексів: 1. Зниження рівня підземних вод, пересихання колодязів і джерел у сільських населених пунктах. 2. Деградація ландшафтних комплексів внаслідок гірничодобувної діяльності. 3. Посилення пилового забруднення від відвалів та вскришних порід гірничих розробок

Висновки. На основі проведеного дослідження геосистеми річки Тетерів можна зробити наступні висновки:

1. Річка Тетерів являє собою унікальний природно-територіальний комплекс із різноманітними ландшафтами, що змінюються від лесових рівнин Подільської височини до типових поліських ландшафтів з піщаними терасами та заболоченими заплавами. Особливої унікальності надають геосистемі каньйоноподібні ділянки з виходами гранітів та гнейсів Українського кристалічного щита в середній течії річки.

2. Гідрохімічний режим річки характеризується гідрокарбонатно-кальцієвою структурою з сезонними коливаннями рівня мінералізації. Спостерігається стабільно високий вміст заліза загального та марганцю, що перевищує нормативи у 3,5–5,6 та 7–12,6 рази відповідно, що пов'язано з геохімічними особливостями регіону, заболоченістю басейну та високим рівнем залісненості території.

3. Антропогенний вплив на геосистему річки Тетерів проявляється насамперед у суттєвій трансформації природного гідрологічного режиму внаслідок створення каскаду водосховищ та численних ставків (1174). Зарегульованість стоку призвела до уповільнення водообміну, формування значних площ мілководь, що інтенсифікує процеси евтрофікації водойми та сприяє щорічному «цвітінню» води у літній період.

4. Оцінка стійкості геосистеми річки виявила її помірну здатність до самовідновлення після піків забруднення, що підтверджується тенденцією до зниження середнього перевищення нормативів забруднюючих речовин у III та IV кварталах (на 29,04% та 19,91% відповідно). Проте повернення до нормативних показників не відбувається, що свідчить про функціонування системи в умовах хронічного забруднення.

5. Технологічна застарілість комплексів очисних споруд каналізації комунальних підприємств є істот-

ною проблемою, що детермінує якісні показники води. Із загального обсягу стічних вод, які підлягають очищенню (31,527 млн м³), 6,1% (1,915 млн м³) не досягають нормативних показників очистки, що підвищує ризик забруднення річкової системи.

6. Геосистема річки Тетерів зазнає значних ризиків, пов'язаних з кліматичними змінами, що проявляються у різких коливаннях рівня води – від катастрофічних повеней (як у квітні 2013 р. з підйомом води на 1,5–2 метри) до критичного маловоддя (літо 2020 р.), що загрожує стабільності водопостачання населених пунктів, зокрема м. Житомира.

7. Потенційну загрозу для стійкості геосистеми становить зниження рівня підземних вод, пересихання колодязів і джерел у сільських населених пунктах та малих містах басейну Тетерева, а також деградація ландшафтних комплексів внаслідок гірничодобувної діяльності у північній частині Полісся.

8. Проведений SWOT-аналіз геосистеми річки Тетерів виявив необхідність розробки та впровадження комплексних заходів, спрямованих на модернізацію водогосподарської інфраструктури, екологічну реабілітацію порушених ландшафтів, створення ефективної системи моніторингу та адаптації до кліматичних змін.

9. Для забезпечення сталого функціонування геосистеми річки Тетерів необхідно розробити науково обґрунтовану стратегію управління водними ресурсами басейну з урахуванням екологічних, економічних та соціальних аспектів, що дозволить зберегти цей важливий водний об'єкт для майбутніх поколінь.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для розробки регіональних програм екологічного оздоровлення річки Тетерів, оптимізації режимів експлуатації водосховищ та вдосконалення системи моніторингу якості поверхневих вод у басейні річки.

Література:

1. Водні ресурси Житомирської області. Житомирське обласне управління водних ресурсів. URL: <https://web.archive.org/web/20171018191945/http://zouvr.gov.ua/richki.html> (дата звернення: 13.04.2025).
2. Швебс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України: навчально-довідковий посібник. Одеса : Астропринт, 2003. 390 с.
3. Шумигай І.В., Манішевська Н.М., Постоєнко Д.М., Мороз В.В. Гідрохімічний режим та екологічний стан водного басейну р. Тетерів. *Агроєкологічний журнал*. 2020. № 4. С. 47–58. URL: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219445> (дата звернення: 13.04.2025).
4. Річка Тетерів. Басейнове управління водних ресурсів річки Прип'ять. URL: https://buvrzt.gov.ua/vodni_resursy.html (дата звернення: 13.09.2025).
5. Водні ресурси. Геопортал містобудівного кадастру Житомирської області. URL: <https://cutt.ly/irizhKbU> (дата звернення: 13.04.2025).
6. Тетерів. Велика українська енциклопедія. URL: <https://vue.gov.ua/Тетерів> (дата звернення: 13.04.2025).
7. Сергійчик А.С., Корбут Г.О. Геологічні дослідження в басейні річки Тетерів на околицях м. Житомира. *Біологічні дослідження – 2012* : матеріали конференції. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2012. С. 110–111.
8. Тетерів. *Вікіпедія : вільна енциклопедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Тетерів> (дата звернення: 13.04.2025).
9. Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України. Київ : Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021. 68 с.
10. Водний кодекс України: Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. DOI: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 13.04.2025).
11. Grachov A. P. Hydrological zoning of Ukraine. 2023. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-7.html> (дата звернення: 13.04.2025).
12. Павельчук Є.М. Гідролого-гідрохімічна вивченість території Житомирської області. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2013. №1 (28). С. 82–88. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2013_1_12 (дата звернення: 13.04.2025).

13. Стави Житомирської області. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Стави_Житомирської_області (дата звернення: 13.04.2025).
14. Кузнєцова О. Річка Тетерів на Житомирщині поглинула автомобільний міст. URL: <https://cutt.ly/mrizu0cX> (дата звернення: 13.04.2025).
15. Житомир на порозі водної кризи. Офіційний сайт КП «Житомирводоканал». URL: <https://vodokanal.zt.ua/news/zitomir-na-porozi-vodnoi-krizi> (дата звернення: 13.04.2025).
16. Скиба Г., Кірейцева Г., Герасимчук О., Циганенко-Дзюбенко І., Хоменко С. Визначення та прогнозування вмісту есенціальних важких металів у поверхневих водах урбанізованих ділянок річки Тетерів (Житомир). *Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки*. 2024. № 2. С. 50–57. URL: <https://journals.spu.sumy.ua/index.php/natural/article/view/461> (дата звернення: 13.04.2025).
17. Басейнове управління водних ресурсів річки Прип'ять: офіційний сайт. URL: <https://buvrzt.gov.ua/monitoring.html> (дата звернення: 13.04.2025).
18. Цвітіння водоростей у річці Тетерів – чим небезпечне для здоров'я людини? *Житомир.info*. URL: <https://zhzh.com.ua/zhitomir/2021-06-27-10435.html> (дата звернення: 13.04.2025).
19. Серебряна М., Деревська К. Чинники впливу на стан водойм Рівненського та Житомирського Полісся у зв'язку з нераціональним використанням природних ресурсів. 2019. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/items/32d3028c-8be3-40f0-93af-6577034cbb7b> (дата звернення: 13.04.2025).
20. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2021 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-Zhytomyrska-ODA-2021.pdf> (дата звернення: 13.04.2025).
21. Гончаренко А. Забруднили на 23 млн грн: водоканал у Житомирі злив у річку 120 тисяч куб. м відходів. URL: <https://cutt.ly/TrizxJRe> (дата звернення: 13.04.2025).

References:

1. Vodni resursy Zhytomyrskoi oblasti [Water resources of Zhytomyr region]. (n.d.). Zhytomyrske oblasne upravlinnia vodnykh resursiv. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://web.archive.org/web/20171018191945/http://zouvr.gov.ua/richki.html>
2. Shvebs, G. I., & Igoshyn, M. I. (2003). *Kataloh richok i vodoim Ukrainy: navchalno-dovidkovyi posibnyk* [Catalog of rivers and reservoirs of Ukraine: educational reference guide]. Odesa: Astro-prynt, 390.
3. Shumyhai, I. V., Manishevskaya, N. M., Postoienko, D. M., & Moroz, V. V. (2020). Hidrokhimichniy rezhym ta ekolohichniy stan vodnoho baseinu r. Teteriv [Hydrochemical regime and ecological state of the water basin of the Teteriv River]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 4, 47-58. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2020.219445>
4. Richka Teteriv [The Teteriv River]. (n.d.). Basynove upravlinnia vodnykh resursiv richky Prypiat. Retrieved September 13, 2025. URL: https://buvrzt.gov.ua/vodni_resursy.html
5. Vodni resursy [Water resources]. (n.d.). Geoportal mistobudivnoho kadastru Zhytomyrskoi oblasti. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://cutt.ly/irizhKbU>
6. Teteriv. (n.d.). Velyka ukrainska entsyklopediia [Great Ukrainian Encyclopedia]. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://vue.gov.ua/Teteriv>
7. Sergiichuk, A. S., & Korbut, G. O. (2012). Heolohichni doslidzhennia v baseini richky Teteriv na okolytsiakh m. Zhytomyra [Geological research in the basin of the Teteriv River in the vicinity of Zhytomyr]. In *Biolohichni doslidzhennia – 2012 : materialy konferentsii* (pp. 110-111). Zhytomyr : Vyd-vo ZhDU im. I. Franka.
8. Teteriv. (n.d.). Wikipedia: The Free Encyclopedia. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Teteriv>
9. Snizhko, S., Shevchenko, O., & Didovets, Yu. (2021). Analiz vplyvu klimatychnykh zmin na vodni resursy Ukrainy [Analysis of the impact of climate change on water resources of Ukraine]. Kyiv : Tsentral'nyi ekolohichniy initsiatyv «Ekodiia».
10. Vodnyi kodeks Ukrainy [Water Code of Ukraine], Law of Ukraine No. 213/95-VR (1995, June 6). Retrieved April 13, 2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
11. Grachov, A. P. (2023). Hydrological zoning of Ukraine. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-7.html>
12. Pavelchuk, Ye. M. (2013). Hidroloho-hidrokhimichna vyvchenist terytorii Zhytomyrskoi oblasti [Hydrological and hydrochemical study of the territory of Zhytomyr region]. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia*, 1(28), 82-88. Retrieved April 13, 2025. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe_2013_1_12
13. Stavy Zhytomyrskoi oblasti [Ponds of Zhytomyr region]. (n.d.). Wikipedia: The Free Encyclopedia. Retrieved April 13, 2025. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Стави_Житомирської_області
14. Kuznetsova, O. (n.d.). Richka Teteriv na Zhytomyrshchyni pohlynula avtomobilnyi mist [The Teteriv River in Zhytomyr region engulfed a road bridge]. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://cutt.ly/mrizu0cX>
15. Zhytomyr na porozi vodnoi kryzy [Zhytomyr on the verge of a water crisis]. (n.d.). Official website of KP «Zhytomyrvodokanal». Retrieved April 13, 2025. URL: <https://vodokanal.zt.ua/news/zitomir-na-porozi-vodnoi-krizi>
16. Skyba, G., Kireitseva, G., Gerasymchuk, O., Tsyganenko-Dziubenko, I., & Khomenko, S. (2024). Vyznachennia ta prohnozuvannia vmistu esentsialnykh vazhkykh metaliv u poverkhnevyykh vodakh urbanizovanykh dilianok richky Teteriv (Zhytomyr) [Determination and prediction of the content of essential heavy metals in the surface waters of urbanized areas of the Teteriv River (Zhytomyr)]. *Slobozhanskyi naukovyi visnyk. Serii: Pryrodnychi nauky*, 2, 50-57. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://journals.spu.sumy.ua/index.php/natural/article/view/461>
17. Basynove upravlinnia vodnykh resursiv richky Pryp'iat [Basin management of water resources of the Prypiat River]. (n.d.). Official website. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://buvrzt.gov.ua/monitoring.html>

18. Tsvitinya vodorostei u richtsi Teteriv – chym nebezpechne dlia zdorov'ya liudyny? [Algae bloom in the Teteriv River – how dangerous is it for human health?]. (2021, June 27). *Zhytomyr.info*. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://zhzh.com.ua/zhitomir/2021-06-27-10435.html>
19. Serebriyana, M., & Derevska, K. (2019). Chynnyky vplyvu na stan vodoim Rivnenskoho ta Zhytomyrskoho Polissia u zviazku z neratsionalnym vykorystanniam pryrodnykh resursiv [Factors influencing the state of reservoirs of Rivne and Zhytomyr Polissia in connection with irrational use of natural resources]. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/items/32d3028c-8be3-40f0-93af-6577034cbb7b>
20. Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine]. (2022). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnogo seredovyshcha Zhytomyrskoi oblasti u 2021 rotsi [Regional report on the state of the environment of Zhytomyr region in 2021]. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-Zhytomyrska-ODA-2021.pdf>
21. Goncharenko, A. (n.d.). Zabrudnyly na 23 mln hrn: vodokanal u Zhytomyri zlyv u richku 120 tysiach kub. m vidkhodiv [Polluted for 23 million UAH: water utility in Zhytomyr discharged 120 thousand cubic meters of waste into the river]. Retrieved April 13, 2025. URL: <https://cutt.ly/JrizxJRe>

НОТАТКИ

Наукове видання

СЛОБОЖАНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК

Серія: Природничі науки

Науковий журнал

Випуск 1, 2025

Коректура • *Н. Ігнатова*

Комп'ютерна верстка • *С. Калабухова*

Підписано до друку: 31.03.2025 р.
Формат 60x84/8. Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 18,13.
Замов. № 0525/422. Наклад 100 прим.

Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.