Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 15

Науковий журнал,
заснований у 2022 році

Видавничий дім
«Гельветика»
2026

Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка (протокол 5 від 27.02.2026 року).

Головний редактор

Шелюк Юлія Святославівна – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Відповідальний секретар

Пацюк Марина Костянтинівна – доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Члени редакційної колегії:

Гарбар Олександр Васильович – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Жовнерчук Ольга Валентинівна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу акарології Інституту зоології імені І. І. Шмальгаузена Національної академії наук України (Київ, Україна)

Капуста Анжей – PhD, Начальник відділу іхтіології, гідробіології і гідро екології Національного науково-дослідного інституту внутрішнього рибальства, Ольштин, Польща

Кестутіс Арбачіускас – доктор наук, професор, Головний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут, Центр природничих досліджень та Центр наук про життя Вільнюського університету, Литва

Киричук Галина – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Листван Катерина Євгеніївна – кандидат біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу генетичної інженерії Інституту клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України (Київ, Україна)

Семенюк Наталія Євгенівна – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу санітарної гідробіології та гідропаразитології Інституту гідробіології Національної академії наук України (Київ, Україна)

Студженас Вірмантас – PhD, старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут «Центр природничих досліджень» (Вільнюс, Литва)

Хомутовська Наталя – PhD, науковий співробітник кафедри біології захисту рослин Шведського університету сільськогосподарських наук (Уппсала, Швеція)

Наукове періодичне видання

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Овчаренко Микола, відп. ред. Шелюк Юлія]. Житомир: 2026. № 15. 300 с.

Реєстрація в Національній раді України з питань телебачення і радіомовлення (Рішення № 540 від 20.07.2023 р.).

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Житомирський державний університет імені Івана Франка (вул. Велика Бердичівська, 40, м. Житомир, 10008, intel@zu.edu.ua, тел. (0412) 43-14-17)

Фахова реєстрація (категорія «Б»): Наказ МОН України № 491 від 27.04.2023 року (додаток 3)

Спеціальності: Е1 Біологія та біохімія, Е2 Екологія, Е3 Хімія, Е4 Науки про Землю, С6 Географія та регіональні студії, Н1 Агрономія

Мови публікацій: українська, англійська.

Сайт видання: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Макетування: Кузнєцова Н. С.

В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.

Дата розміщення онлайн: 31.03.2026. Дата друку: 07.04.2026.
Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 34,88. Тираж 300. Замовлення 0226/191

Видавничий дім «Гельветика»
65101, 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.

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

© Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2026

Ministry of Education and Science of Ukraine
Zhytomyr Ivan Franko State University

Ukrainian Journal of Natural Sciences

№ 15

Scientific journal,
founded in 2022

Publishing House
“Helvetica”
2026

Approved for publication by the Academic Council of Zhytomyr Ivan Franko State University
(protocol № 5 dated from 27.02.2026).

Editorial Board

Editor-in-chief

Shelyuk Yulia – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Executive Secretary

Patsyuk Marina – Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Members of the Editorial Board

Harbar Oleksandr – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Head of the Department of Ecology and Geography, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Zhovnerchuk Olha – PhD (Biology), Senior Scientist of the Department of Acarology, I. I. Schmalhausen Institute of Zoology of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Kapusta Andrzej – PhD, Head of the Department of Ichthyology, Hydrobiology and Aquatic Ecology, National Inland Fisheries Research Institute, Olsztyn, Poland

Kęstutis Arbačiauskas – Dr., Prof.,Chief Resercher, State Scientific Research Institute Nature Research Centre and Vilnius, University Life Sciences Center, Lithuania

Kyrychuk Halyna – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Professor of the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity, Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Lystvan Kateryna – PhD (Biology), Senior Research Associate, Senior Researcher at the Department of Genetic Engineering, Institute of Cell Biology and Genetic Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Semenyuk Nataliya – Doctor of Sciences (Biology), Senior Research Associate, Senior Scientist of the Department of Sanitary Hydrobiology and Hydroparasitology, Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Stunzenas Virmantas – PhD, Senior Research, State Scientific Research Institute «Nature Research Center» (Vilnius, Lithuania)

Khomutovska Natalia – PhD, Postdoctoral Researcher of the Department of Plant Protection Biology, Swedish University of Agricultural Sciences (Uppsala, Sweden)

Scientific Periodical

Ukrainian Journal of Natural Sciences / [editor Ovcharenko Mykola, co-editor-in-chief Sheliuk Yuliia].
Zhytomyr: 2026. № 15. 300 p.

Registered by the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine (Decision No. 540 dated 20.07.2023).

Media entity – Zhytomyr Ivan Franko State University
(10008, Zhytomyr, Velyka Berdychivska Str., 40, intel@zu.edu.ua, tel. (0412) 43-14-17).

Professional registration (category «B»): Decree of MES No. 491 (Annex 3) dated 27.04.2023

Specialties: E1 Biology and Biochemistry, E2 Ecology, E3 Chemistry, E4 Earth Sciences,
C6 Geography and Regional Studies, H1 Agriculture

Publication languages: Ukrainian, English.

Website: naturaljournal.zu.edu.ua/index.php/ujns
Modelling: Kuznietsova N. S.

Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles.

Published online: 31.03.2026. Print date: 07.04.2026.
Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman
Digital printing. Conventional printed sheets 34,88. Number of copies 300. Order 0226/191

Publishing House "Helvetica" 65101,
Ukraine, Odesa, 6/1 Inglizi St.
Telephone: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of a publishing entity ДК No 7623 dated 22.06.2022

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online
© Zhytomyr Ivan Franko State University, 2026

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

БІОЛОГІЯ

UDC 594.3:504.5:543.395(477.282.2)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.1

ECOTOXICOLOGICAL FEATURES OF *PLANORBARIUS CORNEUS* SENSU LATO (MOLLUSCA: GASTROPODA: PULMONATA: PLANORBIDAE) ALLOSPECIES FROM UKRAINIAN RIVER NETWORK UNDER IMPACT OF SYNTHETIC DETERGENTS

Yu. V. Ikonnikova[1]

We studied the action of different widespread in Ukraine non-phosphate ("LOSK", "Friends") and phosphate ("Savex", "Teo Bebe") detergents in different concentrations (0.001–1000 mg/L) on the ecotoxicological features of vicarious genetic allospecies of great ramshorn Planorbarius corneus sensu lato, "western" and "eastern". The main toxicological indexes (LC_0, LC_{50}, LC_{100}), latent period, lethal time, mean lethal time, and coefficients of endurance and adaptation were established for both allospecies. It was found that by toxicity scale used detergent belong to the weakly toxic ("LOSK", "Friends"), very toxic ("Teo Bebe") and highly toxic ("Savex"), presenting the following order: «Savex» > «Teo Bebe» > «LOSK», «Friends». Under the impact of toxicants in applied concentrations the experimental molluscs developed the irreversible pathological process of intoxication, composing of five phases: latent, stimulation, depression, sub-lethal and lethal. Under the impact of equal concentrations of detergents applied in the experiments, the mortality of "eastern" allospecies was higher than that of "western" one. Obtained ecotoxicological indexes demonstrate the different sensitivity of two allospecies for used toxicants ($p \leq 0,05$). The "eastern" allospecies appeared to be much more sensitive and less adapted for different detergents' impact than "western" allospecies. That's why both P. corneus s. lato allospecies can be used as indicator objects in monitoring of pollution level by these detergents of nature water bodies of Ukraine.

Key words: *freshwater molluscs, surfactants, ecotoxicological parameters, aquatic ecosystem pollution.*

ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ АЛОВИДІВ *PLANORBARIUS CORNEUS* SENSU LATO (MOLLUSCA: GASTROPODA: PULMONATA: PLANORBIDAE) ГІДРОМЕРЕЖІ УКРАЇНИ ЗА ВПЛИВУ РІЗНИХ СИНТЕТИЧНИХ МИЮЧИХ ЗАСОБІВ

Ю. В. Іконнікова

Досліджено вплив різних концентрацій (0,001–1000 мг/л) широко застосовуваних в Україні безфосфатних («LOSK», «Друг») і фосфатних («Savex», «Teo Bebe») миючих засобів на екотоксикологічні особливості генетичних аловидів-вікаріантів витушки рогової Planorbarius corneus s. lato – «західного» і «східного». Встановлено значення основних токсикологічних показників (LC_0, LC_{50}, LC_{100}), межі латентного періоду, летальний час і летальний середній час, а також коефіцієнти

[1] Assistant at the Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biological Diversity (Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr)
e-mail: Ikonnikova-Y@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6887-0529

витривалості та пристосування для обох аловидів. З'ясовано, що за шкалою токсичності речовин для аловидів P. corneus s. lato використані синтетичні миючі засоби належать до категорій слабкотоксичних («LOSK», «Друг»), сильнотоксичних («Teo Bebe») і високотоксичних («Savex») речовин, формуючи за ступенем зменшення токсичності такий ряд: «Savex» > «Teo Bebe» > «LOSK» > «Друг». У піддослідних молюсків за дії досліджених концентрацій токсикантів розвивався незворотний патологічний процес – отруєння, що включало п'ять фаз: латентну, стимуляційну, депресивну, сублетальну та летальну. Смертність особин аловиду «східного» за однакових концентрацій використаних у дослідах детергентів була вищою порівняно з аловидом «західним». Отримані значення екотоксикологічних показників свідчать про різну чутливість аловидів витушок до впливу досліджених токсикантів (p≤0,05). Аловид «східний» виявився значно чутливішим і менш пристосованим до дії різних СМЗ, ніж аловид «західний». Отже, обидва аловида-вікаріанти P. corneus s. lato можуть бути рекомендовані як індикаторні об'єкти для біомоніторингу рівня забруднення природних вод України синтетичними детергентами.

***Ключові слова**: прісноводні молюски, поверхнево-активні речовини, детергенти, екотоксикологічні показники, забруднення водних екосистем.*

Introduction

In modern world, the human's actions have caused the set of global ecological problems for Earth's hydrosphere (Sveum & Elamonovich, 2022; Uwajewa et al., 2022). From the end of XX – beginning of XXI centuries, the different synthetic detergents have gotten into the surface waters of Ukraine progressively as municipal wastes and wastes of several industries (light, oil refining and petrochemical, industry of synthetic rubber, fibers and toxic chemicals) (Романенко, 2001). The production of detergents grows yearly, as their assortment also does. These detergents are characterized by emulsifying, dispersive and lightening features and contain the synthetic surface-active compounds (15–25%).

They are well-soluble in water, however, are slowly decaying, and thus settle in water bodies for long. Getting into the nature ecosystems, these pollutants are involved into the circulation of substances, being oxidized and adsorbed by suspensions and bottom substrates, that somewhat lowers their concentrations in water. The level of biochemical oxidation of these pollutants depends as on their chemical composition and structure, as on the environmental conditions (Mousavi & Khodadoost, 2019). By now, the water bodies without detergents are almost absent in Ukraine, and the level of river network pollution by them exceeds the established norms of their MPC (0,5 mg/L for anion-active, 0,1 mg/L for non-ionic) in tens and hundreds of times (Дудник і Євтушенко, 2013).

The consequence of the wide detergents application has become the increase of phosphorus in Ukrainian wastewaters, which can migrate and accumulate in bottom sediments and in hydrobionts, provoking the intensive growth of water plants biomass, which causes the eutrophication of water bodies (Савлучинська та ін., 2013). The detergents containing phosphates are quite caustic and causes excessive foam production, impoverishing the water of soluble oxygen, and deteriorating the feeding chains (Mathew et al., 2013; Divya, 2015; Toledo et al., 2021). In modern days, along the phosphate-containing detergents exist there are become more used the less toxic non-phosphate detergents (Уваєва, 2018). Their impact, as the impact of all others detergents, is multifactorial and is caused in two ways. The first (direct) – the impact of these pollutants on the behavioral, physiological, biochemical and biological processes occurring in hydrobionts' organisms, changing them one or another way (Logeswari et al., 2021; Borah, 2022). It is known that under the certain detergent concentrations, the set of physiological processes in freshwater molluscs become impaired: filtration (Уваєва і Сарган, 2011; Уваєва, 2012, 2018; Stadnychenko et al., 2019), respiration (Бабич і Стадниченко, 2022; Астахова, 2023), hematological (Стадниченко і Янович, 2004; Бабич та ін., 2021; Махневич і Стадниченко, 2021) and trophological indexes (Стадниченко, 2005). The second (indirect) impact of detergents on hydrobionts is caused by the changes in physical, physico-chemical and chemical water features, i.e. their life environment. That's because the hydrobionts can change water pH and salinity, making difficult the biological processes of oxidation of organic pollutions, and thus influencing the oxygen consumption by water organisms (Chandanshive, 2013; Білик та ін., 2021). Besides, the detergents can cause the mutagenic, embryotoxic and gonadotoxic impact on hydrobionts (Уваєва, 2018).

The study of impact of different detergents on the water ecosystems and their inhabitants, particularly the molluscs playing important role in the bioindication of water environment

state, is actual (Дідух, 2012). The danger of this toxicants use consist of them impairing the normal water aeration, impairing the respiration of hydrobionts. That's why it is expedient to found out the impact of different detergents on viability of great ramshorn allospecies.

The aim of present study is to establish the features of impact of different concentrations of widely used in Ukraine non-phoshate («LOSK», «Friends») and phosphate («Savex», «Teo Bebe») detergents by the ecotoxicological indexes of "western" and "eastern" allospecies of *P. corneus* s. lato, and to estimate the expedience of use of these allospecies in biomonitoring of Ukrainian water ecosystems state.

Material and methods

The material was the individuals of great ramshorn *P. corneus* s. lato of the same age collected by hand in June-August 2021: 670 individuals of "western" allospecies (shell diameter – 25,62±0,12 mm) from the Sluch river (Prypiat basin) near Myropol settlement (50°06'29.0''N 27°41'27.2''E), and 665 individuals of "eastern" allospecies (shell diameter – 24,12±0,22 mm) from the Sula river (left Dnipro tributary) near Romny city (50°44'13.5''N 33°29'49.5''E) (Fig. 1).

Allospecies were identified by the conchiological traits (Гарбар, 2003, 2009). Before the experiment, the animals delivered to laboratory were acclimation during 14 days (Babych et al., 2021): aquarium volume – 10 L, animals' density – 5 ind./L, water temperature – 18–20°C, pH – 7,2–7,7, DO – 7,0–8,2 mg O_2/L. Renewing of the environment was daily, as well as feeding by soft water plants (*Cladophora sp.*, *Miriophyllum spicatum* L.) collected at the sites of material collecting.

The toxicological experiment was conducted according to a standard method (Бабич і Пінкіна, 2021). The following detergents were used as toxicants: non-phosphate–«LOSK»(«Henkel»,Poland)and«Friends» (TM «Friends», Ukraine), phosphate – «Savex» («Ficosota Syntez», Bulgaria) and «Teo bebe» («Ficosota Syntez», Bulgaria) at concentrations of 0,001–1000 mg/L. The exposure duration was 48 hours. The solutions were prepared using dechlorinated (by 2-days ageing) tap water from Zhytomyr water network (t° – 18–20° C, pH – 7,2–7,7, DO – 7,0–8,2 mg O_2/L). Renewing of the toxic environment was daily. The results were registered in 10, 30 minutes, 1, 2, 4, 6, 24, 48 hours.



Fig. 1. Map showing the type localities of *Planorbarius corneus* s. lato allospecies: black circle – "western"; black square – "eastern"

The indexes of impact of used toxicants on the experimental molluscs were established via monitoring of the individuals' behavior and their overall state. The changes in motion behavior, feeding intensity, epithelial covers impairments and mucus secretion were registered. The endurance coefficient was determined by the formula of $EC=E_k/E_n$, where the E_k – time of death of all experimental animals; E_n – time of death of the first experimental animal (Бабич і Пінкіна, 2021). Adaptation coefficient was calculated by the formula (Malacea, 1968) of $AC=E_e/E_c$, where the E_e – the mean time of all experimental animals' death, E_c – the mean time of all control group animals' death.

The results of experiments were analyzed using standard methods of basic variation statistics in software Statistica 6.0 (Hill & Lewicki, 2007).

Results and Discussion

Surface active substances enter the organisms of molluscs mainly via osmosis through the epithelial body coverings and, to a lesser extent, with food intake. These toxicants cause the direct toxic action to hydrobionts: anion- and cation-active compounds act as resorbing neuro-paralytic and hemolytic poisons, non-ionogenic – as local poisons. Also, for all the surface active substances it is proved the existence of membranotropic function (change of cell membranes' structure and permeability) (Дудник і Євтушенко, 2013). Under the chronic intoxication by the synthetic detergents, their accumulation in the pancreas and the organism exhausting occurs.

Results (Table 1) showed that the threshold concentrations of the tested toxicants and the main toxicological parameters (LC_0, LC_{50}, and LC_{100}) were lower for the "eastern" allospecies than for the "western" allospecies. It was established that the tested synthetic detergents belong to three toxicity categories for the great ramshorn: weakly toxic ("LOSK", "Friends"), very toxic ("Teo Bebe"), and highly toxic ("Savex"), forming the following decreasing toxicity order: "Savex" > "Teo Bebe" > "LOSK" > "Friends".

It was established that studied allospecies differed by the lethality level under the impact of all used detergents (Table 2). Under the 0,1 mg/L water solution of "Teo Bebe", the "eastern" allospecies had 100% survival rate, while the 30% of "eastern" allospecies had died by the experiment end.

The length of the latent period during intoxication process was also different between allospecies (Table 3). In the range 0,001–10 mg/L, this index was higher in "western" than in "eastern" allospecies. The length of latent period under the action of used

Table 1

The main toxicological characteristics of *P. corneus* s. lato allospecies under the exposure of different synthetic detergents (48 hours)

Indicator, mg/L	**"Western" allospecies**				**"Eastern" allospecies**			
	"Savex"	**"Teo Bebe"**	**"LOSK"**	**"Friends"**	**"Savex"**	**"Teo Bebe"**	**"LOSK"**	**"Friends"**
Threshold concentration	0,001	0,01	0,1	0,5	0,0001	0,001	0,01	0,1
LC_0	0,05	0,5	1	1	0,01	0,05	0,1	1
LC_{50}	0,5	10	250	500	0,1	1	100	250
LC_{100}	10	100	800	1000	1	50	500	1000
Toxicity rate	0,5	10	250	500	0,1	1	100	250

Table 2

Mortality (%) of allospecies under the exposure of different synthetic detergents

Concentration, mg/L	**"Western" allospecies**				**"Eastern" allospecies**			
	"Savex"	**"Teo Bebe"**	**"LOSK"**	**"Friends"**	**"Savex"**	**"Teo Bebe"**	**"LOSK"**	**"Friends"**
0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	40	0	0	0	50	30	0	0
1,0	100	30	0	0	100	50	10	0
10	100	50	10	20	100	100	30	30
100	100	100	30	40	100	100	50	50
1000	100	100	100	100	100	100	100	100

detergents decreased from lower to higher their concentrations. The first symptoms of intoxication (weakening of motion activity in molluscs, intensification of secretory function of secretory cells in their epithelium covers) were observed in experimental molluscs under the impact of detergent "Savex" in its concentration of 0,001 mg/L after 24,3 h in "western" allospecies and only after 21,2 in "eastern" allospecies ($p \leq 0,05$). This indicates a higher sensitivity of the latter allospecies to the action of the tested toxicant. With increasing of detergents' concentrations, the manifestations of symptoms were registered earlier in "eastern" than in "western" allospecies. Additionally, they appeared the fastest in the environments intoxicated by detergent "Savex" and the slowest – by detergent "Friends" (in both allospecies).

The adaptation coefficients indicates the adaptation level of studied allospecies to the impact of used synthetic detergents . The highest indexes were registered for impact of detergent "Savex", and the lowest – detergent "Friends" (Table 4). This impact also was registered earlier in "eastern" than in "western" allospecies. So, the adaptation coefficient was registered 30 minutes earlier under the "Savex" detergent impact, 40 minutes earlier under the "Teo Bebe" detergent impact, "LOSK" – 20 minutes, "Friends" – 10 minutes.

With increasing of toxicants' concentrations, both allospecies demonstrated the increase of endurance coefficient – however, the "eastern" allospecies had them lower than "western" one did (Table 5). Under the impact of surface active compounds, the endurance coefficient of both allospecies were the lower, the lower was the concentration of used toxicants. Its value depended as on the range of physiological status indexes' fluctuation, as on their toxic-resistance. Under the low detergent concentrations, it was impossible to calculate the numeric values of molluscs' endurance coefficient due to the absence of 100%-lethality by the end of acute experiment. It was established, that "western" allospecies was more adapted to the impact of all used detergents comparing to the "eastern" allospecies ($p \leq 0,05$).

For both *P. corneus* s. lato allospecies there were established the limits of toxicants' concentrations (from threshold to maximal lethal) presenting the zone of toxic action (Table 6). By the level of action, the ranges of these concentrations were lower for "eastern" than for "western" allospecies. Obtained values show the speed of intoxication in studied allospecies and level of its reversibility (Дудник і Євтушенко, 2013). Aforementioned phosphate and non-phosphate detergents caused the intoxication in "eastern" allospecies under lower concentrations and earlier than in "western" allospecies. Under the impact of different concentrations of phosphate («Savex» and «Teo Bebe») and non-phosphate

Table 3

Latent period (hours) of *P. corneus* s. lato allospecies under the exposure of different synthetic detergents

Concentration, mg/L	**"Western" allospecies**				**"Eastern" allospecies**			
	"Savex"	**"Teo Bebe"**	**"LOSK"**	**"Friends"**	**"Savex"**	**"Teo Bebe"**	**"LOSK"**	**"Friends"**
	M±m	**M±m**	**M±m**	**M±m**	**M±m**	**M±m**	**M±m**	**M±m**
0,001	24,3±1,12	25,3±1,05	–	–	21,2±1,19*	22,3±1,09*	–	–
0,01	22,1±1,20	23,1±1,24	24,4±1,07	25,2±1,21	19,4±1,05*	20,5±1,21*	21,5±1,01*	22,3±1,19*
0,1	16,3±1,16	18,5±1,30	19,2±1,14	21,4±1,18	13,1±1,08*	14,5±1,28*	16,1±1,32*	17,4±1,21*
1,0	5,5±1,08	6,4±1,11	7,3±1,22	9,0±1,02	4,1±1,15	5,2±1,13	6,2±1,25	6,5±1,31*
10	0,5±1,27	1,1±1,02	2,1±1,15	3,5±1,08	0,3±1,01	0,5±1,31	1,4±1,27	2,3±1,20
100	0,2±1,04	0,3±1,21	0,4±1,19	0,4±1,28	0,1±1,14	0,1±1,14	0,3±1,07	0,3±1,11
1000	–	–	0,3±1,13	0,3±1,07	–	–	0,2±1,19	0,2±1,23

*Note: * – statistically significant differences ($p \leq 0,05$) between P. corneus s. lato allospecies.*

Table 4

Adaptation coefficient (hours) of *P. corneus* s. lato allospecies under the exposure of different synthetic detergents

Detergent	**"Western" allospecies**	**"Eastern" allospecies**
"Savex"	3,30	3,00
"Teo Bebe"	2,50	2,10
"LOSK"	1,30	1,10
"Friends"	1,10	1,00

(«LOSK» and «Friends») detergents, the studied allospecies developed the clearly expressed phasic pathological process of intoxication. Under the threshold concentrations, there were no intoxication symptoms registered in molluscs, and the duration of their ethological and physiological reactions were within the normal range. By the moment of the end of experiment, the status of molluscs remained at the same level as in control group. Such a reaction to the aforementioned toxicant dose indicates (Harbar et al., 2021) the duration of the first and longest phase of their intoxication – asymptomatic latent.

Under the sub-lethal concentrations of detergents, the studied allospecies demonstrated the first ethological and physiological impairments. Among such symptoms there were the attempts of molluscs to avoid the toxic environment via increasing their motion activity. It is caused by the presence of nervous connection between their osphradies and columellar muscle and foot muscles (Бабич і Пінкіна, 2021). Also, under the same conditions for both allospecies the stimulation of their feeding and mating behavior was demonstrated. Such defensive reactions are typical for the second phase of intoxication – a stimulation. It was established that such symptoms were always observed 1-2 hours later and under the higher detergents' concentrations in "eastern" allospecies, which appeared to be more sensitive and less toxic-resistant than "western" allospecies. One of the molluscs' defensive reactions to the toxic agent was the intensification of mucus secretion by secretive cells of their epithelial body covers, that slowed the speed and volume of percutaneous entry of toxicants into molluscs' organisms. In some time, the layer of skin mucus thinned and exfoliated, due to which the particles of coagulants of different size and shape got into the water. Under the detergent "Savex" impact, by the moment of experiment's end the sliming covered the body surface in only 55% of individuals in "western" and 64% in "eastern" allospecies, while under the "LOSK" impact – 44% and 56%, respectively.

Under the chronic-lethal concentrations of synthetic detergent "Teo Bebe" the mortality was 39% in "western" and 45% in "eastern" allospecies, while under the same condition but detergent "Friends" – 30% and 39%, respectively. Other experimental animals were in oppressed state. Under the impact of

Table 5

Endurance coefficient (hours) of *P. corneus* s. lato allospecies under the exposure of different synthetic detergents

Concentration, mg/L	"Western" allospecies				"Eastern" allospecies			
	"Savex"	"Teo Bebe"	"LOSK"	"Friends"	"Savex"	"Teo Bebe"	"LOSK"	"Friends"
	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
0,1	1,21±1,20	–	–	–	2,27±1,13*	-	-	-
1,0	1,54±1,09	2,15±1,18	–	–	2,62±1,03*	2,82±1,12	-	-
10	2,13±1,05	2,69±1,22	–	–	3,14±1,24*	3,74±1,31*	-	-
100	2,77±1,31	3,21±1,11	–	–	3,72±1,17*	4,25±1,18*	-	-
1000	–	–	3,32±1,10	3,54±1,16	-	-	3,51±1,15	3,78±1,19

*Note: * – statistically significant differences (p≤0,05) between P. corneus s. lato allospecies.*

Table 6

Rating of synthetic detergents concentrations (mg/L) according to the effect on *P. corneus* s. lato allospecies

Detergent	Subthreshold	Sublethal	Chronic lethal	Acutely lethal
"Western" allospecies				
"Savex"	0,0001 and lower	0,01 – 0,001	1 – 0,1	10 – 40
"Teo Bebe"	0,001 and lower	0,1 – 0,01	40 – 1	100 – 50
"LOSK"	0,01 and lower	1 – 0,1	80 – 50	150 – 100
"Friends"	0,1 and lower	10 – 1	150 – 100	180 – 160
"Eastern" allospecies				
"Savex"	0,00001 and lower	0,001 – 0,0001	0,1 – 0,01	5 – 1
"Teo Bebe"	0,0001 and lower	0,01 – 0,001	1 – 0,1	50 – 10
"LOSK"	0,001 and lower	0,1 – 0,01	40 – 1	80 – 60
"Friends"	0,01 and lower	1 – 0,1	80 – 50	150 – 100

detergent "Teo Bebe" and "Friends" the situation was similar. Besides, for both allospecies there was registered the edema due to impairment of their water balance. This is one of the defensive physiological reactions in molluscs, which allows them to soften the toxic action of surface active compounds via "diluting" of impacting concentration of these compounds (Пінкіна, 2010; Бабич і Пінкіна, 2021).

Under acute lethal concentrations the studied molluscs tried to avoid the toxic environment by emerging to water surface tension film and placing themselves above it. The significant portion of molluscs lay immovable at the bottom. 43% of "western" and 54% of "eastern" allospecies demonstrated the sharp increase of their body volume (1,5–2 times) and decrease of contractibility of columellar muscle, which didn't allow molluscs to fully retract the head and foot into shell, from which they hung out (falling out reaction). According to some researchers (Пінкіна, 2010; Harbar et al. 2021), this is the consequence of kidney functioning impairment, causing the different levels of destruction and eventual death of kidney cells. Such impairments of cell membranes are typical for depressive and sub-lethal phases of pathological process. "Western" allospecies developed it earlier and had it weakly expresses than "eastern" allospecies. By the end of experiment (48 hours), all the experimental individuals were dead, which corresponds with the final lethal phase of intoxication. The lethal time for both allospecies was registered. With increasing of concentrations of used detergents, the length of lethal time (Table 7) and mean lethal time (Table 8) decreased in both allospecies. It happened the fastest under the "Savex" impact, and the latest – under "Friends" impact. The reversibility of intoxication caused by these toxicants was quite insignificant. With increasing concentrations, the lethal and mean lethal times were registered always 1–2,3 hours earlier for "eastern" than for "western" allospecies, which indicates its more sensitivity for the used toxicants impact ($p \leq 0,05$).

The mortality index was higher in "eastern" than in "western" allospecies under the impact of all used concentrations of detergents. It may be the consequence of its inhabiting the tougher environment, with higher temperatures and drier climate within its range (Left-Bank Ukraine and the extreme South of Steppe natural-geographic zone) (Гарбар, 2006).

So, the zones of toxic action of phosphate («Savex» and «Teo Bebe») and non-phosphate («LOSK» and «Friends») synthetic detergents on the *P. corneus* s. lato differ by

Table 7

Lethal time (hours) of *P. corneus* s. lato allospecies under the exposure of different synthetic detergents

Concentration, mg/L	"Western" allospecies				"Eastern" allospecies			
	"Savex"	"Teo Bebe"	"LOSK"	"Friends"	"Savex"	"Teo Bebe"	"LOSK"	"Friends"
	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
0,01	35,1±1,22	36,4±1,05	–	–	32,1±1,18*	33,2±1,16*	–	–
0,1	27,2±1,17	29,3±1,19	–	–	24,2±1,22*	25,4±1,22*	–	–
1,0	17,4±1,25	18,1±1,13	–	–	14,1±1,05*	15,2±1,27*	–	–
10	7,1±1,28	7,9±1,26	30,2±1,02	31,4±1,08	6,2±1,14	6,5±1,15	26,5±1,14*	27,2±1,17*
100	0,2±1,15	0,3±1,32	18,5±1,13	19,3±1,16	0,1±1,03	0,2±1,26	15,1±1,31*	16,2±1,22*
1000	–	–	3,4±1,32	4,1±1,20	–	–	3,1±1,09	4,5±1,23

*Note: * – statistically significant differences ($p \leq 0,05$) between P. corneus s. lato allospecies.*

Table 8

Mean lethal time (hours) of *P. corneus* s. lato allospecies under the exposure of different synthetic detergents

Concentration, mg/L	"Western" allospecies				"Eastern" allospecies			
	"Savex"	"Teo Bebe"	"LOSK"	"Friends"	"Savex"	"Teo Bebe"	"LOSK"	"Friends"
	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m	M±m
0,1	42,3±1,16	43,2±1,28	–	–	39,1±1,17*	40,5±1,31*	–	–
1,0	22,1±1,23	26,4±1,02	–	–	18,5±1,12*	23,1±1,15*	–	–
10	13,3±1,18	15,1±1,23	–	–	10,4±1,20*	12,2±1,25*	–	–
100	4,2±1,21	4,5±1,22	47,3±1,19	48,5±1,18	3,2±1,12	4,1±1,14	43,1±1,29*	44,2±1,22*

*Note: * – statistically significant differences ($p \leq 0,05$) between P. corneus s. lato allospecies*

concentrations: "eastern" allospecies is more vulnerable under the lower concentrations, which indicates its lower toxic-resistance. Obtained ecotoxicological indexes (length of latent period, lethal and mean lethal times, adaptation and endurance coefficients) indicates that "eastern" allospecies is more sensitive and less endurance to the detergents impact comparing to "western" allospecies. It also demonstrated the first signs of irreversible intoxication (weakening of motion activity, increased mucus secreting by epithelial secretory cells) earlier than in "western" one. This indicates the higher viability of "western" allospecies, caused by its better adaptation to the regular conditions of river network in nature-geographic zone of Ukraine. With increasing of the used synthetic detergents, the time of latent period occurrence fastens, and the lethal and mean lethal times shorten.

Conclusions

The obtained results of the ecotoxicological study indicate significant differences in the sensitivity of *Planorbarius corneus* s. lato allospecies to the action of phosphate and non-phosphate synthetic detergents. It was established that the "eastern" allospecies is characterized by lower toxic resistance, which is reflected in reduced threshold concentrations, a shorter latent period of intoxication, and lower values of adaptation and endurance coefficients compared to the "western" allospecies.

The revealed differences in behavioral and physiological responses of molluscs confirm the feasibility of using both allospecies of the great ramshorn as sensitive bioindicator objects in the monitoring system of natural water pollution in Ukraine by synthetic detergents. Their combined application allows increasing the informativeness of assessing sublethal pollution levels and enables timely detection of adverse changes in aquatic ecosystems.

The established toxicological parameters can be applied for ecological risk assessment, development of regional water quality standards, and prediction of the potential impact of domestic wastewater on the structure and functioning of freshwater mollusc communities.

Bibliography

Babych Yu., Uvayeva O., Stadnychenko A. Food preferences of the great ramshorn *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758) allospecies (Mollusca: Gastropoda: Planorbidae) from the Ukrainian river system. *Folia Malacologica*. 2021. Vol. 29. No 4. P. 204–211. https://doi.org/10.12657/folmal.029.023

Borah S. Adverse Effects of Different Detergents on Fish: A Review. *Research & Reviews : Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 2022. Vol. 10. № 2. P. 1–15. https://doi.org/10.4172/2347-7830.10.02.001

Chandanshive N.E. Studies on toxicity of detergents to *Mystus montanus* and change in behaviour of fish research journal of animal. *Veterinary and fishery science*. 2013. Vol. 1. № 9. P. 14–19.

Divya S.R. An evaluation of the effect of a detergent on dissolved oxygen consumption rate of *Anabas testudineus*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2015. Vol. 2. № 6. P. 46–48.

Harbar O., Harbar D., Stadnychenko A., Babych Yu. Ecotoxicological responses of two *Planorbarius corneus* s. lato (Mollusca, Gastropoda) allospecies to exposure of heavy metals. *International Journal of Aquatic Biology*. 2021. Vol. 9. № 6. P. 423–431. https://doi.org/10.22034/ijab.v9i6.1356

Hill T., Lewicki P. Statistics. Methods and Applications. Tulsa : StatSoft, 2007. 800 p.

Logeswari D., Kandhasamy K., Majeeth F.A., Rajasekara P.M., Sharmila B.G. Effect of sublethal concentrations of commercial detergents on the protein content of selective freshwater fishes. *Bulletin of Pure & Applied Sciences- Zoology.* 2021. Vol. 40a. №1. P. 127–139. https://doi.org/10.5958/2320-3188.2021.00016.4

Malacea I. Untersuchungen uber die Gewohnung der Fische on hohe Konzentrationen toxischer Substanzen. *Archiv für Hydrobiologie*. 1968. Vol. 65. № 1. P. 74–95.

Mathew E., Sunitha P.T., Thomas P.L. Effect of different concentration of detergent (Surf) on dissolved oxygen consumption in *Anabas testudineus*. *IOSR journal of environmental science, toxicology and food technology*. 2013. Vol. 5. № 3. P. 1–3. https://doi.org/10.9790/2402-0530103

Mousavi S.A., Khodadoost F. Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. *Environmental Science and Pollution Research.* 2019. Vol. 26. P. 26439–26448. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05802-x

Stadnychenko A.P., Uvayeva O.I., Vyskushenko D.A. The influence of detergents on the cilia locomotion activity of epithelium in Sinanodonta Woodiana (Mollusca, Unionidae). *Біологія та екологія*. 2019. Т. 5. № 1. С. 103–106. https://doi.org/10.33989/2414-9810.2019.5.1.195127

Sveum M., Elamonovich K.S. The problem of water pollution and causes. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal.* 2022. Vol. 10. № 6. P. 1009–1011.

Toledo N.A.B., Contreras C.H., Corredor C.A.A., Pérez C.A.R. Effect of biodegradable detergents on water quality. *Natural Volatiles and Essential Oils.* 2021. Vol. 8. № 5. P. 12080–12095.

Uwajewa O., Stadnyczenko A., Babycz J. Słodkowodna małakofauna na Ukrainie w warunkach rosnącego antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska. *Problemy wspołczesnej malakologii 2022* : XXXVI Krajowe Seminarium Malakologiczne (12-14.05.2022). Toruń, 2022. S. 49–50.

Астахова Л.Є. Вплив синтетичних миючих засобів на легеневе й поверхневе дихання аловидів *Planorbarius* (superspecies) *corneus sensu* lato (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Planorbidae) гідромережі України. *Український журнал природничих наук.* 2023. Вип. 5. С. 15–22. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.2

Бабич Ю., Пінкіна Т. Вплив іонів важких металів на екотоксикологічні показники витушки рогової (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae). *Вісник Львівського університету. Серія біологічна.* 2021. Вип. 84. С. 76–83. https://doi.org/10.30970/vlubs.2021.84.07

Бабич Ю.В., Стадниченко А.П. Вплив фосфатного миючого засобу «Savex» на показники легеневого дихання аловидів *Planorbarius corneus* s. lato (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Planorbidae) гідромережі України. *Біологічні дослідження – 2022 :* зб. наук. пр. Житомир : ПП «Євро-Волинь», 2022. С. 79–81.

Бабич Ю.В., Ковалевська О.О, Залужний В.Я., Махневич Д.С., Стадниченко А.П. Вплив різних концентрацій СМЗ «Вухатий нянь» на стабільність гомеостазу внутрішнього середовища «західного» аловиду витушки (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae). *Актуальні питання біологічної науки* : зб. статей. Ніжин : НДУ імені Миколи Гоголя, 2021. С. 85–87.

Білик Т.І., Веренікін О.М., Леонтьєва Т.О. Вплив сучасних мийних засобів на гідробіонти-фільтратори водних екосистем. *Екологічні науки.* 2021. Вип. 34. № 7. С. 122–128. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.21

Гарбар Д.А. Діагностичне значення конхіологічних ознак молюсків роду *Planorbarius* (Bulinidae, Gastropoda, Pulmonata). *Вісник Житомирського державного педагогічного університету.* 2003. № 11. С. 238–240.

Гарбар Д.А. Конхіологічні особливості *Planorbarius corneus* s. lato (Gastropoda, Pulmonata) фауни України. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія.* 2009. Т. 26. С. 56–61.

Гарбар Д.А. Молюски роду Planorbarius (Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae) фауни України: аналіз морфологічних, каріологічних і генетичних ознак : автореф. дис. … канд. біол. наук. Київ, 2006. 21 с.

Дідух Я.П. Основи біоіндикації. Київ : Наукова думка, 2012. 360 с.

Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування : навчальний посібник. Київ : Видавництво Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.

Махневич Д.С., Стадниченко А.П. Вплив поверхнево-активних речовин на вікові фізико-хімічні особливості гемолімфи витушки рогової (*Planorbarius corneus*) (Mollusca, Gastropoda, Bulinidae). *Біологічні дослідження – 2021* : зб. наук. пр. Житомир : ПП «Євро-Волинь», 2021. С. 96–98.

Пінкіна Т.В. Екотоксикологічна характеристика ставковика озерного за дії на нього важких металів водного середовища. *Природничий альманах. Серія : Біологічні науки.* 2010. № 14. С. 138–151.

Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ : Обереги, 2001. 728 с.

Савлучинська М.О., Горбатюк Л.О., Платонов О.М., Пасічна О.О., Бурмістренко С.П., Кукля І.Г., Каглян Н.М., Арсан О.М. Фосфор мийних засобів та його вплив на водяні організми (огляд). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія.* 2013. Т. 56. № 3. С. 119–125.

Стадниченко А.П. Вплив поверхнево-активних речовин і трематодної інвазії на живлення і травлення рогової витушки (Mollusca: Pulmonata: Bulinidae). *Вісник Державного агроекологічного університету.* 2005. № 2(15). С. 120–125.

Стадниченко А.П., Янович Л.М. Вплив поверхнево-активних речовин на вміст глюкози у різних органах перлівниці (Mollusca: Unionidae). *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія.* 2004. Вип. 15. С. 1–3.

Уваєва О.І. Вплив безфосфатного детергента на фільтраційну роботу калюжниці болотяної. *Екологічні науки.* 2018. Т. 2. № 1 (20). С. 86–91.

Уваєва О.І. Порушення очищувальної роботи *Viviparus contectus* (Mollusca: Opistobranchia: Viviparidae) за сумісної дії детергентів та трематодної інвазії. *Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі. Українки. Біологічні науки.* 2012. Т. 27. № 2. С. 45–49.

Уваєва О.І., Сарган А.П. Вплив синтетичних миючих засобів на фільтраційну здатність прісноводних молюсків. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія Біологія.* 2011. Вип. 2 (47). С. 147–150.

References

Babych, Yu., Uvayeva, O., & Stadnychenko, A. (2021). Food preferences of the great ramshorn *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758) allospecies (Mollusca: Gastropoda: Planorbidae) from the Ukrainian river system. *Folia Malacologica*, 29 (4), 204–211. https://doi.org/10.12657/folmal.029.023 [in English].

Borah, S. (2022). Adverse Effects of Different Detergents on Fish: A Review. *Research & Reviews: Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 10 (2), 1–15. https://doi.org/10.4172/2347-7830.10.02.001 [in English].

Chandanshive, N.E. (2013). Studies on toxicity of detergents to *Mystus montanus* and change in behaviour of fish research journal of animal. *Veterinary and fishery science*, 1 (9), 14–19. [in English].

Divya, S.R. (2015). An evaluation of the effect of a detergent on dissolved oxygen consumption rate of *Anabas testudineus*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2 (6), 46–48. [in English].

Harbar, O., Harbar, D., Stadnychenko, A., & Babych, Yu. (2021). Ecotoxicological responses of two *Planorbarius corneus* s. lato (Mollusca, Gastropoda) allospecies to exposure of heavy metals. *International Journal of Aquatic Biology*, 9 (6), 423–431. https://doi.org/10.22034/ijab.v9i6.1356 [in English].

Hill, T., & Lewicki, P. (2007). Statistics. Methods and Applications. Tulsa : StatSoft [in English].

Logeswari, D., Kandhasamy, K., Majeeth, F.A., Rajasekara, P.M., & Sharmila, B.G. (2021). Effect of sublethal concentrations of commercial detergents on the protein content of selective freshwater fishes. *Bulletin of Pure & Applied Sciences- Zoology,* 40a (1), 127–139. https://doi.org/10.5958/2320-3188.2021.00016.4 [in English].

Malacea, I. (1968). Untersuchungen uber die Gewohnung der Fische on hohe Konzentrationen toxischer Substanzen. *Archiv für Hydrobiologie*, 65 (1), 74–95. [in English].

Mathew, E., Sunitha, P.T., & Thomas, P.L. (2013). Effect of different concentration of detergent (Surf) on dissolved oxygen consumption in *Anabas testudineus. IOSR journal of environmental science, toxicology and food technology,* 5 (3), 1–3. https://doi.org/10.9790/2402-0530103 [in English].

Mousavi, S.A., & Khodadoost, F. (2019). Effects of detergents on natural ecosystems and wastewater treatment processes: a review. *Environmental Science and Pollution Research,* 26, 26439–26448. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05802-x [in English].

Stadnychenko, A.P., Uvayeva, O.I., & Vyskushenko, D.A. (2019). The influence of detergents on the cilia locomotion activity of epithelium in Sinanodonta Woodiana (Mollusca, Unionidae). *Біологія та екологія*, 5 (1), 103–106. https://doi.org/10.33989/2414-9810.2019.5.1.195127 [in English].

Sveum, M., & Elamonovich, K.S. (2022). The problem of water pollution and causes. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 10 (6), 1009–1011. [in English].

Toledo, N.A.B., Contreras, C.H., Corredor, C.A.A., & Pérez, C.A.R. (2021). Effect of biodegradable detergents on water quality. *Natural Volatiles and Essential Oils,* 8. (5), 12080–12095. [in English].

Uwajewa, O., Stadnyczenko, A., & Babycz, J. (2022). Słodkowodna małakofauna na Ukrainie w warunkach rosnącego antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska. *XXXVI Krajowe Seminarium Malakologiczne «Problemy współczesnej malakologii 2022».* Toruń, 49–50 [in Poland].

Astakhova, L.Ye. (2023). Vplyv syntetychnykh myiuchykh zasobiv na leheneve y poverkhneve dykhannia alovydiv *Planorbarius* (superspecies) *corneus* sensu lato (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Planorbidae) hidromerezhi Ukrainy [Influence of synthetic detergents on the pulmonary and direct surface respiration of *Planorbarius* (superspecies) *corneus* sensu lato allospecies (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Planorbidae) of the hydrological network of Ukraine]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 5, 15–22. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.2. [in Ukrainian].

Babych, Yu., & Pinkina, T. (2021). Vplyv ioniv vazhkykh metaliv na ekotoksykolohichni pokaznyky vytushky rohovoi (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae) [Influence of heavy metal ions on

ecotoxicological indicators of *Planorbarius corneus* (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriia biolohichna [Visnyk of the Lviv University. Series Biology]*, 84, 76–83. https://doi.org/10.30970/vlubs.2021.84.07 [in Ukrainian].

Babych, Yu.V., & Stadnychenko, A.P. (2022). Vplyv fosfatnogho myjuchogho zasobu «Savex» na pokaznyky leghenevogho dykhannja alovydiv *Planorbarius corneus* s. lato (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Planorbidae) ghidromerezhi Ukrajiny [The influence of the phosphate detergent "Savex" on the parameters of pulmonary respiration of allospecies *Planorbarius corneus* s. lato (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Planorbidae) of the water network of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats "Biolohichni doslidzhennia – 2022" [Collection of scientific works "Biological research – 2022"*]. Zhytomyr, 79–81 [in Ukrainian].

Babych, Ju.V., Kovalevsjka, O.O., Zaluzhnyj, V.Ja., Makhnevych, D.S., & Stadnychenko, A.P. (2021). Vplyv riznykh koncentracij SMZ «Vukhatyj njanj» na stabiljnistj ghomeostazu vnutrishnjogho seredovyshha «zakhidnogho» alovydu vytushky (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae) [The effect of different concentrations of the "Eared Nanny" SMZ on the stability of the internal environment of the "western" allospecies mollusc (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae)]. *Zbirnyk statej "Aktualjni pytannja biologhichnoji nauky" [Collection of articles «Current issues of biological science»]*. Nizhyn, 85–87 [in Ukrainian].

Bilyk, T.I., Verenikin, O.M., & Leontieva, T.O. (2021). Vplyv suchasnykh myinykh zasobiv na hidrobionty-filtratory vodnykh ecosystem [Influence of modern detergents on aquatic filter-filters of aquatic ecosystems]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, 34 (7), 122–128. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.21. [in Ukrainian].

Gharbar, D.A. (2003). Diaghnostychne znachennja konkhiologhichnykh oznak moljuskiv rodu Planorbarius (Bulinidae, Gastropoda, Pulmonata) [Diagnostic Importance of Conchologycal Features of the Molluscs of the Genus Planorbarius (Bulinidae, Gastropoda, Pulmonata)]. *Visnyk Zhytomyrsjkogho derzhavnogho pedaghoghichnogho universytetu [Bulletin of Zhytomyr State Pedagogical University]*, 11, 238–240. [in Ukrainian].

Gharbar, D.A. (2009). Konkhiologhichni osoblyvosti Planorbarius sorneus s. lato (Gastropoda, Pulmonata) fauny Ukrajiny [Conchiological features of Planorbarius corneus s. lato (Gastropoda, Pulmonata) of Ukraine fauna]. *Naukovyj visnyk Uzhghorodsjkogho universytetu. Serija Biologhija [Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology]*, 26, 56–61. [in Ukrainian].

Gharbar, D.A. (2006). Moljusky rodu Planorbarius (Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae) fauny Ukrajiny: analiz morfologhichnykh, kariologhichnykh i ghenetychnykh oznak: avtoreferat dysertaciji kandydata biologhichnykh nauk [Molluscs of the genus Planorbarius (Gastropoda, Pulmonata, Bulinidae) of the fauna of Ukraine: analysis of morphological, karyological and genetic features: abstract of the dissertation of the candidate of biological sciences]. Kyiv [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P. (2012). Osnovy bioindykatsii [Basics of bioindication]. Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].

Dudnyk, S.V., & Jevtushenko, M.Ju. (2013). Vodna toksykologhija: osnovni teoretychni polozhennja ta jikhnje praktychne zastosuvannja [Aquatic toxicology: basic theoretical principles and their practical application]. Kyiv : Vydavnytstvo Ukrainskoho fitosotsiolohichnoho tsentru [in Ukrainian].

Makhnevych, D.S., & Stadnychenko, A.P. (2021). Vplyv poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn na vikovi fizyko-khimichni osoblyvosti hemolimfy vytushky rohovoi (Planorbarius corneus) (Mollusca, Gastropoda, Bulinidae) [The influence of surface-active substances on the age-related physicochemical features of the hemolymph of the horned sea urchin (*Planorbarius corneus*) (Mollusca, Gastropoda, Bulinidae)]. *Zbirnyk naukovykh prats "Biolohichni doslidzhennia – 2021" [Collection of scientific works "Biological research – 2022"*]. Zhytomyr, 96–98 [in Ukrainian].

Pinkina, T.V. (2010). Ekotoksykolohichna kharakterystyka stavkovyka ozernoho za dii na noho vazhkykh metaliv vodnoho seredovyshcha [Ecotoxicological characteristics of *Lymnaea stagnalis* under the impact of heavy metals in the water environment]. *Pryrodnychyi almanakh. Seriia: Biolohichni nauky [Scientific Bulletin of Natural Sciences. Series: Biological Sciences]*, 14, 138–151. [in Ukrainian].

Romanenko, V.D. (2001). Osnovy hidroekolohii [Basics of hydroecology]. Kyiv : Oberehy [in Ukrainian].

Savluchynsjka, M.O., Ghorbatjuk, L.O., Platonov, O. M., Pasichna, O.O., Burmistrenko, S.P., Kuklja, I.Gh., Kaghljan, N.M., & Arsan, O.M. (2013). Fosfor myjnykh zasobiv ta jogho vplyv na vodjani orghanizmy (oghljad) [The influence of phosphorus from detergents on aqatic animals (a review)]. *Naukovi zapysky Ternopiljsjkogho nacionaljnogho pedaghoghichnogho universytetu imeni*

Volodymyra Ghnatjuka [Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University], 56 (3), 119–125 [in Ukrainian].

Stadnychenko, A.P. (2005). Vplyv poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn i trematodnoji invaziji na zhyvlennja i travlennja roghovoji vytushky (Mollusca: Pulmonata: Bulinidae) [The effect of surface-active substances and trematode infestation on feeding and digestion of the horned snail (Mollusca: Pulmonata: Bulinidae)]. *Visnyk Derzhavnogho aghroekologhichnogho universytetu [Bulletin of the State Agroecological University]*, 2(15), 120–125 [in Ukrainian].

Stadnychenko, A.P., & Yanovych, L.M. (2004). Vplyv poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn na vmist hliukozy u riznykh orhanakh perlivnytsi (Mollusca: Unionidae) [The effect of surface-active substances on the glucose content in various organs of the pearl mussel (Mollusca: Unionidae)]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriia Biolohiia [Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology]*, 15, 1–3. [in Ukrainian].

Uvajeva, O.I. (2012). Porushennja ochyshhuvaljnoji roboty *Viviparus contectus* (Mollusca: Opistobranchia: Viviparidae) za sumisnoji diji deterghentiv ta trematodnoji invaziji [Violation of the cleaning work of *Viviparus contectus* (Mollusca: Opistobranchia: Viviparidae) under the combined action of detergents and trematode infestation]. *Naukovyj visnyk Volynsjkogho nacionaljnogho universytetu im. Lesi Ukrajinky [Lesya Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin]*, 27 (2), 45–49 [in Ukrainian].

Uvajeva, O.I. (2018). Vplyv bezfosfatnogho deterghenta na filjtracijnu robotu kaljuzhnyci bolotjanoji [The effect of phosphate-free detergent on the filtration performance of a marsh pond]. *Ekologhichni nauky [Environmental sciences]*, 2 (1), 86–91 [in Ukrainian].

Uvajeva, O.I., & Sarhan, A.P. (2011). Vplyv syntetychnykh myiuchykh zasobiv na filtratsiinu zdatnist prisnovodnykh moliuskiv [The influence of synthetic detergents on the filtration capacity of freshwater molluscs]. *Naukovi zapysky Ternopiljsjkogho nacionaljnogho pedaghoghichnogho universytetu imeni Volodymyra Ghnatjuka [Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University]*, 2 (47), 147–150 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 26.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 581.1:582.94
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.2

ФЕНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ *SALVIA CREMENECENSIS* BESS. ТА *S. NUTANS* L. НА ПОДІЛЛІ

В. Ю. Білівська[1], Т. І. Чубата[2]

У статті наведено результати багаторічних фенологічних досліджень двох близьких видів роду Salvia – Salvia cremenecensis Bess. та S. nutans L., які зростають у межах Поділля. Актуальність дослідження зумовлена недостатньою вивченістю сезонних ритмів розвитку цих видів, зокрема ендемічної та рідкісної S. cremenecensis, а також необхідністю оцінки впливу природних і антропогенних чинників на перебіг їхніх фенологічних фаз у різних умовах зростання. Метою дослідження було встановлення особливостей сезонних ритмів, строків настання, тривалості та динаміки основних фенологічних фаз Salvia cremenecensis і S. nutans в умовах культури та природних біотопів Поділля. Дослідження проводили у двох локалітетах: у Кременецькому ботанічному саду (2012–2016 рр.) та в ботанічному заказнику місцевого значення «Мукшанський» (2018–2022 рр.). Фенологічні спостереження здійснювали за загальноприйнятою методикою з фіксацією строків початку і завершення основних фенофаз: вегетації, росту пагонів, бутонізації, цвітіння, плодоношення та дозрівання насіння. У результаті досліджень встановлено, що в умовах Кременецького ботанічного саду середня тривалість повного комплексу фенологічних фаз у S. cremenecensis становить близько 224 днів, тоді як у S. nutans – 213 днів. У природних умовах заказника «Мукшанський» ці показники були дещо меншими і складали 212 та 210 днів. Виявлено, що строки настання та тривалість окремих фенологічних фаз суттєво варіюють залежно від кліматичних умов року, експозиції схилів, кількості опадів, температурного режиму, а також рівня антропогенного навантаження. Отримані результати узагальнено у вигляді зведеного феноспектру, який наочно відображає відмінності у сезонних ритмах розвитку досліджуваних видів залежно від умов зростання. Результати досліджень мають наукове та практичне значення для поглиблення уявлень про фенологію рідкісних і ендемічних видів флори Поділля, можуть бути використані у фітосозологічних дослідженнях, плануванні заходів з охорони та інтродукції рослин, а також у прогнозуванні реакції видів на зміни клімату.

Ключові слова: *сезонні ритми, фенологічні особливості, Salvia cremenecensis Bess., S. nutans L., ботанічний заказник місцевого значення «Мукшанський» , Кременецький ботанічний сад.*

[1] науковий співробітник науково-дослідного відділу
(Національній природний парк «Подільські Товтри», м. Кам'янець-Подільський)
e-mail: viktoriyabilivska@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9731-7896
[2] науковий співробітник відділу фітосозології
(Кременецький ботанічний сад, м. Кременець)
e-mail: chubatatv@ukr.net
ORCID: 0000-0002-4223-4978

PHENOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF SALVIA CREMENECENSIS BESS. AND S. NUTANS L. IN PODILLIA

V. Yu. Bilivska, T. I. Chubata

The article presents the results of long-term phenological studies of two closely related species of the genus Salvia–Salvia cremenecensis Bess. and S. nutans L.–growing within Podillia. The relevance of the study is determined by the insufficient knowledge of the seasonal developmental rhythms of these species, in particular the endemic and rare S. cremenecensis, as well as by the need to assess the influence of natural and anthropogenic factors on the course of their phenological phases under different growth conditions. The aim of the study was to determine the characteristics of seasonal rhythms, the timing of onset, duration, and dynamics of the main phenological phases of Salvia cremenecensis and S. nutans under cultivation and in natural biotopes of Podillia. The research was conducted at two localities: the Kremenets Botanical Garden (2012–2016) and the Mukshanskyi Botanical Reserve of local significance (2018–2022). Phenological observations were carried out using generally accepted methods, with recording of the dates of onset and completion of the main phenophases: vegetation, shoot growth, budding, flowering, fruiting, and seed maturation. The results showed that under the conditions of the Kremenets Botanical Garden, the average duration of the complete set of phenological phases in S. cremenecensis was about 224 days, whereas in S. nutans it was 213 days. Under natural conditions of the Mukshanskyi Reserve, these values were slightly lower, amounting to 212 and 210 days, respectively. It was revealed that the timing of onset and the duration of individual phenological phases vary significantly depending on the climatic conditions of the year, slope exposure, amount of precipitation, temperature regime, as well as the level of anthropogenic pressure. The obtained results were synthesized into a consolidated phenospectrum that clearly demonstrates differences in the seasonal developmental rhythms of the studied species depending on growth conditions. The research results have scientific and practical significance for deepening knowledge of the phenology of rare and endemic plant species of Podillia and can be used in phytosozological studies, in planning conservation and introduction measures, as well as in forecasting species responses to climate change.

Key words: *seasonal rhythms, phenological features, Salvia cremenecensis Bess., S. nutans L., Mukshanskyi Botanical Reserve of local significance, Kremenets Botanical Garden.*

Вступ

Вивчення сезонних ритмів рослин є дуже важливими. Найбільш наочним та загальним прикладом сезонної ритміки рослин служить зміна фенологічних фаз. Їх динаміка, термін і тривалість значною мірою залежать від ряду природних і антропогенних чинників. Саме дослідження фенологічних особливостей рослин може чітко вказати на їх видові вимоги до чинників природнього середовища. Особливо це актуально для збереження, успішної інтродукції рідкісних і ендемічних видів (Сікура і Капустян, 2003; Білик і Гринюк, 2010; Кудряшова і Петренко, 2010; Пилипенко, 2015; Ковальчук і Шевченко, 2018). Водночас фенологічні особливості таких цікавих для фітосозології видів, як *Salvia cremenecensis* та *S. nutans* залишаються недостатньо вивченими, особливо в умовах різних біотопів Поділля.

Метою дослідження було встановлення особливостей сезонних ритмів, тривалості та динаміки фенологічних фаз *Salvia cremenecensis* та *S. nutans* в умовах культури та природних біотопів.

Завдання дослідження:

1. Визначити строки настання та тривалість основних фенологічних фаз досліджуваних видів.

2. Порівняти показники феноритмів у ботанічному саду та природних умовах.

3. Оцінити вплив кліматичних, екологічних та антропогенних чинників на перебіг фенологічних фаз.

Матеріал і методи

Нами проведено аналіз спостережень впродовж п'яти років на двох різних ділянках. Дослідження в умовах Кременецького ботанічного саду здійснювали на карантинно-колекційних ділянках відділу фітосозології у 2012–2016 рр. В природних умовах ботанічного заказника місцевого значення «Мукшанський» у 2018–2022 рр., де було закладено дослідні ділянки для дослідження *Salvia cremenecensis* та *S. nutans*.

Фенологічні спостереження проводились 2 рази на тиждень у період активного росту й розвитку та 1–2 рази в місяць у період зимового спокою. Під час досліджень використовували методику фенологічних спостережень в ботанічних садах (Пилипенко, 2015). Серед фенологічних фаз виділяли періоди вегетації і спокою, росту пагонів і його завершення, цвітіння, дозрівання плодів і насіння.

Терміни настання фенологічних фаз фіксувались у журналі та особистих нотатниках. Зважаючи на різні роки проведення та різні регіони досліджень, здій-

снювали порівняння температурних показників та наводимо їх опираючись на дані ресурсу архіву погоди «МЕТА», Українського гідрометеорологічного центру та особистих спостережень за погодою (Архів ..., 2023).

Результати

Досліджено феноритми *Salvia cremenecensis* та *S. nutans* L. із 2 локалітетів, що зазнають різного природного та антропогенного впливу, який в умовах ботанічного саду проявляється у вигляді регулярного догляду за рослинами, відсутності міжвидової конкуренції, контрольованого режиму зволоження, часткового розпушування ґрунту та обмеження рекреаційного навантаження. У природних умовах антропогенний вплив проявляється у вигляді непрямого рекреаційного навантаження, пожеж, випасу й витоптування, а також змін гідрологічного режиму території.

Локалітет 1. Кременецький ботанічний сад (м. Кременець, Тернопільська область) Кременецький ботанічний сад знаходиться в Кременецьких горах (Волино-Подільська височина), які сформувалися завдяки розмиву північного краю древнього Подільського плато й являють собою досить незвичний тип рельєфу. Його абсолютні висоти сягають 395–406 м над рівнем моря, тоді як відносні перевищення над прилеглими річковими долинами та рівнинами становлять 100–200 м. Рельеф складний з перепадами до 150 метрів. Досліджувана ділянка представлена композиціями рослинності кальціо-петрофітних угруповань крейдяних відслонень крутих вапнякових і кам'янистих схилів (Тернопільський ..., 2005).

Локалітет 2. Ботанічний заказник місцевого значення «Мукшанський» (Ділянка лівого берега р.Мукша поблизу с. Слобідка Кульчиєвецька, Кам'янець-Подільський район, Хмельницька область), входить до складу території НПП «Подільські Товтри», представлений скелястими, вапняковими схилами, які часто розчленовані ярками і балками, що створюють різкі перепади висот. Представлені сухими степовими й лучно-степовими ділянками. (Положення ..., 2025; Геренчук, 1980; Природно-заповідний ..., 2025; Проскурняк, 2002).

Кліматичні умови досліджуваних локалітетів відрізняються сумою активних температур, кількістю опадів та тривалістю безморозного періоду. Місто Кременець знаходиться в північному кліматичному районі області, із неспекотним літом, помірною зимою, характеризується меншою сумою активних температур, більшою кількістю опадів, довгим безморозним періодом. Помірно континентальний клімат характерний для с. Слобідка Кульчиєвецька Хмельницької області, але притаманно меншою кількістю опадів. Згідно із отриманими даними спостережень, відмічаємо, що травень–вересень в м. Кременець є доволі спекотними, середня місячна та середня річна температура з роками коливалась з різницею в 1–2 градуси. Наприклад, у липні 2012 р. середня місячна температура складала + 18.2°С, а у 2016 році – +19.6°С. А середня річна температура складала у 2012 р. + 8.4°С, у 2016 р. – + 9.5°С. Середня річна температура за п'ять років досліджень складає + 9.2°С. Середньорічні температурні показники с. Слобідка Кульчиєвецька у 2018 р. складали +9.8°С, а у 2021 р. – +8.8°С. У червні 2018 р. середня місячна температура склала +19.7°С, у 2022 р. – +20.8°С. Середня річна температура за п'ять років досліджень складає + 9.9°С.

Результати досліджень проведених в Кременецькому ботанічному саду у 2012–2016 рр.

Встановлено найраніші та найпізніші календарні строки початку та кінця проходження фенологічних фаз та їх середню дату за п'ять років.

Salvia cremenecensis Bess. найраніше починала вегетацію 14.03.2016 р., а найпізніше 22.04.2013 р., середня дата за п'ять років – 24 березня. Кінець вегетації найраніше зафіксовано 22.10.2014 р., найпізніше – 28.11.2015 р., середня дата за п'ять років – 7 листопада. Тривалість вегетації коливається в межах 189 днів у 2013 р. і 252 дні у 2015 р. , середня тривалість за п'ять років становить 224 дні. Найкоротша тривалість відростання пагонів становить 57 днів у 2016 р., найдовша – 100 днів у 2013 р., середня тривалість становить 87 днів.

S. nutans L. найраніше починала вегетацію 14.03.2016 р., а найпізніше 19.04.2013 р., середня дата за п'ять років – 1 квітня. Кінець вегетації найраніше зафіксовано 22.10.2014 р., найпізніше – 15.11.12 р. та 15.11.15 р., середня дата за п'ять років – 4 листопада. Тривалість вегетації коливається в межах 192 дні у 2013 р. і 228 днів у 2012 р., середня тривалість за п'ять років становить 213 днів. Тривалість відростання пагонів найкоротша – 55 днів у 2013 р., найдовша – 92 днів у 2014 р., середня тривалість становить 78 днів.

Початок бутонізації:

У Salvia cremenecensis найраніше зафіксовано 23.04.2014 року, найпізніше 04.05.2015 року, середня дата – 30 квітня. Кінець фази бутонізації коливається від 23.05.2012 і 2014 рр. до 08.06.2015 р., середня дата проходження фази – 29 травня. Тривалість бутонізації в межах 20 днів

у 2012 році і 34 дні у 2015–2016 рр., середня тривалість даної фенофази становить 28 днів.

У S. nutans початок бутонізації найраніше зафіксовано 13.05.2013 і 2014 рр., найпізніше – 23.05.2016 р., середня дата – 17 травня. Кінець фази бутонізації в межах 06.06.2016 р. – 14.07.2012 р., середня дата – 16 червня. Тривалість бутонізації коливається від 13 днів у 2016 році до 56 днів у 2012 р., середня тривалість становить 29 днів.

Початок цвітіння:

У Salvia cremenecensis найраніше початок цвітіння було зафіксовано 07.05.2012 року, а найпізніше – 23.05.2016 р., середня дата за п'ять років – 15 травня. Закінчення цвітіння найраніше – 04.06.2013 р., а найпізніше – 04.07.2015 р., середня дата проходження фази цвітіння за п'ять років – 18 червня. Тривалість цвітіння в межах 21 день (2013 р.) – 45 днів (2015 р.), середня тривалість за п'ять років становить 33 дні.

У S. nutans найраніше зацвітала 23.05.2014 року, найпізніше – 04.06.2015 року, середня дата за п'ять років – 29 травня. Закінчення цвітіння найраніше – 10.06.2013 р., а найпізніше – 18.06.2015 р., середня дата за п'ять років – 14 червня. Тривалість цвітіння даного виду в межах 11 днів (2013 р.) – 21 день (2012 р.), середня тривалість за п'ять років становить 16 днів.

Значна кількість опадів в період цвітіння скорочує тривалість фенофази і в подальшому впливає на інтенсивність плодоношення видів:

У Salvia cremenecensis фаза плодоношення мала початок найраніші календарні строки – 26.05.2015 р., найпізніше – 26.07.2012 р., середня дата – 9 червня. Закінчення плодоношення найраніше спостерігалось 17.06.2013 р., а найпізніше – 21.09.2012 р., середня дата за п'ять років – 29 липня. Тривалість плодоношення найкоротша – 18 днів у 2013 р. , а найдовша – 58 днів у 2012 р. та 2015 р., середня тривалість плодоношення становить 49 днів.

У *S. nutans* мала початок плодоношення в найраніші календарні строки – 03.06.2014 р., найпізніші – 20.07.2012 року, середня дата – 19 червня. Закінчення плодоношення найраніше зафіксовано 18.07.2016 р., а найпізніше – 04.10.2012 р., середня дата – 10 серпня. Тривалість плодоношення найкоротша – 32 дні у 2015–2016 рр., а найдовша – 74 дні у 2012 і 2013 рр., середня тривалість становить 52 дні.

Тривалість фази плодоношення пов'язана з температурним режимом та кількістю опадів в даний період:

У Salvia cremenecensis насіння дозрівало з 17 червня по 2 серпня, проте ми не спостерігали самосіву.

У *S. nutans* насіння дозрівало з 19 по 27 липня, рослини щорічно давали самосів.

За результатами досліджень 2018–2022 рр. в умовах ботанічного заказника місцевого значення «Мукшанський» встановлено найраніші та найпізніші строки початку та кінця проходження фенологічних фаз, їх середнє значення за п'ять років:

Salvia cremenecensis найраніше починала вегетацію 18.03.2019 р., а найпізніше 29.03.2018 р., середня дата за п'ять років – 23 березня. Кінець вегетації найраніше зафіксовано 15.10.2020 р., найпізніше – 29.10.2019 р., середня дата за п'ять років – 20 жовтня. Тривалість вегетації коливається в межах від 203 днів у 2018 р. до 226 днів у 2019 р., середня тривалість за п'ять років становить 212 днів. Тривалість відростання пагонів найкоротша – 50 днів у 2018 р., найдовша – 89 днів у 2019 р., середня тривалість становить 79 днів.

S. nutans найраніше починала вегетацію 23.03.2019 та 2022 р., а найпізніше 02.04.2018 р., середня дата за п'ять років – 25 березня. Кінець вегетації найраніше зафіксовано 27.10.2020 та 2022 рр., найпізніше 30.10.2019 р., середня дата за п'ять років – 21 жовтня. Тривалість вегетації коливається в межах від 199 днів у 2018 р. до 222 днів у 2019 р., середня тривалість за п'ять років становить 210 днів. Тривалість відростання пагонів найкоротша – 52 дні у 2018 р., найдовша – 87 днів у 2019 р., середня тривалість становить 76 днів.

Початок бутонізації:

Salvia cremenecensis найраніше зафіксовано 22.04.2018 р., найпізніше 01.05.2020 р., середня дата становить 28 квітня. Кінець фази бутонізації коливається від 14.05.2018 р. до 06.06.2019 р., середня дата – 30 травня. Тривалість бутонізації в межах 23 днів у 2019 р. і 41 днів у 2020 р., середня тривалість даної фенофази становить 29 днів.

У *S. nutans* початок бутонізації найраніше зафіксовано 19.04.2018 р., найпізніше – 28.05.2019 р., середня дата – 29 квітня. Кінець фази бутонізації в межах дат 14.05.2018 р. – 28.05.2021 р., середній дата – 23 травня. Тривалість бутонізації коливається від 25 днів у 2019-2020 рр. до 31 днів у 2018 р., середня тривалість становить 27 днів.

Початок цвітіння:

У *Salvia cremenecensis* початок цвітіння найраніше зафіксовано 04.05.2018 р., а найпізніше – 07.06.2019 року, середня дата за п'ять років – 29 травня. Закінчення цвітіння найраніше – 04.06.2018 року, а най-

пізніше – 29.06.2021 року, середня дата за п'ять років – 18 червня. Тривалість цвітіння в межах 20 днів (2018–2019 рр.) – 30 днів (2021 р.), середня тривалість за п'ять років становить 23 дні.

S. nutans найраніше зацвітала 15.05.2019 р., найпізніше – 29.05.2018 р., середня дата за п'ять років – 24 травня. Закінчення цвітіння найраніше – 14.06.2018 р., а найпізніше – 18.06.2021 р., середня дата за п'ять років – 12 червня. Тривалість цвітіння даного виду в межах 16 днів (2018 р.) – 22 дні (2021 р.), середня тривалість за п'ять років становить 19 днів.

Інтенсивність плодоношення:

У Salvia cremenecensis фаза плодоношення мала початок найраніше 05.06.2018 р., найпізніше – 30.06.2021 р., середня дата – 19 червня. Закінчення плодоношення найраніше спостерігалось 30.06.2018 р., а найпізніше – 29.07.2019 р., середня дата за п'ять років – 19 липня. Тривалість плодоношення найкоротша – 25 днів у 2018 р., а найдовша – 34 дні у 2020 р., середня тривалість плодоношення становить 29 днів.

S. nutans мала початок плодоношення найраніше 03.06.2019 р., найпізніше – 19.06.2021 р., середня дата – 13 червня. Закінчення плодоношення найраніше зафіксовано 15.07.2020 року, а найпізніше – 07.08.2022 р., середня дата – 24 серпня. Тривалість плодоношення найкоротша становить 32 дні у 2020 р., а найдовша – 51 дні у 2022 р., середня тривалість становить 41 день.

Збір насіння цілеспрямовано не проводився. Під час обстежень сходів *Salvia cremenecensis* не виявлено. Водночас у *S. nutans* спостерігалось регулярне природне висівання насіння впродовж липня – середини серпня, що супроводжувалося формуванням самосіву.

Слід зазначити, що в природних умовах у *S. nutans* спостерігалося повторне цвітіння наприкінці літа (2018, 2021 рр.), тоді як у *Salvia cremenecensis* таких тенденцій не виявлено.

Результати багаторічних фенологічних спостережень узагальнено у вигляді зведеного феноспектру (рис. 1), які відображають

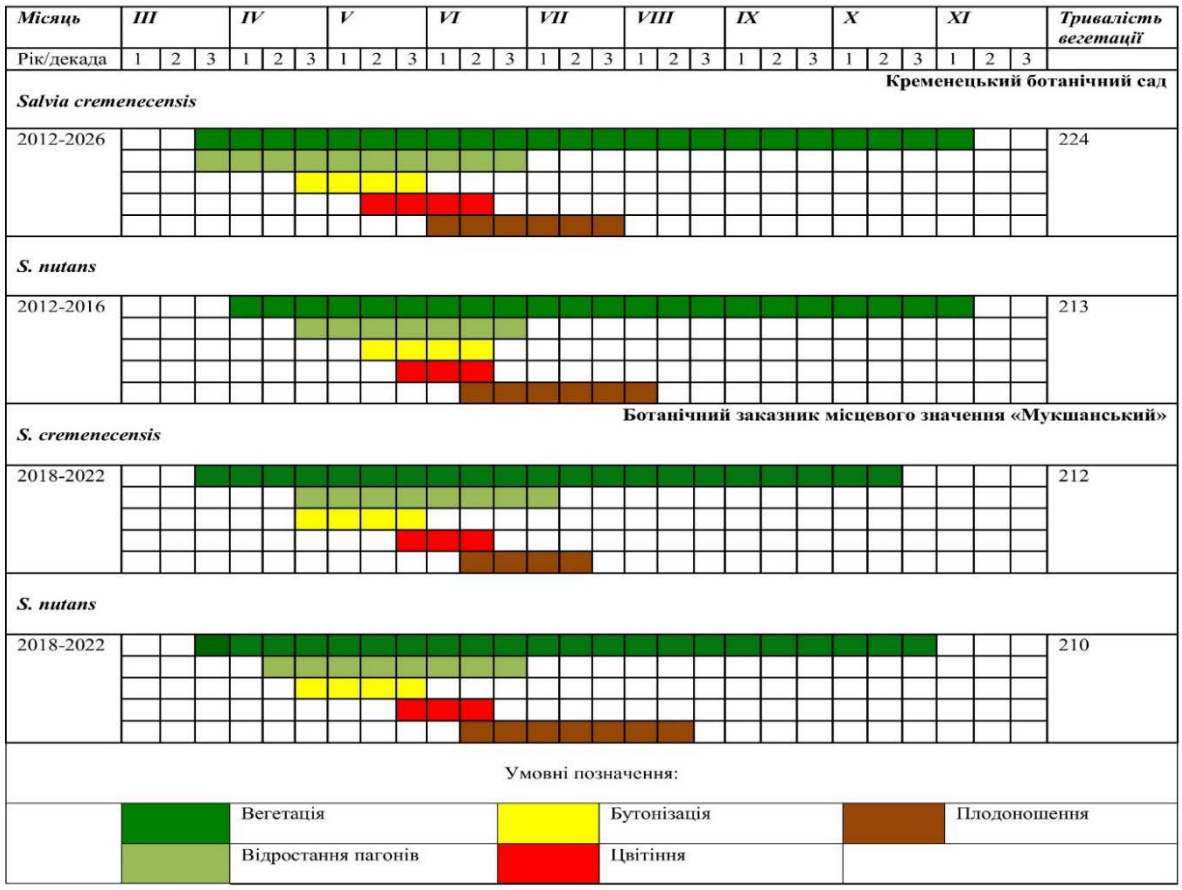


Рис. 1. Зведений феноспектр *Salvia cremenecensis* Bess. та *Salvia nutans* L. (середні багаторічні показники, 2012–2016 рр., 2018–2022 рр).

тривалість основних фенологічних фаз *Salvia cremenecensis* Bess. та *S. nutans* L. в умовах культури та природних біотопів.

Дані наочно відображають відмінності у строках настання та тривалості основних фенологічних фаз *Salvia cremenecensis* Bess. та *S. nutans* L. залежно від різних умов зростання. В умовах Кременецького ботанічного саду обидва види характеризуються подовженим періодом вегетації, тривалішими фазами цвітіння та плодоношення, що зумовлено відсутністю міжвидової конкуренції та стабільнішими умовами зволоження та відповідного догляду. У природних умовах спостерігається певне скорочення тривалості фенологічних фаз, особливо фаз плодоношення, що пов'язано з природною конкуренцією, коливаннями кліматичних чинників та антропогенним впливом.

Висновки

Встановлено показники сезонних ритмів і тривалість фенологічних фаз *Salvia cremenecensis* і *S. nutans*. В умовах Кременецького ботанічного саду середня тривалість повного комплексу фенологічних фаз у S. *cremenecensis* становить близько 224 днів, тоді як у *S. nutans* – 213 днів. Відповідно, для *Salvia cremenecensis* середня тривалість відростання пагонів складає 87 днів, фази бутонізації – 28 днів, фази цвітіння – 33 дні, фази плодоношення – 48 днів; для *S. nutans* середня тривалість відростання пагонів складає 78 днів, фази бутонізації – 29 днів, фази цвітіння – 16 днів, фази плодоношення – 52 дні. У природних умовах заказника «Мукшанський» ці показники були дещо меншими – середня тривалість повного комплексу фенологічних фаз у S. *cremenecensis* складала 212 днів, у *S. nutans* – 210 днів. для *Salvia cremenecensis* середнє тривалість відростання пагонів складає 79 днів, фази бутонізації – 29 днів, фази цвітіння – 23 дні, фази плодоношення – 29 днів; для *S. nutans* середнє значення відростання пагонів складає 76 днів, фази бутонізації – 27 днів, фази цвітіння – 19 днів, фази плодоношення – 41 день. Отримані нами дані корелюють із науковими працями щодо попередніх досліджень фенології різних рослин і вкотре підтверджують твердження, що кліматичні умови, особливості місцезростань та антропогенне навантаження значною мірою впливають на сезонні ритми розвитку рослин. Важливо, що подальші поглиблені дослідження та узагальнені результати створюють наукове підґрунтя для їх практичного застосування під час розроблення заходів з охорони, збереження та інтродукції рідкісних, у тому числі регіонально рідкісних і ендемічних видів на території ПЗФ, а також у контексті прогнозування адаптаційних реакцій досліджуваних видів на сучасні природні та антропогенні чинники.

Список використаної літератури

Архів погоди «МЕТА», Кременець [Електронний ресурс]. URL: https://pogoda.meta.ua/ua/Ternopilska/Kremenetskyi/Kremenets/archive/ (дата звернення: 04.01.2025).

Архів погоди «МЕТА», Слобідка Кульчиєвецька [Електронний ресурс]. URL: https://pogoda.meta.ua/ua/Khmelnytska/Kamianets-Podilskyi/Slobidka-Kulchiievetska/ (дата звернення: 04.01.2025).

Білик Я.Я., Гринюк Ю.Г. Фенологічні спостереження на об'єктах природно-заповідного фонду як складова моніторингу кліматичних змін. Природно-заповідний фонд України – минуле, сьогодення, майбутнє: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Тернопіль, 26–28 травня 2010 р.). Тернопіль : Підручники і посібники, 2010. С. 237–241.

Державна служба України з гідрометеорології [Електронний ресурс]. URL: https://www.meteo.gov.ua (дата звернення: 04.01.2025).

Ковальчук І.О., Шевченко Т.П. Біологія та екологія рослин Поділля. Кам'янець-Подільський : К-ПНУ, 2018. 312 с.

Кудряшова О.М., Петренко С.В. Фенологія рідкісних і ендемічних рослин України. Київ : Наукова думка, 2010. 245 с.

Пилипенко В.М. Методика фенологічних спостережень та оцінка впливу кліматичних факторів на рослини. Харків : ХНУ, 2015. 168 с.

Положення про ботанічний заказник місцевого значення «Мукшанський» [Електронний ресурс]. URL: https://www.npptovtry.org.ua/p031 (дата звернення: 20.12.2025).

Природа Хмельницької області / за ред. К. І. Геренчука. Львів : Вища школа, 1980. 152 с.

Природно-заповідний фонд України [Електронний ресурс]. URL: https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-22.html (дата звернення: 20.12.2025).

Проскурняк М.М. Ландшафтна структура Кам'янця-Подільського. Літопис природи. Кам'янець-Подільський, 2002. Т. 6.

Сікура Й.Й., Капустян В.В. Інтродукція рослин, її значення для розвитку цивілізації, ботанічної науки та збереження різноманіття рослинного світу. Київ : Фітосоціоцентр, 2003. 280 с.

Собко В.Г., Гапоненко М.Б. Інтродукція рідкісних і зникаючих рослин флори України. Київ : Наукова думка, 1996. 283 с.

Тернопільський енциклопедичний словник: у 4 т. / редкол.: Г. Яворський та ін. Тернопіль : Видавничо-поліграфічний комбінат «Збруч», 2005. Т. 2. 706 с.

References

Arkhiv pohody “META”, Kremenets. [Archive of the “META” campaign, Kremenets] (n.d.). [Electronic resource] URL: https://pogoda.meta.ua/ua/Ternopilska/Kremenetskyi/Kremenets/archive/ (access date 04.01.2025) [in Ukrainian].

Arkhiv pohody “META”, Slobidka Kulchiievetska [Archive of the “META” campaign, Slobidka Kulchiievetska]. (n.d.). [Electronic resource] URL: https://pogoda.meta.ua/ua/Khmelnytska/Kamianets-Podilskyi/Slobidka-Kulchiievetska/ (access date 04.01.2025) [in Ukrainian].

Bilyk, Y.Ya., & Hryniuk, Y.H. (2010). Fenolohichni sposterezhennia na obiektakh pryrodno-zapovidnoho fondu yak skladova monitorynhu klimatychnykh zmin [Phenological observations at nature reserve fund sites as a component of climate change monitoring]. *Pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy – mynule, sohodennia, maibutnie [Nature Reserve Fund of Ukraine: Past, Present, and Future].* Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Ternopil, May 26–28, 2010), 237–241 [in Ukrainian].

Derzhavna sluzhba Ukrainy z hidrometeorolohii [State Service of Ukraine for Hydrometeorology]. (n.d.). [Electronic resource] URL: https://www.meteo.gov.ua (access date 04.01.2025) [in Ukrainian].

Herenchuk, K.I. (Ed.). (1980). Pryroda Khmelnytskoi oblasti [Nature of Khmelnytskyi Region]. Lviv : Vyshcha Shkola [in Ukrainian].

Kovalchuk, I.O., & Shevchenko, T.P. (2018). Biolohiia ta ekolohiia roslyn Podillia [Biology and ecology of plants of Podillia]. Kamianets-Podilskyi : Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohiienko University [in Ukrainian].

Kudriashova, O.M., & Petrenko, S.V. (2010). Fenolohiia ridkisnykh i endemichnykh roslyn Ukrainy [Phenology of rare and endemic plants of Ukraine]. Kyiv: Naukova Dumka [in Ukrainian].

Pylypenko, V.M. (2015). Metodyka fenolohichnykh sposterezhen ta otsinka vplyvu klimatychnykh faktoriv na roslyny [Methods of phenological observations and assessment of the impact of climatic factors on plants]. Kharkiv: KhNU [in Ukrainian].

Polozhennia pro botanichnyi zakaznyk mistsevoho znachennia “Mukshanskyi” [Positions for the botanical reserve of local significance “Mukshanskyi”]. (n.d.). [Electronic resource] URL: https://www.npptovtry.org.ua/p031 (access date 20.12.2025) [in Ukrainian].

Pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy [Nature Reserve Fund of Ukraine] (n.d.). [Electronic resource] URL: https://pzf.land.kiev.ua/pzf-obl-22.html (access date 20.12.2025) [in Ukrainian].

Proskurniak, M.M. (2002). Landshaftna struktura Kamianets-Podilskoho [Landscape structure of Kamianets-Podilskyi]. Litopys pryrody [Chronicles of Nature], Vol. 6 [in Ukrainian].

Sikura, Y.Y., & Kapustian, V.V. (2003). Introduktsiia roslyn, yii znachennia dlia rozvytku tsyvilizatsii, botanichnoi nauky ta zberezhennia riznomanittia roslynnoho svitu [Plant introduction and its significance for the development of civilization, botanical science, and conservation of plant diversity]. Kyiv: Phytosotsiotsentr [in Ukrainian].

Sobko, V.H., & Haponenko, M.B. (1996). Introduktsiia ridkisnykh i znykaiuchykh roslyn flory Ukrainy [Introduction of rare and endangered plants of the flora of Ukraine]. Kyiv: Naukova Dumka [in Ukrainian].

Ternopil's'kyy entsyklopedychnyy slovnyk [Ternopil Encyclopedic Dictionary]. (2005). In 4 vols.; Vol. 2. Ternopil: Publishing and Printing Plant “Zbruch” [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 26.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 613.2:796.325
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.3

БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ ВОЛЕЙБОЛІСТІВ ЯК ЧИННИК ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ, СПОРТИВНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

Н. М. Бовсуновська[1], Я. Р. Оксентюк[2], Т. В. Шевчук[3]

У статті представлено результати дослідження особливостей фактичного харчування та рівня обізнаності з біохімічних основ раціонального харчування спортсменів-волейболістів групи підвищеної спортивної майстерності з різних видів спорту (волейбол). Адже знання наукових основ раціонального харчування необхідні кожній людині, особливо спортсменам, діяльність яких пов'язана із підтримкою високої фізичної працездатності, необхідністю швидкого відновлення, набуття певної конституції тіла.

Дослідження проведено серед 27 спортсменів-волейболістів, які займаються у групі підвищеної спортивної майстерності з волейболу. Мета дослідження – оцінити рівень обізнаності спортсменів-волейболістів групи підвищеної спортивної майстерності з різних видів спорту (волейбол) в основних теоретичних аспектах раціонального харчування та його біохімічних основ. Для вирішення поставленої мети використовувалися наступні методи дослідження: теоретичний аналіз і узагальнення літературних джерел; анкетування; метод педагогічних контрольних випробувань (тестування); методи математичної статистики.

Результати дослідження показали, що більшість спортсменів дотримуються рекомендованої кратності прийомів їжі, однак лише частина з них забезпечує повноцінність основних прийомів харчування. Виявлено недостатнє споживання окремих груп продуктів, зокрема риби та молочних продуктів, а також фрагментарний характер використання вітамінно-мінеральних добавок. Середній рівень обізнаності респондентів з біохімічних основ раціонального харчування становив 46,41 бала зі 100 можливих, що свідчить про недостатню сформованість системних знань,

[1] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри медико-біологічних дисциплін
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Bovsunovska-N@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8137-114X
[2] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри медико-біологічних дисциплін
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Oksentiuk-Y@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8376-8298
[3] кандидат біологічних наук,
доцент кафедри медико-біологічних дисциплін
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Shevchuk-T@zu.edu.ua
ORCID: 0009-0009-2662-1538

особливо у питаннях енергетичної цінності раціону, співвідношення макронутрієнтів, забезпечення вітамінами та мінеральними речовинами.
Спираючись на результати проведених досліджень, можна констатувати, що проведення комплексної роботи та вирішення практичних задач щодо аналізу харчових раціонів спортсменів-волейболістів сприятиме оптимізації їх тренувального процесу.

***Ключові слова**: раціональне харчування, відновлення, спортивна працездатність, функціональний стан, функціональні можливості, тренувальний процес, фахівці у сфері фізичної культури і спорту.*

BIOCHEMICAL FOUNDATIONS OF RATIONAL NUTRITION IN VOLLEYBALL PLAYERS AS A FACTOR OF FUNCTIONAL STATUS, ATHLETIC PERFORMANCE, AND RECOVERY

N. M. Bovsunovska, Ya. R. Oksentiuk, T. V. Shevchuk

The article reports the results of a study examining the characteristics of current dietary practices and the level of awareness of the biochemical foundations of rational nutrition among volleyball players in a group of advanced athletes from various sports (volleyball). Knowledge of the scientific principles of rational nutrition is essential for every person, especially athletes, as their professional activities require maintaining high physical performance, ensuring rapid recovery, and achieving optimal body composition.
The study involves 27 volleyball players representing a group of advanced-level athletes. The aim of the research is to assess the level of awareness of volleyball players in a group of advanced athletic skill in various sports (volleyball) in the basic theoretical aspects of rational nutrition and its biochemical foundations. The following research methods are employed theoretical analysis and synthesis of scientific literature; questionnaires; pedagogical control tests; and methods of mathematical statistics.
The results indicated that most athletes adhered to the recommended meal frequency, however, only a portion of them ensured the nutritional adequacy of main meals. Insufficient consumption of certain food groups, particularly fish and dairy products, was identified, along with irregular use of vitamin and mineral supplements. The average level of respondents' awareness of the biochemical foundations of rational nutrition was 46.41 points out of a possible 100, indicating insufficient and unsystematic knowledge, especially regarding dietary energy value, macronutrient balance, and vitamin and mineral intake.
Based on the findings, it can be concluded that comprehensive analysis of volleyball players' diets and the implementation of practical nutritional interventions may contribute to optimizing the training process and improving athletic performance.

***Key words:** athletic performance, functional capabilities, functional status, physical culture and sports specialists, rational nutrition, recovery, training process.*

Вступ

Актуальність дослідження зумовлена зростанням вимог сучасного спорту до рівня спортивної працездатності, ефективності відновлення та збереження оптимального функціонального стану спортсменів в умовах інтенсивних тренувальних і змагальних навантажень. Раціональне харчування, побудоване на біохімічних закономірностях енергетичного обміну, пластичних і регуляторних процесів, є одним із ключових чинників забезпечення функціональних можливостей організму волейболістів, їх адаптації до фізичних навантажень і оптимізації відновлювальних процесів (Шапаренко, 2021). У видах спорту ігрового характеру, зокрема волейболі, де поєднуються аеробні та анаеробні режими м'язової діяльності, недостатня збалансованість харчового раціону може призводити до зниження працездатності, уповільнення відновлення та розвитку перевтоми. Як зазначає Т. В. Маленюк, ефективність відновлювальних процесів безпосередньо залежить від науково обґрунтованого поєднання тренувальних навантажень і відновлювальних засобів, серед яких раціональне харчування посідає провідне місце у системі підготовки спортсменів (Маленюк, 2023).

Результати сучасних наукових досліджень вказують на те, що волейболісти незалежно від рівня спортивної майстерності часто мають недостатньо збалансований раціон і неналежне енергетичне забезпечення фізичних навантажень. Так, у дослідженні волейболістів-підлітків встановлено, що фактичний добовий раціон спортсменів не забезпечує прогнозованих енергетичних потреб за умов підвищених енерговитрат, що потенційно збільшує ризик дефіциту макро- та мікронутрієнтів (Bell et al., 2023).

У професійних волейболісток також виявлено тенденцію до недостатнього споживання поживних речовин та окремих нутрієнтів порівняно з рекомендаціями спортивної дієтології під час періоду змагань (Mielgo-Ayuso et al., 2015). Інше дослідження показало, що без цілеспрямованого втручання у харчовий раціон спортсменів не можна досягти рекомендованого рівня енергії, вуглеводів і білків, що негативно впливає на відновлення та спортивну працездатність досліджуваних (Valliant et al., 2012; Nugroho et al., 2023; Du et al., 2025).

Отже, для фахівців у сфері фізичної культури і спорту знання біохімічних основ харчування є необхідною умовою цілеспрямованого управління тренувальним процесом, контролю функціонального стану та підвищення спортивної працездатності.

Мета дослідження – оцінити рівень обізнаності спортсменів-волейболістів групи підвищеної спортивної майстерності з різних видів спорту (волейбол) в основних теоретичних аспектах раціонального харчування та його біохімічних основ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– проаналізувати літературні джерела з проблеми раціонального харчування та опрацювати наукові відомості, щодо особливостей харчування спортсменів різних видів спорту;

– провести анкетування для вивчення характеру харчування спортсменів-волейболістів та проаналізувати його результати;

– визначити рівень обізнаності спортсменів-волейболістів групи підвищеної спортивної майстерності з різних видів спорту (волейбол) в основних теоретичних аспектах раціонального харчування та його біохімічних основ;

– здійснити аналіз результатів тестування та запропонувати ефективний харчовий раціон досліджуваним спортсменам.

Матеріал і методи

Дослідження проводилось на базі Житомирського державного університету імені Івана Франка. Загальна кількість досліджуваних спортсменів становила 27 осіб. Досліджувані були представлені двома групами: перша група була сформована зі спортсменок (жінок), які входять до групи підвищення спортивної майстерності з волейболу, а друга група – зі спортсменів (чоловіків), які входять до групи підвищення спортивної майстерності з волейболу.

Дослідження було проведено у декілька етапів із використанням наступних методів: теоретичний аналіз і узагальнення літературних джерел; анкетування; метод педагогічних контрольних випробувань (тестування); методи математичної статистики (Методичні…, 2018).

На першому етапі аналізувалися та узагальнювалися наукові дані літературних джерел з проблеми дослідження, вивчалися особливості проведення тренувального процесу та режиму харчування респондентів.

На другому етапі були сформовані досліджувані групи, проведене анкетування для вивчення характеру харчування спортсменів. Для отримання об’єктивних результатів під час проведення анкетування була ретельно розроблена анкета з урахуванням віку, рівня психофізіологічного розвитку та інших особливостей респондентів. При формуванні анкети була визначена мета проведення анкетування; виявлення критеріїв та показників (індикаторів) досліджуваних питань; вибір доцільних засобів – онлайн тестування у гугл-формі; забезпечення належної процедури проведення анкетування, анонімності та добровільної участі. Анкетування передбачало подання респондентам відкритих (довільна відповідь) і закритих (вибір одного з кількох тверджень, вибір оцінки) запитань. За змістом запитання поділяються на об'єктивні (вік, стать, спеціалізація) і суб'єктивні, які виявляють соціально-психологічні особливості опитуваного, його ставлення до питання дослідження.

На третьому етапі здійснювалося тестування респондентів, узагальнення результатів досліджень, формулювання основних висновків та рекомендацій. В представленому дослідженні тестування респондентів пропонується як інструмент визначення рівня обізнаності спортсменів в основних теоретичних аспектах раціонального харчування, його біохімічних основ та в одержанні інформації для прийняття рішень щодо вдосконалення цього процесу. Результати тестування визначали підрахунком відсотків правильно розв’язаних тестів.

Результати отримані у ході досліджень були опрацьовані методами математичної статистики. Статистичний аналіз проводився із використанням програмного забезпечення “Exel”.

Результати

При проведенні анкетування щодо вивчення характеру харчування спортсменів було встановлено, що 88,5 % респондентів приймає їжу від трьох до п’яти разів

на день, що відповідає основним принципам раціонального харчування. Водночас лише 38,5 % респондентів зазначили, що всі три основні прийоми їжі є повноцінними (рис. 1). Аналіз якісного складу харчування показав, що до раціону більшості спортсменів регулярно входять овочі, фрукти, м'ясо, риба, картопля, зелень та крупи. Позитивним є той факт, що 65,4 % респондентів надають перевагу вареним, паровим та запеченим стравам, що відповідає сучасним рекомендаціям щодо зниження аліментарних ризиків і збереження поживної цінності продуктів (рис. 2).

Аналіз результатів анкетування щодо співвідношення в харчовому раціоні білків, жирів та вуглеводів показав, що 50 % респондентів вживають м'ясо двічі на день, а 38,5 % – один раз на день. Позитивним є той факт, що щоденно 100 % опитуваних вживають фрукти та 92,3 % – овочі. Негативним є факт ігнорування 7,7 % спортсменів рибних страв, що може негативно впливати на забезпеченість організму жирними кислотами та жиророзчинними вітамінами. При цьому 76,9 % вживають страви з риби раз в тиждень. Ставлення 11,5 % респондентів до молочних продуктів також викликає занепокоєння – вони зовсім не вживають їх, що може призвести на тлі з підвищеним фізичним навантаженням до зниження рівня Ca^{2+} та, як наслідок, підвищення ризику порушень мінеральної щільності кісткової тканини (рис. 3).

При з'ясуванні ролі вітамінних препаратів в харчовому раціоні спортсменів встановлено, що харчові добавки або вітамінні препарати використовують 26,9 % досліджуваних, серед яких найчастіше зазначали вітамін С та омега-3 жирні кислоти. Крім того, для покращення стану організму в цілому та шлунково-кишкового тракту зокрема, 7,7 % респондентів застосовує вегетаріанство, дієтичне харчування, сироїдіння та лікувальне голодування (рис. 4).

Для встановлення рівня обізнаності спортсменів-волейболістів групи підвищеної спортивної майстерності з різних видів спорту (волейбол) в основних теоретичних аспектах раціонального харчування та його біохімічних основ респондентам було запропоновано дати відповідь на 60 запитань опитувальника, які були поділені на умовні блоки. Для зацікавлення студентів-спортсменів в питаннях опитувальника вони були розміщені в хаотичному порядку, що дозво-

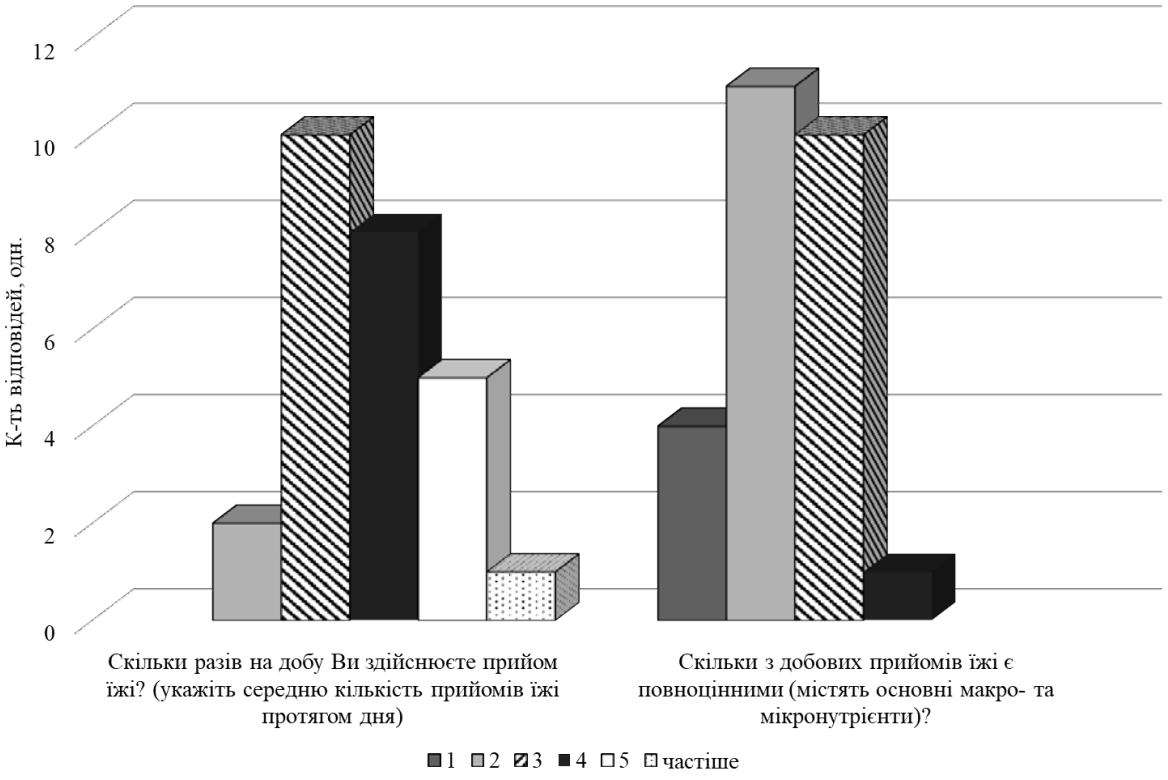


Рис. 1. Показники кратності та повноцінності добового харчування респондентів

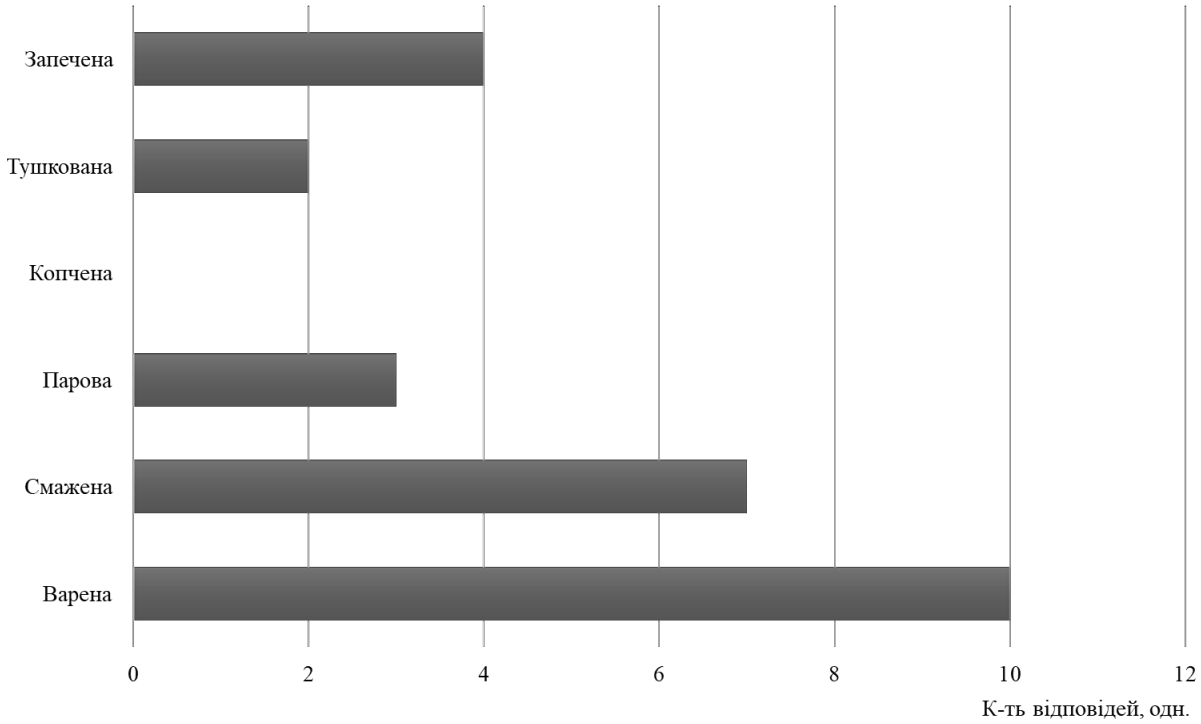


Рис. 2. Розподіл респондентів за переважним типом їжі

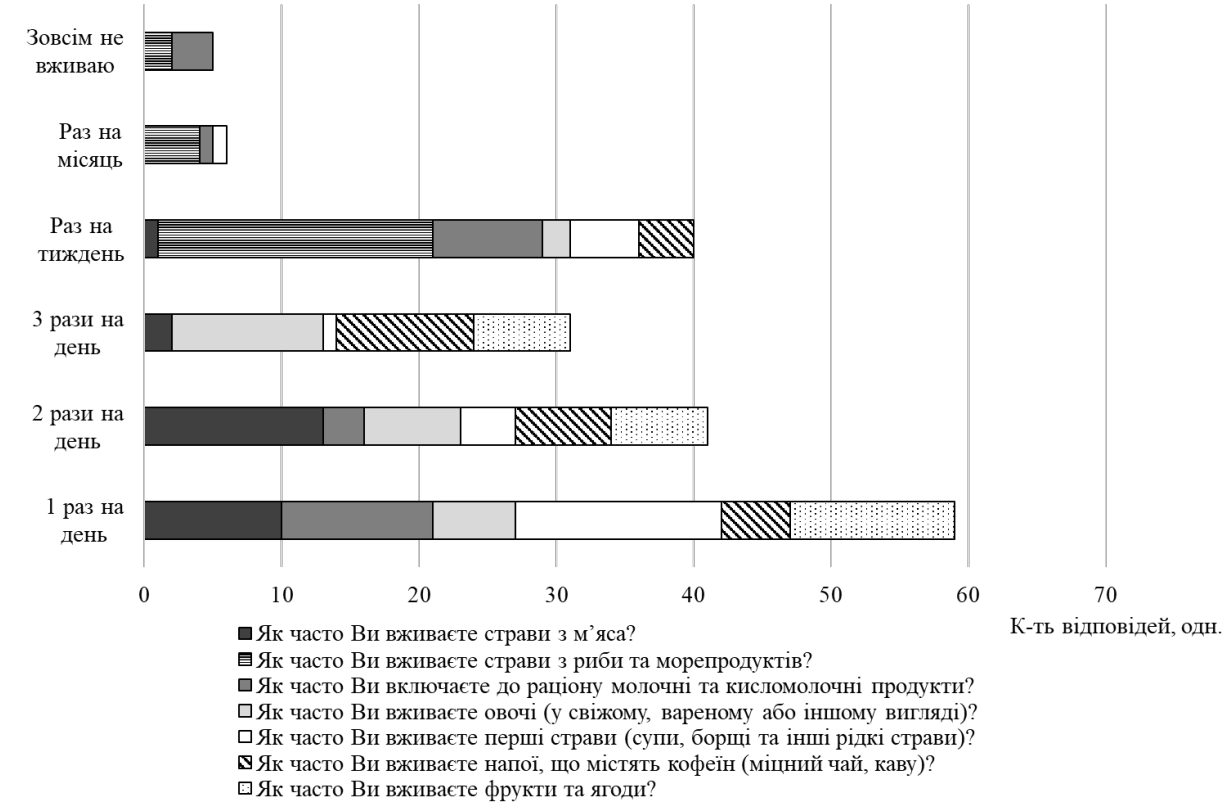


Рис. 3. Показники частоти вживання окремих груп харчових продуктів і напоїв респондентами

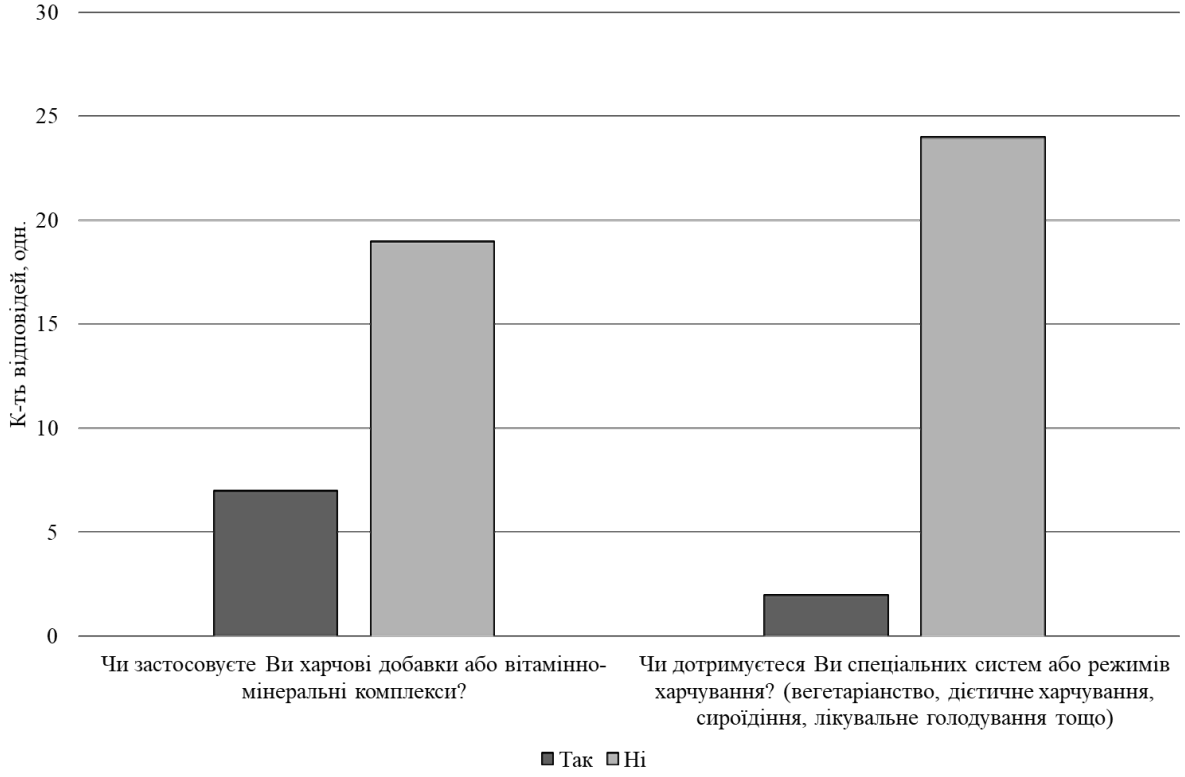


Рис. 4. Показники використання біологічно активних добавок та спеціалізованих режимів харчування респондентами

лило отримати відповіді на всі запитання, не зважаючи на їх значну кількість.

Оцінка рівня теоретичної обізнаності спортсменів у питаннях раціонального харчування виявила суттєву диференціацію знань залежно від тематики. Найбільшу кількість правильних відповідей досліджувані дали на питання щодо визначення режиму харчування (74,1 %), гігієни харчування (74,1%) та основного обміну організму (66,7 %). Найнижчий рівень поінформованості респонденти показали при відповіді на питання опитувальника щодо терміну «раціональне (здорове, повноцінне) харчування» (29,6 %), понять «коефіцієнт фізичної активності» (25,9 %) та «авітаміноз» (22,2 %).

Доволі високий рівень володіння інформацією показали студенти-волейболісти в питаннях що стосувались харчового статусу організму, плану харчування колективу (або переліку готових страв), харчової токсикоінфекції – правильні відповіді складали 70,4; 44,4 та 48,1 % відповідно. Біля 50 % опитуваних чітко дають визначення вітамінам та вказують на основоположника вітамінології як науки – М.І. Луніна.

Другий блок опитувальника продемонстрував недостатній рівень сформованості практичних навичок та обізнаності респондентів в методах оцінки харчування, визначення основного обміну тощо. Відповіді мали невисокий рівень правильності.

Третій умовний блок опитувальника був спрямований на визначення рівня обізнаності респондентів щодо енергетичної цінності добового раціону, енерговитрат організму, оптимального співвідношення білків, жирів і вуглеводів у харчуванні, а також особливостей режиму харчування.

Аналіз отриманих відповідей показав, що 88,9 % опитаних володіють інформацією щодо енергетичної цінності харчових продуктів і основних показників, які визначаються під час оцінки дієтологічного статусу організму. Високий рівень правильних відповідей був отриманий під час визначення діапазонів індексу маси тіла (індексу Кетле) для осіб з ожирінням II та III ступенів – 44,4 % та 58,3 % відповідно. Близько 52,0 % респондентів правильно зазначили, що перевищення маси тіла на 15 % відповідає діагнозу ожиріння, тоді як 22,2 % визначили ці межі на рівні 9–14 %.

Суттєві труднощі викликали відповіді на запитання щодо найбільшої енергетичної цінності харчових продуктів: лише 29,6 %

студентів-волейболістів надали правильну відповідь. Такий результат свідчить про недостатній рівень сформованості практичних знань щодо побудови раціонального харчового раціону та може вказувати на несистемний, хаотичний вибір продуктів харчування. В той же час при визначенні оптимального співвідношення білків, жирів і вуглеводів у добовому раціоні харчування 66,7 % респондентів правильно вказали фізіологічно обґрунтоване співвідношення 1:1:4. Аналіз відповідей на питання щодо розподілу добового раціону засвідчив, що лише 33,3 % опитаних правильно визначили відсоткову частку сніданку при триразовому режимі харчування.

Наступний блок опитувальника був найбільш об'ємним і охоплював питання, що стосувалися вітамінів та мінеральних речовин: їх добових потреб, фізіологічних факторів, що визначають потребу організму в вітамінах, страв, які рекомендують вітамінізувати тощо.

Найвищий рівень обізнаності студенти-волейболісти продемонстрували у питаннях основних джерел надходження вітамінів до організму людини. Так, 81,5 % респондентів правильно зазначили, що ключовими фізіологічними факторами, які визначають потребу організму у вітамінах, є вік, стать та індивідуальні особливості людини. Крім того, 66,7 % опитаних рекомендують вітамінізувати перші та треті страви в зимово-весняний період для харчування організованих колективів.

Встановлено недостатній рівень обізнаності щодо кількісних нормативів споживання вітамінів і мінеральних речовин. Лише 22,2 % респондентів орієнтуються в добовій потребі для дорослого населення вітаміну А (ретиноловий еквівалент). Частка правильних відповідей на запитання щодо добової потреби дорослої людини в аскорбіновій кислоті (вітамін С) та найбільш фізіологічного співвідношення Са:Р у добовому раціоні харчування осіб переважно фізичної праці становила 37,0 %.

При аналізі питань які стосувались вмісту в продуктах харчування поживних речовин найвищий рівень обізнаності респонденти виявили при аналізі круп – 55,6 % та яєць – 48,1%, а найнижчий – при порівнянні вмісту в жирах поліненасичених жирних кислот (37,0 %)

Більшість респондентів продемонстрували чітке розуміння того, що діти різних вікових груп потребують для повноцінного розвитку більшої кількості поживних речовин порівняно з дорослими, зокрема білків, мінеральних солей, вуглеводів і жирів. При цьому 33,3 % мають переконання, що раціон дитини має містити більше білків тваринного походження.

П'ятий умовний блок опитувальника стосувався гіповітамінозів, лікувального харчування та захворювань шлунково-кишкового тракту пов'язаних із порушенням умов харчування. Респонденти продемонстрували найвищий рівень обізнаності у питаннях причин виникнення гіповітамінозів та клінічних симптомах гіповітамінозу вітаміну А. Також 40,7 % опитаних правильно визначили кровоточивість ясен як найбільш характерний клінічний симптом С-гіповітамінозу. В той же час досить невелика кількість студентів-волейболістів пов'язують появу широко розповсюджених захворювань шлунково-кишкового тракту (гастрит, виразкова хвороба шлунку та 12-палої кишки) з порушенням режиму харчування – 29,6 %.

Останній блок опитувальника складався з восьми запитань закритого типу, які передбачали відповіді «так» або «ні». Аналіз результатів показав, що більшість респондентів надали чіткі та усвідомлені відповіді.

Проведений аналіз результатів опитування спортсменів-волейболістів показав, що середній рівень обізнаності респондентів в питаннях пов'язаних з біохімічними основами раціонального харчування становить 46,41 балів (максимально можлива кількість балів 100). Діапазон відповідей коливався в межах від 25 до 88 балів. Отримані результати вказують на необхідність проведення додаткових роз'яснень та вирішень практичних задач щодо аналізу харчових раціонів осіб різного віку, статі та діяльності.

Обговорення

Аналіз результатів тестування дав можливість запропонувати ефективний харчовий раціон досліджуваним спортсменам, який розроблений професорсько-викладацьким складом Національного університету фізичного виховання і спорту України (Осипенко та ін., 2012; Циганенко та ін., 2021). З огляду на специфіку ігрових видів спорту, що характеризуються змінною інтенсивністю навантажень і високими енерговитратами, харчування спортсменів повинно бути адаптованим до періодів річного циклу підготовки. Оптимальне співвідношення макронутрієнтів для волейболістів становить: вуглеводи – 60–65 %, жири – 20–25 %,

білки – 10–15%, з корекцією залежно від індивідуальних особливостей і періоду підготовки (Паришкура і Шевченко, 2023).

Для підтримання сили м'язів спортсменам-волейболістам необхідно багато білків в харчовому раціоні (орієнтовно 1,5–1,8 г на кг маси тіла), а конкретно не менше 1,6 г/кг маси тіла у період змагань і біля 2,0 г/ кг у період міжсезоння при наборі бажаної маси тіла (за рахунок нарощування маси м'язів).За деяким рекомендаціями – навіть до 2,4 – 2,6 г/кг (Thomas et al., 2016; Рожков та ін., 2024). Водний режим повинен забезпечувати компенсацію втрат рідини та становити не менше 2,0 л на добу з урахуванням сольового балансу. Значні фізичні навантаження також зумовлюють підвищену потребу у вітамінах, насамперед вітамінах групи B, C, A, E та D (Кручаниця та ін., 2019; Рибак та ін., 2022; Плахтій і Коваль, 2024).

Висновки

1. Раціональне харчування, засноване на біохімічних закономірностях енергетичного обміну, пластичних і регуляторних процесів, є одним із ключових чинників забезпечення функціонального стану, спортивної працездатності та ефективного відновлення волейболістів в умовах інтенсивних тренувальних і змагальних навантажень.

2. Результати анкетування показали, що більшість спортсменів-волейболістів дотримуються рекомендованої кратності прийомів їжі, однак лише третина респондентів забезпечує повноцінність усіх основних прийомів їжі, що свідчить про наявність дисбалансу у фактичному харчуванні.

3. Позитивними аспектами харчової поведінки респондентів є регулярне споживання овочів і фруктів та надання переваги вареним, паровим та запеченим стравам. Водночас виявлено низку проблемних моментів: недостатнє споживання рибних і молочних продуктів частиною респондентів, що може негативно впливати на забезпечення організму нутрієнтами.

4. Аналіз результатів тестування засвідчив середній рівень обізнаності спортсменів-волейболістів із біохімічних основ раціонального харчування (46,41 бала зі 100 можливих), що вказує на фрагментарний характер знань та відсутність цілісного уявлення про принципи побудови оптимального харчового раціону.

5. Отримані результати підтверджують необхідність цілеспрямованого формування у спортсменів-волейболістів знань і практичних навичок з біохімічних основ раціонального харчування, а також впровадження освітніх і корекційних програм, спрямованих на оптимізацію харчових раціонів з урахуванням специфіки ігрового виду спорту та періодів річного циклу підготовки.

Список використаної літератури

Кручаниця М.І., Миронюк І.С., Розумикова Н.В., Кручаниця В.В., Брич В.В., Кіш В.П. Основи харчування : підручник. Ужгород : УжНУ «Говерла», 2019. 252 с.

Маленюк Т. В. Відновлювальні засоби працездатності у фізичній культурі та спорті : навч. посібник (електронне видання). Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2023. 182 с. [Електронний ресурс]. URL: https://dspace.cusu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/93d59034-cc86-433b-9500-b98bd8d60d9f/content (дата звернення 18.12.2025).

Методичні рекомендації до практичних занять з дисципліни «Основи раціонального харчування» / уклад. В. В. Брич, І. С. Миронюк. Ужгород : ДВНЗ "Ужгородський нац. університет", 2018. 96 с.

Осипенко Г.А., Вдовенко Н.В., Воронцова В., Дурманенко В. Індивідуалізація та стандартизація раціонів харчування спортсменів різної спеціалізації. *Актуальні проблеми фізичної культури і спорту.* 2012. № 23(1). С. 49–52.

Паришкура Ю.В., Шевченко М.В. Основи раціонального харчування у студентів-волейболістів. *Інтеграція науки і освіти: розвиток культурних і креативних індустрій :* зб. матеріалів II Всеукр. наук.-практ. конф. Київ : КНУТД, 2023. С. 94–97.

Плахтій П.Д., Коваль Т.В. Фізіологічні та біохімічні основи оздоровчого харчування. Теорія, практикум, тести : навч.-метод. посібник. Кам'янець-Подільський : Віт'АДрук, 2024. 282 с.

Рибак Л., Рефель В., Токовенко О. Раціональне харчування як складова високих спортивних досягнень. *Перспективи та інновації науки. Серія «Педагогіка». Серія «Психологія». Серія «Медицина».* 2022. № 10(15). С. 251–263. https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-10(15)-251-263

Рожков В.О., Шутєєв В.В., Ленська О.В. Особливості раціонального харчування спортсменів. *Сучасні досягнення фізичного виховання :* зб. матеріалів III Всеукр. наук.-практ. конферен-

ції з міжнар. участю (електронне видання). Харків : Харківський нац. медичний університет, 2024. С. 258–260. [Електронний ресурс]. URL: https://ic.ac.kharkov.ua/navchannya/hm/shst/materials/nauk_gurt/zb_141124.pdf (дата звернення 19.12.2025).

Циганенко О.І., Хоменко І.М., Маслова О.В., Першегуба Я.В., Терещенко Т.О., Склярова Н.В., Коломієць Т.В. Здорове та оздоровче харчування осіб, які займаються фітнесом / під ред. О. І. Циганенко. Київ, 2021. 240 с.

Шапаренко І. Гігієнічні особливості харчування юних спортсменів. *Роль фізичної культури і спорту в збереженні та зміцненні генофонду нації :* матеріали всеукр. наук.-практ. онлайн-конф. Полтава : Сімон, 2021. С. 153–155. [Електронний ресурс]. URL: http://sport.pnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%9C%D0%91%D0%94-%D1%96-%D0%A4%D0%92-2021.pdf#page=153 (дата звернення 20.12.2025).

Bell M., Ghatora R., Retsidou M. I., Chatzigianni E. E., Klentrou P. Energy expenditure, dietary energy intake, and nutritional supplements in adolescent volleyball athletes versus nonathletic controls. *Nutrients*. 2023. Vol. 15, iss. 7. Article 1788. https://doi.org/10.3390/nu15071788

Du H., Liu S., Li M., Zhao K., Jiang W., You T., Wang Z., Zou D., Shu J., Liu C. Effects of Nutritional Supplements on Explosive Lower Limb Performance in Volleyball Players: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Nutrients.* 2025. Vol. 17, iss. 23. Article 3702. https://doi.org/10.3390/nu17233702

Mielgo-Ayuso J., Zourdos M., Calleja-González J., Urdampilleta A., Ostojic S. Dietary intake habits and controlled training on body composition and strength in elite female volleyball players during the season. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015. Vol. 40, № 8. P. 827–834. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0100

Nugroho M.H.D., Sukarmin Y., Suhartini B. Fulfillment of Nutrition Intake of Volleyball Athletes to Achieve Achievement: A Systematic Review. *International journal of multidisciplinary research and analysis.* 2023. Vol. 06, iss. 05. P. 2279–2284. https://doi.org/10.47191/ijmra/v6-i5-56

Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics.* 2016. Vol. 116, iss. 3. P. 501–528. https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006

Valliant M.W., Emplaincourt H.P., Wenzel R.K., Garner B.H. Nutrition education by a registered dietitian improves dietary intake and nutrition knowledge of a NCAA female volleyball team. *Nutrients*. 2012. Vol. 4, iss. 6. P. 506–516. https://doi.org/10.3390/nu4060506

References

Kruchanytsia, M.I., Myroniuk, I.S., Rozumykova, N.V., Kruchanytsia, V.V., Brych, V.V., & Kish, V.P. (2019). Osnovy kharchuvannia: pidruchnyk [Fundamentals of nutrition: textbook]. Uzhhorod: UzhNU “Hoverla” Publishing House [in Ukrainian].

Maleniuk, T.V. (2023). Vidnovliuvalni zasoby pratsezdatnosti u fizychnii kulturi ta sporti: navchalnyi posibnyk [Recovery means of working capacity in physical culture and sport: study guide]. Kropyvnytskyi: Lysenko V.F. [Electronic resource]. URL: https://dspace.cusu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/93d59034-cc86-433b-9500-b98bd8d60d9f/content (access date 18.12.2025) [in Ukrainian].

Brych, V.V., & Myroniuk, I.S. (uklad.) (2018). Metodychni rekomendatsii do praktychnykh zaniat z dystsypliny “Osnovy ratsionalnoho kharchuvannia” [Methodological recommendations for practical classes in the discipline “Fundamentals of rational nutrition”]. Uzhhorod: DVNZ "Uzhhorodskyi nats. universytet" [in Ukrainian].

Osypenko, H.A., Vdovenko, N.V., Vorontsova, V., & Durmanenko, V. (2012). Indyvidualizatsiia ta standartyzatsiia ratsioniv kharchuvannia sportsmeniv riznoi spetsializatsii [Individualization and standardization of nutrition rations of athletes of different specializations]. *Aktualni problemy fizychnoi kultury i sportu [Actual problems of physical culture and sport]*, 23(1), 49–52 [in Ukrainian].

Paryshkura, Yu.V., & Shevchenko, M.V. (2023). Osnovy ratsionalnoho kharchuvannia u studentiv-voleibolistiv [Fundamentals of rational nutrition in student volleyball players]. *Intehratsiia nauky i osvity: rozvytok kulturnykh i kreatyvnykh industrii [Integration of science and education: development of cultural and creative industries]*: zb. materialiv II Vseukr. nauk.-prakt. konf. Kyiv: KNUTD, pp. 94-97 [in Ukrainian].

Plakhtii, P.D., & Koval, T.V. (2024). Fiziolohichni ta biokhimichni osnovy ozdorovchoho kharchuvannia. Teoriia, praktykum, testy: navch.-metod. posibnyk [Physiological and biochemical foundations of health nutrition. Theory, practicum, tests: teaching-methodical manual]. Kamianets-Podilskyi: Vit'ADruk [in Ukrainian].

Rybak, L., Refel, V., & Tokovenko, O. (2022). Ratsionalne kharchuvannia yak skladova vysokykh sportyvnykh dosiahnen [Rational nutrition as a component of high sports achievements]. *Perspektyvy ta innovatsii nauky [Perspectives and innovations of science],* 10(15), 251–263. https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-10(15)-251-263 [in Ukrainian].

Rozhkov, V.O., Shutieiev, V.V., & Lenska, O.V. (2024). Osoblyvosti ratsionalnoho kharchuvannia sportsmeniv [Features of rational nutrition of athletes]. *Suchasni dosiahnennia fizychnoho vykhovannia [Modern achievements of physical education]:* zb. materialiv III Vseukr. nauk.-prakt. konferentsii z mizhnar. uchastiu. Kharkiv: Kharkiv National Medical University, pp. 258–260. [Electronic resource]. URL: https://ic.ac.kharkov.ua/navchannya/hm/shst/materials/nauk_gurt/zb_141124.pdf (access date 19.12.2025) [in Ukrainian].

Tsyhanenko, O.I., Khomenko, I.M., Maslova, O.V., Pershehuba, Ya.V., Tereshchenko, T.O., Skliarova, N.V., & Kolomiiets, T.V. (2021). Zdorove ta ozdorovche kharchuvannia osib, yaki zaimaiutsia fitnesom [Healthy and wellness nutrition of individuals engaged in fitness]. Kyiv [in Ukrainian].

Shaparenko, I. (2021). Hihiienichni osoblyvosti kharchuvannia yunykh sportsmeniv [Hygienic features of nutrition of young athletes]. *Rol fizychnoi kultury i sportu v zberezhenni ta zmitsnenni henofondu natsii [The role of physical culture and sport in preserving and strengthening the gene pool of the nation]*: materialy vseukr. nauk.-prakt. onlain-konf. Poltava: Simon, pp. 153–155. [Electronic resource]. URL: http://sport.pnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/Zbirnyk-MBD-i-FV-2021.pdf#page=153 (access date 20.12.2025) [in Ukrainian].

Bell, M., Ghatora, R., Retsidou, M.I., Chatzigianni, E.E., & Klentrou, P. (2023). Energy expenditure, dietary energy intake, and nutritional supplements in adolescent volleyball athletes versus nonathletic controls. *Nutrients*, 15(7), 1788. https://doi.org/10.3390/nu15071788 [in English].

Du, H., Liu, S., Li, M., Zhao, K., Jiang, W., You, T., Wang, Z., Zou, D., Shu, J., & Liu, C. (2025). Effects of Nutritional Supplements on Explosive Lower Limb Performance in Volleyball Players: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Nutrients,* 17(23), 3702. https://doi.org/10.3390/nu17233702 [in English].

Mielgo-Ayuso, J., Zourdos, M., Calleja-González, J., Urdampilleta, A., & Ostojic, S. (2015). Dietary intake habits and controlled training on body composition and strength in elite female volleyball players during the season. *Appl Physiol Nutr Metab,* 40(8), 827–834. https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0100 [in English].

Nugroho, M.H.D., Sukarmin, Y., & Suhartini, B. (2023). Fulfillment of Nutrition Intake of Volleyball Athletes to Achieve Achievement: A Systematic Review. *International journal of multidisciplinary research and analysis,* 06(05), 2279–2284. https://doi.org/10.47191/ijmra/v6-i5-56 [in English].

Thomas, D.T., Erdman, K.A., & Burke, L.M. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics,* 116(3), 501–528. https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006 [in English].

Valliant, M.W., Emplaincourt, H.P., Wenzel, R.K., & Garner, B.H. (2012). Nutrition education by a registered dietitian improves dietary intake and nutrition knowledge of a NCAA female volleyball team. *Nutrients*, 4(6), 506–516. https://doi.org/10.3390/nu4060506 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 636.2-053.2.061:591.5
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.4

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ТА ДИНАМІКИ РІВНЯ КОРТИЗОЛУ У ТЕЛЯТ ІЗ РІЗНОЮ РЕАКЦІЄЮ НА СТРЕС

М. А. Вінтонів[1]

Стрес у сільськогосподарських тварин призводять до погіршення показників продуктивності, загальної життєздатності, а також суттєво впливає на якість отриманої продукції. Питання добробуту тварин є актуальним і потребує поглибленого вивчення для запобігання хронічним стресовим навантаженням.
Метою досліджень було – виявлення особливостей росту та динаміки стресової реакції у телят із різною реакцією на стрес
Дослідження проведені у стаді дослідного господарства «Шевченківське» на телятах української чорно-рябої молочної породи. Для типізації телят за ознакою чутливості до стресу проводили еозинофільний тест, що враховує кількість еозинофільних клітин у зразках крові телят. Показано наявність негативного впливу стресу на ріст телят. Протягом всього періоду вирощування спостерігали тенденцію переважання стресостійких телят за живою масою. Ця різниця з віком поступово зростала, досягаючи статистично значущого рівня у віці 12 місяців (+19 кг, P < 0,05). Різниця між показниками абсолютного приросту живої маси між групами телят різного стрес-статусу була статистично значущою (P < 0,05) у період 3,1–6,0 місяців. За показником середньодобового приросту живої маси стресостійкі телиці переважали ровесниць. Із віком різниця за цим показником зростала з 18 до 51 г. У період 9,1–12,0 місяців міжгрупова різниця за цим показником була статистично значущою (P < 0,05).
Для дослідження особливостей адаптаційної здатності визначали тривалість прояву стресової реакції у телят після експериментально індукованого стресу (перегонка телят в інше приміщення). Базовий (середній перед стресовим впливом) рівень кортизолу в сироватці був більший у групі стресчутливих телят (18,0±2,59 нг/мл) порівняно з групою стресостійких (12,2±2,21 нг/мл). Рівень кортизолу у сироватці телиць різко вірогідно (P < 0,001) збільшується через 30 хвилин після дії стресора. Надалі рівень кортизолу поступово зменшується до базового: через 60 хвилин – на 52 % і 59 % по групі стресостійких і стресочутливих телят відповідно. Для групи стресостійких телят спостерігається більш швидке відновлення базового рівня кортизолу (за 2 години) поріняно зі стресочутливими (12 годин).
Отримані дані щодо динаміки рівня кортизолу у двох групах телят демонструє особливості розвитку і затухання стресової реакції, що є актуальним для визначення рівня адаптаційної здатності тварин. Саме тому визначення індивідуальної реакції та тривалість порушення гомеостазу у відповідь на дію стресора за використання біомаркерів має практичне значення для раннього визначення та типізації телят за чутливістю до стресу.
Диференціація телиць за результатами еозинофільного тесту у ранньому віці має зв'язок із рівнем кортизолу у сироватці крові. Наявність індивідуальної мінливості за ознакою чутливості до стресового навантаження потребує подальших досліджень і може бути основою для селекції молодняку за ознакою стійкості до стресу.

Ключові слова: *українська чорно-ряба молочна порода, телиця, стресостійкість, стресочутливість.*

[1] здобувач ступеня доктора філософії
(Інститут розведення і генетики тварин імені М.В.Зубця НААН, с. Чубинське, Київська область)
e-mail: mikola.vintoniv@ukr.net
ORCID: 0009-0005-3230-736X

DYNAMICS OF CORTISOL LEVELS IN CALVES AFTER THE END OF THE DURATION OF THE STRESSOR

M. A. Vintoniv

Stress in farm animals leads to a deterioration in productivity, overall viability, and also significantly affects the quality of the resulting products. The issue of animal welfare is relevant and requires in-depth study to prevent chronic stress.
The aim of the research was to identify the characteristics of growth and dynamics of stress response in calves with different reactions to stress.
The research was conducted in the herd of the Shevchenkivske research farm on calves of the Ukrainian Black-and-White dairy breed aged 2 months. To type calves according to the sign of sensitivity to stress, an eosinophilic test was performed, which takes into account the number of eosinophilic cells in blood samples of calves.
The negative impact of stress on calf growth was shown. Throughout the entire growing period, a tendency towards the predominance of stress-resistant calves in terms of live weight was observed. This difference gradually increased with age, reaching a statistically significant level at the age of 12 months (+19 kg, P < 0.05).
The difference between the absolute live weight gain indicators between groups of calves of different stress status was statistically significant (P < 0.05) in the period of 3.1–6.0 months. In terms of the average daily live weight gain, stress-resistant heifers were superior to their peers. With age, the difference in this indicator increased from 18 to 51 g. In the period of 9.1–12.0 months, the between-group difference in this indicator was statistically significant (P < 0.05).
To study the features of the adaptive ability of calves, the duration of the manifestation of the stress reaction in calves after experimentally induced stress (moving calves to another room) was determined. The baseline (average before stress exposure) serum cortisol level was higher in the group of stress-sensitive calves (18.0±2.59 ng/ml) compared to the stress-resistant group (12.2±2.21 ng/ml). The serum cortisol level of heifers sharply and significantly (P<0.001) increases 30 minutes after stress. Subsequently, the cortisol level gradually decreases to baseline: after 60 minutes – by 52% and 59%; for the group of stress-resistant and stress-sensitive calves, respectively. For the group of stress-resistant calves, a faster recovery of the baseline cortisol level is observed (in 2 hours) compared to the stress-sensitive (12 hours). The obtained data on the dynamics of the cortisol level in the two groups of calves demonstrate the peculiarities of the development and attenuation of the stress reaction, which is relevant for determining the level of adaptive capacity of animals. That is why the determination of the individual reaction and duration of homeostasis disturbance in response to the stressor using biomarkers is of practical importance for early identification and typing of calves according to their sensitivity to stress.
Differentiation of heifers according to the results of the eosinophil test at an early age is related to the level of cortisol in the blood serum. The presence of individual variability according to the sign of sensitivity to stress requires further research and may be the basis for the selection of young animals according to the sign of stress resistance.

Key words: *Ukrainian Black-and-White dairy breed, heifer, stress resistance, stress sensitivity.*

Вступ

Сільськогосподарські тварини піддаються впливу різних чинників (біотичних, абіотичних), що потенційно можуть викликати стресове навантаження. У сучасному тваринництві стрес визначають як мобілізацію фізіологічних резервів у відповідь на зовнішні чи внутрішні фактори, що викликають зміни в нейроендокринних, імунних та метаболічних системах живого організму (Грабовський, 2012; Bova et al., 2014; Brandl et al., 2022; Lazzari et al., 2024; Lovarelli et al., 2024). Постійний вплив стресових факторів може супроводжуватись негативними наслідками для організму тварин: зниженням загальної життєздатності (Маковська та ін., 2016), інтенсивності росту (Черненко, 2011; Маковська і Чулков, 2020; Masmeijer et al., 2021), репродуктивної здатності (Ruttle et al., 2015; Fernandez-Novo et al., 2020; da Silva et al., 2023). У багатьох дослдження показано (Hedlund & Lovlie, 2015; Bewley et al., 2017; Стовбецька та ін., 2021; Koenneker et al., 2023; Nielsen et al., 2023; Razzaghi et al., 2023), що підтримання достатнього рівня добробуту і зниження рівня стресових чинників для тварин у промислових підприємствах є обов'язковою умовою реалізації їх генетичного потенціалу за господарськи корисними ознаками.

Реакція на стрес є генетично зумовленою ознакою, яка характеризується індивідуальною мінливістю (Becker et al., 2020; Eisen et al., 2024). Тому дослідження індивідуальної реакції на стресор та динаміки біомаркерів

після завершення дії стресора є актуальним з наукової точки зору, а також має практичне значення для селекції. Дослідження зв'язку рівня чутливості до стресу у молодняку з динамікою рівня кортизолу у сироватці є актуальним з практичної точки зору, оскільки саме у ранньому онтогенезі формуються фізіологічні основи продуктивності і можлива індивідуальна селекція молодняку за ознакою стресостійкості (Collier et al., 2017; Van der Laan et al., 2022).

У молочної худоби, як і в інших сільськогосподарських тварин, реакція на стрес включає складні фізіологічні адаптації, що охоплюють нейроендокринну, імунну та метаболічну системи (Jurkovich et al., 2024), вказуючи на рівень добробуту тварин (Moberg, 2000). Відповідь на вплив стресових факторів супроводжується каскадом нейрогуморальних змін на рівні всіх систем організму тварини (Tiemann et al., 2023). Глюкокортикоїдний гормон кортизол часто пов'язують зі стресом, оскільки його концентрація у крові значно підвищується за наявності стресових умов (Van Reenen et al., 2005; Bristow & Holmes, 2007; Bova et al., 2014; Lee et al., 2015; Chebel et al., 2016; Grelet et al., 2022). Гематологічні показники, як частина адаптаційної відповіді, також відіграють важливу роль у визначенні рівня стресостійкості. Зокрема, у молочних корів виявлено, що тварини з високою стресостійкістю мають більш стабільні біохімічні профілі крові, що може бути використано як маркер адаптації (Finkemeier et al., 2018). Це узгоджується з даними щодо природної резистентності молочної худоби, де гематологічні параметри відображують загальний стан організму та його здатність протистояти стресорам (Osorio, 2020; Cartwright et al., 2021). Досліджувався вплив рівня годівлі і утримання на рівень чутливості до стресу у телят. У той же час, літературні дані щодо дослідження стресової реакції у молодняку обмежені. Дослідження динаміки біомаркерів та типізація телят за чутливістю до стресу має практичне значення для контролю вирощування та селекційної роботи.

Метою досліджень було виявлення особливостей росту та динаміки стресової реакції у телят з різною реакцією на стрес

Матеріал і методи

Дослідження проводилися у стаді української чорно-рябої молочної породи Державного підприємства дослідного господарства «Шевченківське» (Київська область) на телятах (n=112).

Для вивчення динаміки росту телят у період від народження до 12 місяців використовували дані первинного зоотехнічного обліку в господарстві. Визначали показники абсолютного, середньодобового приростів при використанні результатів контрольного зважування.

Гематологічні дослідження проводились за загальноприйнятими методиками. Для типізації телят за ознакою чутливості до стресу у віці два місяці проводили еозинофільний тест, що враховує кількість еозинофільних клітин у зразках крові телят після впливу стресового чинника. Стрес-статус визначали за відхиленням від середньої кількості еозинофілів в 1 мл крові у дослідній групі. При класифікації телят за типом стійкості до стресу тварин розподіляли за таким принципом: до стресостійких відносили тих, що мають вміст еозинофільних клітин вищий за середнє по досліджуваній вибірці, а до стресочутливих – нижчий за середній показник (Зубець та ін., 1999). Для вимірювання рівня кортизолу у сироватці крові відбирали групу телят (11 стресочутливих, 12 стресостійких), серед яких було 12 телиць і 11 бичків. Використовували імуноферментний аналізатор (Stat Fax 4700, США) та стандартний набор для кількісного визначення кортизолу (DRG, Німеччина). Рівень кортизолу у сироватці крові визначали до впливу стресового чинника (базовий рівень), через 30 хвилин, 60 хвилин, 120 хвилин, 12 годин після впливу стресора.

Статистичну обробку даних проведено за використання програми Statistica Statistica 13.6.0 (StatSoft). Вірогідність різниці між показниками оцінювали за критерієм Ст'юдента, враховуючи три рівні значущості ($P < 0,05$, $P < 0,01$ та $P < 0,001$).

Результати та їх обговорення

Встановлено, що у дослідній групі телят наступні середні показники – жива маса новонароджених телят (35,1±0,31 кг), жива маса телят у віці 2 місяці (53,4±0,82 кг), середня кількість лейкоцитів (11,3±0,38 тис./мкл), еозинофілів (24,7±3,51 кл/мкл) та еритроцитів (7,1±0,23 млн/мкл) знаходились в межах вікової фізіологічної норми. Отже, тварини, що використовувалися у дослідженнях, були клінічно здоровими і мали фізіологічні показники росту.

За результатами еозинофільного тесту у віці два місяці телиці були диференційовані за ознакою чутливості до стресу, що визначалась через мінливість кількості еозинофілів 1 мкл крові після впливу стре-

сора. Виявлена індивідуальна мінливість за цією ознакою стала в основі розподілу тварин на групи (стресочутливі, стресостійкі). У загальній групі телят було виявлено 56,5% стресостійких особин, 43,5% – стресочутливих. Різниця за вмістом еозинофілів в крові між групами стресостійких та стресочутливих телят (21,3±2,01 та 27,4±2,09, відповідно) була достовірною (P < 0,05).

Аналіз динамки росту живої маси телят з різним стрес-статусом впродовж періоду вирощування показав, що тварини віднесені до стресостійких, переважали тих, що виявилися менш стійкими до стресу, за живою масою при народженні на 0,7 кг (рис. 1).

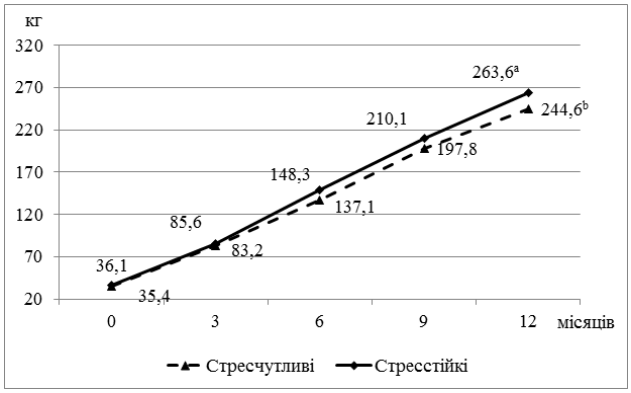


Рис. 1. Динаміка живої маси телят з різним стрес-статусом

Примітка: a:b – P < 0,05. Тут та далі різні суперскрипти вказують на вірогідну різницю.

У віці трьох і шести місяців також спостерігали перевагу за живою масою у стресостійких телят – на 2,4 кг і 11,2 кг, відповідно. При аналізі подальшого росту живої маси телят обох дослідних груп у період від 9 місяців до 12 місяців, спостерігали стабільну перевагу стресостійких тварин за живою масою. У цьому віці (9 та 12 місяців) стресостійкі телята переважали стресочутливих за живою масою на 12,3 кг та 19,0 кг, відповідно. Різниця за живою масою між середніми показниками по групі була достовірною (P < 0,05) при порівнянні живої маси стресостійких та стресочутливих телят у віці 12 місяців (263,6±6,3кг та 244,6±5,7кг, відповідно), для інших вікових груп статистично значущої різниці не спостерігали.

Таким чином, встановлено, що різниця за живою масою між стресостійкими та стресочутливими телятами поступово зростає з віком та стає найбільшою (19 кг) і та вірогідною (P < 0,05).

Досліджували динаміку абсолютного приросту живої маси телят з урахуванням їх розподілу за типом реакції на стрес. Впродовж всіх вікових періодів стресостійкі телята переважали стресочутливих за цим показником (від 2,8 до 7,5 кг залежно від вікового періоду (табл. 1). Різниця за показниками абсолютного приросту живої маси між групами телят різного стрес-статусу була статистично значущою (P < 0,05) лише у період 3,1–6,0 місяців, для інших періодів різниця була невірогідною.

Таблиця 1

Динаміка абсолютного приросту живої маси (кг) телят з різним стрес-статусом

Вік, місяців	Стресо-чутливі	Стресостійкі	Різниця, кг
0–3,0	47,9±1,9	50,3±1,6	+2,8
3,1–6,0	55,3±2,2[a]	62,8±2,3[b]	+7,5
6,1–9,0	59,7±2,4	63,1±2,8	+3,4
9,1–12,0	48,7±3,3	53,9±3,2	+5,2

Примітка: b:a – P < 0,05.

За показником середньодобового приросту живої маси спостерігали поступове зростання переваги стресостійких телят над стресочутливими від 18 до 51 г залежно від певного вікового періоду (табл. 2). Протягом всього періоду спостережень, лише у період 9,1–12,0 місяців, міжгрупова різниця за цим показником була статистично значущою (P < 0,05). У інші вікові періоди ця різниця була невірогідною.

Таблиця 2

Динаміка середньодобового приросту (г) телят

Вік, місяців	Стресо-чутливі	Стресо-стійкі	Різниця, г
0–3,0	517±21,9	535±23,5	+18
3,1–6,0	649±23,4	681±32,7	+32
6,1–9,0	652±23,7	692±25,9	+40
9,1–12,0	661±17,7[a]	712±18,2[b]	+51

Примітка: b:a – P < 0,05.

Таким чином, підтверджено існування зв'язку між рівнем реакції на стрес та показниками росту у молодняку, що встановлений у дослідженнях інших науковців (Черненко, 2011; Грабовський, 2012; Гайдей, 2012; Волощук та ін., 2015; Маковська і Чулков, 2020; Левченко, 2020).

Отримані нами дані кореспондуються з даними інших дослідників, що встановили більшу інтенсивність росту у стресостійких телиць (Черненко, 2011), що важливо для майбутної молочної продуктивності.

Підтверджено у дослідженнях (Маковська і Чулков, 2020) на первістках української чорно-рябої молочної породи, що тварини, які у ранньому віці були оцінені як стресостійкі, продемонстрували достовірно вищий рівень надою за 305 днів першої лактації. Отже, дослідження ступеня реакції тварин на стрес у ранньому віці має практичне значення і потребує поглибленого вивчення.

Відомо (Bristow & Holmes, 2007; Tiemann et al., 2023), що каскад нейрогуморальних реакцій під час короткотривалого стресу може призводити до поведінкових змін у тварин, формуючи адаптивну поведінку для збереження гомеостазу (Sun et al., 2022; Ginger et al., 2023). У той же час, хронічний стрес або порушення у системі адаптації можуть призводити до зниження життєздатності і продуктивних ознак (Eberhard von Borell et al., 2007; Thompson-Crispi et al., 2012; Левченко, 2020). Етологічні прояви у стресових умовах можуть бути не чітко виражені або спотворені впливом інших чинників (Ruttle et al., 2015; Ginger et al., 2023; Kness et al., 2023; Davis et al., 2023). Саме тому визначення індивідуальної реакції та тривалість порушення гомеостазу у відповідь на дію стресора за використання біомаркерів має практичне значення для раннього визначення та типізації телят за чутливістю до стресу.

Кортизол – ключовий медіатор гормональної відповіді організму на стресовий вплив, він відіграє провідну роль у формуванні адаптаційної відповіді організму (Lee et al., 2015; Chebel et al., 2016; Grelet et al., 2022). Відомо, що на рівень добробуту сільськогосподарських тварин впливають низка чинників, у тому числі не лише технологічні, а й соціальні фактори групової поведінки (Proudfoot et al., 2018). Доведено (Foris et al., 2021; Jurkovich et al., 2024), що перегрупування у процесі стандартного управління стадом викликає у тварин стресову реакцію.

Для дослідження особливостей стресової реакції у телят (динаміки рівня кортизолу у сироватці після експериментального стресового впливу). була сформована репрезентативна вибіркова група (n=23). У якості стресового чинника використовували перегонку телят у інше приміщення (протягом 20 хвилин спонукали тварин до руху з використанням звуків).

Встановлено, що базовий (перед стресовим впливом) середній по виборці рівень кортизолу в сироватці становив 16,3±2,04 нг/мл. Базовий рівень кортизолу був більший у групі стресочутливих телят (18,0±2,59 нг/мл) порівняно з групою стресостійких (12,2±2,21 нг/мл) (рис. 2). Різниця між дослідними групами не була статистично значущою, але спостерігалась тенденція до наближення до вірогідної.

Через 30 хвилин після впливу стресового фактору спостерігали різке статистично значуще ($P < 0,001$) збільшення рівня кортизолу порівняно до базового рівня в сироватці крові у телят в обох дослідних групах (стресочутливі – 58,4±4,12 нг/мл та, стресостійкі – 36,0±3,93 нг/мл, відповідно), що відображає фізіологічну реакцію організму на вплив стресового чинника. Проте, варто зазначити, що середній рівень кортизолу у сироватці крові у даному випадку для групи стресостійких телят був на 22,4 нм/мл вірогідно ($P < 0,001$) нижчим, ніж середній рівень у групі стресочутливих телят.

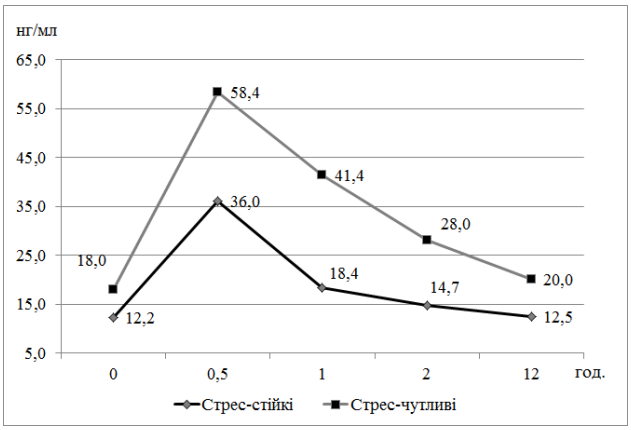


Рис. 2. Динаміка рівня кортизолу у сироватці телят різних дослідних груп протягом 12 годин після впливу стресового фактору

Через 60 хвилин після дії стресового чинника спостерігали також вірогідну ($P < 0,001$) різницю у рівні кортизолу в сироватці тварин з різним стрес-статусом (стресочутливі – 41,4±2,93 нг/мл та, стресостійкі – 18,4±3,01 нг/мл, відповідно). Встановлено, що зниження рівня кортизолу у сироватці крові телят відбувалося нерівномірно для двох груп телят – у період від максимального підвищення кортизолу (30 хвилин після впливу стресора) до 60 хвилин після впливу стресора зниження концентрації кортизолу для групи стресостійких тварин склало 49%, тоді як у групі стресочутливих телят – 29%. Варто зазначити, що якщо для групи стресостійких телят різниця між базовим рівнем

кортизолу в сироватці та через годину після стресу лише наближалась до вірогідної, то для групи стресочутливих телят ця різниця залишалася статистично значущою (P < 0,001).

Через 2 години після дії стресорного чинника спостерігали вірогідну (P < 0,05) різницю у рівня кортизолу в сироватці між дослідними групам (стресочутливі – 28,0±3,03 нг/мл та, стресостійкі – 14,7±2,56 нг/мл, відповідно). Через 60 хвилин після впливу стресора середній рівень кортизолу у групі стресочутливих телят знизився на 52%, а у групі стресостійких зниження рівня відбувалося швидше (на 59%) порівняно до показника максимального рівня кортизолу (через 30 хвилин після впливу стресора). Для групи стресостійких телят не встановлено статистично значущої різниці між концентрацією кортизолу у сироватці крові через 2 години після впливу стресора і її базовим рівнем. У групі стресочутливих телят ця різниця (10нг/мл) була достовірною (P < 0,05).

Через 12 годин після впливу стресового чинника не було встановлено статистично значущої різниці за показником концентрації кортизолу у сироватці крові як між дослідними групами так і порівняно з базовим рівнем кортизолу в сироватці для обох груп телят. У групі стресостійких телиць спостерігали концентрацію кортизолу подібну до базової (до дії стресора – 12,5 нг/мл). У середньому по групі стресочутливих телят спостерігали дещо вищий від базового рівень (на 2 нг/мл), проте ця різниця не була статистично значущою.

Отримані дані щодо динаміки рівня кортизолу у двох групах телят демонструє особливості розвитку стресової реакції та особливості її затухання. Процес розвитку стресу підпорядкований біологічним закономірностям і супроводжується зміною рівня кортизолу в крові (Moberg, 2000; Tiemann et al., 2023), проте наявність різної інтенсивності прояву такої реакції, а також відмінності у швидкості затухання, створюють підґрунтя для використання кортизолу як біомаркера стресу у певні часові проміжки після короткотривалого стресового впливу. Більш повільне затухання стресової реакції у групі стресочутливих телят вказує на знижену здатність до реалізації механізмів адаптації (Moberg, 2000; Thompson-Crispi et al., 2012). Можна зробити припущення, що порушення адаптаційної здатності у ранньому віці може спричиняти порушення росту, розвитку, прояву продуктивних ознак, а також загальної резистентності організму тварин.

Перспективу подальших досліджень визначає необхідність виявлення співвідносної мінливості ознак загальної життєстійкості, продуктивних ознак та рівня стресостійкості, виявлення механізмів успадкування чутливості до стресу.

Висновки

Диференціація телиць за результатами еозинофільного тесту у ранньому віці має зв'язок із рівнем кортизолу у сироватці крові та особливостями росту молодняку.

Протягом всього періоду вирощування спостерігали тенденцію переважання стресостійких телят за живою масою. Ця різниця з віком поступово зростала, досягаючи статистично значущого рівня у віці 12 місяців (+19 кг, P < 0,05).

Різниця між показниками абсолютного приросту живої маси між групами телят різного стрес-статуса була статистично значущою (P < 0,05) у період 3,1–6,0 місяців. За показником середньодобового приросту живої маси стресостійкі телиці переважали ровесниць. З віком різниця за цим показником зростала з 18 до 51 г. У період 9,1–12,0 місяців, між групова різниця за цим показником була статистично значущою (P < 0,05).

Рівень кортизолу у сироватці телят вірогідно (P < 0,001) збільшується і досягає максимального значення через 30 хвилин після дії стресора. Подальше зниження рівня кортизолу спостерігається нерівномірно: через 60 хвилин – на 52 % і 59 %; по групі стресочутливих і стресостійких телят, відповідно. Для групи стресостійких телят спостерігається більш швидке відновлення базового рівня кортизолу (через 2 години) порівняно з стресочутливими (понад 12 годин).

Наявність індивідуальної мінливості за ознакою чутливості до стресового навантаження потребує подальших досліджень і може бути основою для селекції молодняку.

Список використаної літератури

Волощук В. М., Іванов В. О., Погрібна Н. М. М'ясні якості кнурців різного рівня стрес-схильності. *Вісник аграрної науки Причорномор'я.* 2015. №1. С. 166–170.

Гайдей О.С. Стрес (наукові дослідження). К : ІРГТ, 2012.108с.

Грабовський С. С. Стреси сільськогосподарських тварин та його наслідки. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького.* 2012. Т. 14. №32 (53). Ч. 2. С. 47–58.

Зубець М.В., Буркат В.П., Єфіменко М.Я., Подоба Б.Є. Генетико-селекційний моніторинг у молочному скотарстві. Київ : Аграрна наука, 1999. 88с.

Левченко І.С. Вплив факторів технологічного стресу на продуктивність сільськогосподарських тварин. *Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: зимові диспути: тези доп. І Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 6-7 лютого 2020 р.* Дніпро, 2020. Т. 2. С. 54–57.

Маковська Н. М., Бірюкова О.Д., Бодряшова К.В. Комплексне оцінювання резистентності та стресостійкості телят. *Розведення і генетики тварин.* 2016. Вип. 51. С. 101–106.

Маковська Н.М., Чулков С.А. Зв'язок природної стійкості до хвороб та стресу з господарськи корисними ознаками молочної худоби. *Розведення і генетики тварин.* 2020. Вип. 60. С. 54–60. https://doi.org/10.31073/abg.60.07

Стовбецька Л.С., Порошинська О.А., Ніщеменко М.П., Шмаюн С.С., Ємельяненко А.А., Козій В.І. Вплив стресу на продуктивність та фізіологічні функції свиней. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Ґжицького. Серія: Ветеринарні науки.* 2021. Т. 23. № 102. С. 14–23. https://doi.org/10.32718/nvlvet10203

Черненко О.М. Ріст і розвиток та стресостійкість голштинських корів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького.* 2011. Вип. 13. № 2–2 (48). С. 173–177.

Becker C.A., Collier R.J., Stone A.E. Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2020. Vol.103. Issue8. PP. 6751–6770. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929.

Bewley J.M., Robertson L.M., Eckelkamp E.A. A 100-Year Review: Lactating Dairy Cattle Housing Management. *J. Dairy Sci.* 2017. Vol. 100. PP. 10418–10431. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13251

Bova T.L., Chiavaccini L., Cline G.F., Hart C.G., Matheny K., Muth A.M., Voelz B.E., Kesler D., Memili E. Environmental stressors influencing hormones and systems physiology in cattle. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2014. Vol.12. P.58. https://doi.org/10.1186/1477-7827-12-58.

Brandl H.B., Pruessner J. C., Farine D. R. The social transmission of stress in animal collectives. *Proc Biol Sci.* 2022. Vol. 289. Issue1974. e20212158. https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2158

Bristow D.J., Holmes D.S. Cortisol levels and anxiety-related behaviors in cattle. *Physiol. Behav.* 2007. Vol. 90. Issue 4. PP. 626–628. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.11.015.

Cartwright S.L., McKechnie M., Schmied J., Livernois A.M., Mallard B.A. Effect of in-vitro heat stress challenge on the function of blood mononuclear cells from dairy cattle ranked as high, aVverage and low immune responders. *BMC Vet Res.* 2021. Vol.17. Issue1. P. 233. https://doi.org/10.1186/s12917-021-02940-8.

Chebel R.C., Silva P.R.B., Endres M.I., Ballou M.A., Luchterhand K.L. Social stressors and their effects on immunity and health of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2016. Vol.99. Issue 4. PP. 3217–3228. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10369

Collier R.J., Beede D.K., Thatcher W.W. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science.* 2017. Vol. 100. PP. 1–32. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11323.

da Silva W.C., da Silva J.A.R.. Camargo-Júnior R.N.C., da Silva É.B.R., Dos Santos M.R.P., Viana R.B., Silva A.G.M.E., da Silva C.M.G., Lourenço-Júnior J.B. Animal welfare and effects of per-female stress on male and cattle reproduction-A review. *Front. Vet. Sci.* 2023. Vol. 10. e1083469. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1083469

Davis L., French E.A., Aguerre M.J., Ali, A. Impact of parity on cow stress, behavior, and production at a farm withguided traffic automatic milking system. *Front. Anim. Sci.* 2023. Vol. 4. e1258935. https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1258935

Eberhard von Borell, Dobson H., Prunier A. Stress, behaviour and reproductive performance in female cattle and pigs. *Hormones and Behavior.* 2007. Vol. 52. Issue 1. PP. 130–138. https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.014

Eisen A.M., Bratman G.N., Olvera-Alvarez H.A. Susceptibility to stress and nature exposure: Unveiling differential susceptibility to physical environments; a randomized controlled trial. *PLoS One.* 2024. Vol.19. Issue 4. e0301473. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301473

Fernandez-Novo A., Pérez-Garnelo S.S., Villagrá A., Pérez-Villalobos N., Astiz S. The Effect of Stress on Reproduction and Reproductive Technologies in Beef Cattle-A Review. *Animals*. 2020. Vol. 10. e2096. https://doi.org/10.3390/ani10112096

Finkemeier M.-A., Langbein J., Puppe B. Personality Research in Mammalian Farm Animals: Concepts, Measures, and Relationship to Welfare. *Front. Vet. Sci*. 2018. Vol.5. P.131. https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00131

Foris B., Haas H.G., Langbein J., Melzer N. Familiarity influences social networks in dairy cows after regrouping. *J. Dairy Sci*. 2021. Vol.104. PP. 3485–3494. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18896

Ginger L., Ledoux D., Bouchon M., Rautenbach I., Bagnard C., Lurier T., Foucras G., Germon P., Durand D., de Boyer des Roches A. Using behavioral observations in freestalls and at milking to improve pain detection in dairy cows after lipopolysaccharide-induced clinical mastitis. *J. Dairy Sci*. 2023. Vol. 106. PP. 5606–5625. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22533

Grelet C., Vanden Dries V., Leblois J. Identification of chronic stress biomarkers in dairy. *Animal*. 2022. Vol.16. e100502. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100502.

Hedlund L., Lovlie H. Personality and production: Nervous cows produce less milk. *J. Dairy Sci*. 2015. Vol.98. PP. 5819–5828. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8667

Jurkovich V., Hejel P., Kovács L. A Review of the Effects of Stress on Dairy Cattle Behaviour. *Animals (Basel).* 2024. Vol.14. Issue 14. a2038. https://doi.org/10.3390/ani14142038.

Kness D., Grandin T., Velez J., Godoy J., Manríquez D., Garry F., Pinedo P. Patterns of milking unit kick-off as a proxy for habituation to milking in primiparous cows. *JDS Commun*. 2023. Vol. 4. PP. 385–389. https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0384

Koenneker K., Wagener K., Erhard M. Comparative assessment of the stress response of cattle to common dairy management practices. *Animals*. 2023. Vol.13. Issue 3. a2115. https://doi.org/10.3390/ani13132115.

Lazzari J., Isola J.V.V., Szambelan V.L., Menegazzi G., Busanello M., Rovani M.T., Sarubbi J., Schmitt E., Ferreira R., Gonçalves P.B.D. Thermoregulatory Response of Black or Red Lactating Holstein Cows in the Hot and Cold Season in Southern Brazil. *J. Therm. Biol*. 2024. Vol.121. a103833. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103833

Lee D.Y., Kim E., Choi M.H. Technical and clinical aspects of cortisol as a biochemical marker of chronic stress. *BMB Reports*. 2015. Vol.48. PP. 209–216. https://doi.org/10.5483/bmbrep.2015.48.4.275

Lovarelli D., Minozzi G., Arazi A., Guarino M., Tiezzi F. Effect of extended heat stress in dairy cows on productive and behavioral traits. *Animals*. 2024. Vol.18. a101089. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101089

Masmeijer Ch., Deprez P., Van Leenen K., De Cremer L., Cox E., Devriendt B., Pardon B. Arrival cortisol measurement in veal calves and its association with body weight, protein fractions, animal health and performance. *Preventive Veterinary Medicine. 2021.* Vol. 187. a105251. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105251.

Moberg G.P. Biological response to stress: Implications for animal welfare. In The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare; Moberg G.P., Mench J.A.(Eds.). CAB International Publishing: New York, USA. 2000. PP. 1–21.

Nielsen S.S., Alvarez J., Bicout D. J., Calistri P., Canali E., Drewe J. A. Welfare of dairy cows. EFSA Panel on Animal Health and Animal Welfare (AHAW). *EFSA Jornal.* 2023. Vol.21. Issue 5. e07993. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7993

Osorio J.S. Gut health, stress, and immunity in neonatal dairy calves: the host side of host-pathogen interactions. *Journal of Animal Science and Biotechnology.* 2020. Vol.11. a105. https://doi.org/10.1186/s40104-020-00509-3

Proudfoot K.L., Weary D.M., LeBlanc S.J., Mamedova L.K., von Keyserlingk M.A.G. Exposure to an unpredictable and competitive social environment affects behavior and health of transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2018. Vol.101. PP. 9309–9320. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14115

Razzaghi A., Ghaffari M.H., Rico D.E. The impact of environmental and nutritional stresses on milk fat synthesis in dairy cows. *Domest Anim Endocrinol*. 2023. Vol.83. a106784. https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2022.106784.

Ruttle P.L., Shirtcliff E.A., Armstrong J.M., Klein M.H., Essex M.J. Neuroendocrine coupling across adolescence and the longitudinal influence of early life stress. *Dev Psychobiol.* 2015. Vol. 57. Issue 6. PP. 688–704. https://doi.org/10.1002/dev.21138.

Sun F., Zhao Q., Chen X., Zhao G., Gu X. Physiological Indicators and Production Performance of Dairy Cows with Tongue Rolling Stereotyped Behavior. *Front. Vet. Sci.* 2022. Vol.9. a840726. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.840726

Thompson-Crispi K.A., Sewalem A., Miglior F. Genetic parameters of adaptive immune response traits in Canadian Holsteins *J. Dairy Sci.* 2012. Vol.95. PP. 401–409. https://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4452.

Tiemann I., Fijn L.B., Bagaria M., Langen E.M.A., Van der Staay F.J., Arndt S.S., Leenaars C., Goerlich V.C. Glucocorticoids in relation to behavior, morphology, and physiology as proxy indicators for the assessment of animal welfare. A systematic mapping review. *Front. Vet. Sci.* 2023. Vol. 9. a954607. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.954607

Van der Laan J.E., Vinke C.M. & Arndt S.S. Evaluation of hair cortisol as an indicator of long-term stress responses in dogs in an animal shelter and after subsequent adoption. *Sci Rep.* 2022. Vol.12. a5117. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09140-w.

Van Reenen C.G., Hopster H., De Jong I.C. Responses of calves to acute stress: individual consistency and habituation. *Physiology & Behavior*. 2005. Vol.86. PP. 57–67. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.06.015.

References

Voloshchuk, V.M., Ivanov, V.O., & Pohribna, N.M. (2015). Miasni yakosti knurtsiv riznoho rivnia stres-skhylnosti [Meat qualities of boars with different levels of stress susceptibility]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria [Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region],* 1, 166–170 [in Ukrainian].

Haidai, O.S. (2012). Stres (naukovi doslidzhennia) [Stress (scientific research)]. Kyiv: IRGT [in Ukrainian].

Hrabovskyi, S.S. (2012). Stresy silskohospodarskykh tvaryn ta yoho naslidky [Stress in farm animals and its consequences]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho [Scientific Bulletin of the S.Z. Gzhytskyi Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology]*, 14, 32 (53), 47–58 [in Ukrainian].

Zubets, M.V., Burkat, V.P., Yefimenko, M.Ya., & Podoba, B.Ye. (1999). Henetyko-selektsiinyi monitorynh u molochnomu skotarstvi [Genetic and breeding monitoring in dairy cattle breeding]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].

Levchenko, I.S. (2020). Vplyv faktoriv tekhnolohichnoho stresu na produktyvnist silskohospodarskykh tvaryn [Influence of technological stress factors on the productivity of farm animals]. Intehratsiia osvity, nauky ta biznesu v suchasnomu seredovyshchi: zymovi dysputy [Integration of education, science and business in the modern environment: winter debates], tezy dop. I Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konferentsii, 6-7 liut. 2020. Dnipro, 54–57 [in Ukrainian].

Makovska, N.M., Biriukova, O.D., & Bodriashova, K.V. (2016). Kompleksne otsiniuvannia rezystentnosti ta stresostiikosti teliat [Comprehensive assessment of resistance and stress tolerance of calves]. *Rozvedennia i henetyka tvaryn [Breeding and genetics of animals]*, 51, 101–106 [in Ukrainian].

Makovska, N.M., & Chulkov, S.A. (2020). Zviazok pryrodnoi stiikosti do khvorob ta stresu z hospodarsky korysnymy oznakamy molochnoi khudoby [Relationship between natural resistance to diseases and stress and economically useful traits of dairy cattle]. *Rozvedennia i henetyka tvaryn [Breeding and genetics of animals]*, 60, 54–60. https://doi.org/10.31073/abg.60.07. [in Ukrainian].

Stovbetska, L.S., Poroshynska, O.A., Nishchemenko, M.P., Shmaiun, S.S., Yemelianenko, A.A., & Kozii, V.I. (2021). Vplyv stresu na produktyvnist ta fiziolohichni funktsii svynei [Effect of stress on productivity and physiological functions of pigs]. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhytskoho. Seriia: Veterynarni nauky [Scientific Bulletin of the S.Z. Gzhytskyi Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology]*, 23 (102), 14–23. https://doi.org/10.32718/nvlvet10203 [in Ukrainian].

Chernenko, O.M. (2011). Rist i rozvytok ta stresostiikist holshtynskykh koriv [Growth, development and stress resistance of Holstein cows]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho [Scientific Bulletin of the S.Z. Gzhytskyi Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology]*, 13, 2–2 (48), 173–177 [in Ukrainian].

Becker, C.A., Collier, R.J., & Stone, A.E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103 (8), 6751–6770. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929 [in English].

Bewley, J.M., Robertson, L.M., & Eckelkamp, E.A. (2017). A 100-Year Review: Lactating Dairy Cattle Housing Management. *Journal of Dairy Science*, 100, 10418–10431. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13251 [in English].

Bova, T.L., Chiavaccini, L., Cline, G.F., Hart, C.G., Matheny, K., Muth, A.M., Voelz, B.E., Kesler, D., & Memili, E. (2014). Environmental stressors influencing hormones and systems physiology in cattle. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 12, 58. https://doi.org/10.1186/1477-7827-12-58 [in English].

Brandl, H.B., Pruessner, J.C., & Farine, D.R. (2022). The social transmission of stress in animal collectives. *Proc Biol Sci.*, 289 (1974), e20212158. https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2158 [in English].

Bristow, D.J., & Holmes, D.S. (2007). Cortisol levels and anxiety-related behaviors in cattle. *Physiology & Behavior*, 90 (4), 626–628. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.11.015 [in English].

Cartwright, S.L., McKechnie, M., Schmied, J., Livernois, A.M., & Mallard, B.A. (2021). Effect of in-vitro heat stress challenge on the function of blood mononuclear cells from dairy cattle ranked as high, average and low immune responders. *BMC Veterinary Research*, 17 (1), 233 https://doi.org/10.1186/s12917-021-02940-8. [in English].

Chebel, R.C., Silva, P.R.B., Endres, M.I., Ballou, M.A., & Luchterhand, K.L. (2016). Social stressors and their effects on immunity and health of periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99 (4), 3217–3228. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10369 [in English].

Collier, R.J., Beede, D.K., & Thatcher, W.W. (2017). A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*, 100, 1–32. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11323 [in English].

da Silva, W.C., da Silva, J.A.R., Camargo-Júnior, R.N.C., da Silva, É.B.R., Dos Santos, M.R.P., Viana, R.B., Silva, A.G.M.E., da Silva, C.M.G., & Lourenço-Júnior, J.B. (2023). Animal welfare and effects of per-female stress on male and cattle reproduction – A review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, e1083469. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1083469 [in English].

Davis, L., French, E.A., Aguerre, M.J., & Ali, A. (2023). Impact of parity on cow stress, behavior, and production at a farm with guided traffic automatic milking system. *Frontiers in Animal Science*, 4, e1258935. https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1258935 [in English].

Eberhard von Borell, Dobson, H., & Prunier, A. (2007). Stress, behaviour and reproductive performance in female cattle and pigs. *Hormones and Behavior*, 52 (1), 130–138. https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.014 [in English].

Eisen, A.M., Bratman, G.N., & Olvera-Alvarez, H.A. (2024). Susceptibility to stress and nature exposure: unveiling differential susceptibility to physical environments. *PLoS ONE*, 19 (4), e0301473. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301473 [in English].

Fernandez-Novo, A., Pérez-Garnelo, S.S., Villagrá, A., Pérez-Villalobos, N., & Astiz, S. (2020). The effect of stress on reproduction and reproductive technologies in beef cattle – A review. *Animals,* 10, e2096. https://doi.org/10.3390/ani10112096. [in English].

Finkemeier, M.-A., Langbein, J., & Puppe, B. (2018). Personality research in mammalian farm animals: concepts, measures, and relationship to welfare. *Frontiers in Veterinary Science,* 5, 131. https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00131. [in English].

Foris, B., Haas, H.G., Langbein, J., & Melzer, N. (2021). Familiarity influences social networks in dairy cows after regrouping. *Journal of Dairy Science*, 104, 3485–3494. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18896 [in English].

Ginger, L., Ledoux, D., Bouchon, M., Rautenbach, I., Bagnard, C., Lurier, T., Foucras, G., Germon, P., Durand, D., & de Boyer des Roches, A. (2023). Using behavioral observations in freestalls and at milking to improve pain detection in dairy cows after lipopolysaccharide-induced clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 106, 5606–5625. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22533 [in English].

Grelet, C., Vanden Dries, V., & Leblois, J. (2022). Identification of chronic stress biomarkers in dairy. *Animal*, 16, e100502. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100502 [in English].

Hedlund, L., & Løvlie, H. (2015). Personality and production: Nervous cows produce less milk. *Journal of Dairy Science*, 98, 5819–5828. https://doi.org/10.3168/jds.2014-8667 [in English].

Jurkovich, V., Hejel, P., & Kovács, L. (2024). A review of the effects of stress on dairy cattle behaviour. *Animals*, 14 (14), a2038. https://doi.org/10.3390/ani14142038 [in English].

Kness, D., Grandin, T., Velez, J., Godoy, J., Manríquez, D., Garry, F., & Pinedo, P. (2023). Patterns of milking unit kick-off as a proxy for habituation to milking in primiparous cows. *JDS Communications*, 4, 385–389. https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0384 [in English].

Koenneker, K., Wagener, K., & Erhard, M. (2023). Comparative assessment of the stress response of cattle to common dairy management practices. *Animals*, 13 (3): a2115. https://doi.org/10.3390/ani13132115 [in English].

Lazzari, J., Isola, J.V.V., Szambelan, V.L., Menegazzi, G., Busanello, M., Rovani, M.T., Sarubbi, J., Schmitt, E., Ferreira, R., & Gonçalves, P.B.D. (2024). Thermoregulatory response of black or red lactating Holstein cows in the hot and cold season in Southern Brazil. *Journal of Thermal Biology*, 121, a103833. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103833 [in English].

Lee, D.Y., Kim, E., & Choi, M.H. (2015). Technical and clinical aspects of cortisol as a biochemical marker of chronic stress. *BMB Reports*, 48, 209–216. https://doi.org/10.5483/bmbrep.2015.48.4.275 [in English].

Lovarelli, D., Minozzi, G., Arazi, A., Guarino, M., & Tiezzi, F. (2024). Effect of extended heat stress in dairy cows on productive and behavioral traits. *Animal*, 18, a101089. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101089 [in English].

Masmeijer, Ch., Deprez, P., Van Leenen, K., De Cremer, L., Cox, E., Devriendt, B., & Pardon, B. (2020). Arrival cortisol measurement in veal calves and its association with body weight, protein fractions, animal health and performance. *Preventive Veterinary Medicine,* 187, a105251. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105251 [in English].

Moberg, G.P. (2000). Biological response to stress: Implications for animal welfare. In: The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare. Welfare; Moberg G.P., Mench J.A. (Eds.). CAB International Publishing: New York, USA. 2000, 1–21. [in English].

Nielsen, S.S., Alvarez, J., Bicout, D.J., Calistri, P., Canali, E., & Drewe, J.A. (2023). Welfare of dairy cows. *EFSA Journal*, 21(5), e07993. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7993 [in English].

Osorio, J.S. (2020). Gut health, stress, and immunity in neonatal dairy calves. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11, a105. https://doi.org/10.1186/s40104-020-00509-3 [in English].

Proudfoot, K.L., Weary, D.M., LeBlanc, S.J., Mamedova, L.K., & von Keyserlingk, M.A.G. (2018). Exposure to an unpredictable and competitive social environment affects behavior and health of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101, 9309–9320. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14115 [in English].

Razzaghi, A., Ghaffari, M.H., & Rico, D.E. (2023). The impact of environmental and nutritional stresses on milk fat synthesis in dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*, 83, a106784. https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2022.106784 [in English].

Ruttle, P.L., Shirtcliff, E.A., Armstrong, J.M., Klein, M.H., & Essex, M.J. (2015). Neuroendocrine coupling across adolescence and the longitudinal influence of early life stress. *Developmental Psychobiology*, 57(6), 688–704. https://doi.org/10.1002/dev.21138 [in English].

Sun, F., Zhao, Q., Chen, X., Zhao, G., & Gu, X. (2022). Physiological indicators and production performance of dairy cows with tongue rolling stereotyped behavior. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, a840726. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.840726. [in English].

Thompson-Crispi, K.A., Sewalem, A., & Miglior, F. (2012). Genetic parameters of adaptive immune response traits in Canadian Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 95, 401–409. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4452 [in English].

Tiemann, I., Fijn, L.B., Bagaria, M., Langen, E.M.A., Van der Staay, F.J., Arndt, S.S., Leenaars, C., & Goerlich, V.C. (2023). Glucocorticoids in relation to behavior, morphology, and physiology as proxy indicators for the assessment of animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, a954607. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.954607 [in English].

Van der Laan, J.E., Vinke, C.M., & Arndt, S.S. (2022). Evaluation of hair cortisol as an indicator of long-term stress responses in dogs. *Scientific Reports*, 12, a5117. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09140-w [in English].

Van Reenen, C.G., Hopster, H., & De Jong, I.C. (2005). Responses of calves to acute stress: individual consistency and habituation. *Physiology & Behavior*, 86, 57–67. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.06.015 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 504.064.3:528.8: 502.753: 582.675.1
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.5

ІСТОРІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ *ISOPYRUM THALICTROIDES* L.

І. П. Діденко[1], А. І. Ковтонюк[2], Л. Л. Джус[3], І. В. Бойко[4], М. І. Парубок[5]

У статті узагальнено й висвітлено результати сучасного характеру вивчення Isopyrum thalictroides L. в Україні й світі. Було опрацьовано зарубіжні та вітчизняні наукові публікації, присвячені дослідженням флори та рослинності. Результати досліджень доповнені матеріалами гербарних фондів: KW, KWHA, SOF, UPU, UM, а також інформації з платформ громадянської науки (iNaturalist та UkrBin).

Умовно виділено п'ять основних етапів історії дослідження I. thalictroides в Україні. Перший етап (кінець XIX ст. – початок XX ст.) – початковий фрагментарно-флористичний, який характеризується флористичними дослідженнями загального характеру, за результатами проведення яких наведено перші відомості про поширення виду. Другий етап (1950–2000 рр.) – хорологічний. У цей період вітчизняними науковцями проводяться роботи по виявленню I. thalictroides у різних регіонах України та збору гербарних зразків. Третій етап (2000 р. й дотепер) – ми умовно поділили на три напрямки: хорологічно-флористичний, фітоценотичний та інтродукційний, так як ці дослідження проводилися в один проміжок часу. Хорологічно-флористичний напрямок характеризується дослідженнями значної кількості вітчизняних дослідників, які з'ясовували поширення виду у різних адміністративних областях України. Фітоценотичний напрямок вирізняється розвитком синфітоіндикаційних та созологічних досліджень на об'єктах природно-заповідного фонду. Для інтродукційного

[1] кандидат біологічних наук,
завідувач відділу трав'янистих рослин
(Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
ORCID: 0000-0002-4198-3432
[2] кандидат біологічних наук,
науковий співробітник відділу трав'янистих рослин
(Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
ORCID: 0009-0002-6247-8942
[3] молодший науковий співробітник відділу
трав'янистих рослин (Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
ORCID: 0000-0003-3586-7432
[4] кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник відділу трав'янистих рослин
(Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України, м. Умань)
ORCID: 0000-0002-4643-6315
[5] кандидат біологічних наук,
доцент кафедри біології
(Уманський національний університет, м. Умань)
e-mail: m.parubok69@gmal.com
ORCID: 0000-0002-7228-4669

напрямку характерним є встановлення біологічних і екологічних особливостей I. thalictroides ex situ, у співставленні з характером еколого-фітоценотичного середовища in situ.
Аналізуючи сучасні дослідження наукової спільноти, пропонуємо проводити комплексний популяційний аналіз, що містить у собі оцінку онтогенетичної, віталітетної та гендерної структури популяцій для оцінки статусу рідкісності видів.

Ключові слова: *регіонально рідкісні види, Україна, руйнування, моніторинг, гербарій, збереження.*

HISTORY OF RESEARCH ON *ISOPYRUM THALICTROIDES* L.

I. P. Didenko, A. I. Kovtoniuk, L. L. Dzhus, I. V. Boiko, M. I. Parubok

The article summarizes and highlights the results of contemporary research on Isopyrum thalictroides L. in Ukraine and worldwide. Foreign and domestic scientific publications devoted to the study of flora and vegetation were reviewed. The research results are supplemented with materials from herbarium collections: KW, KWHA, SOF, UPU, UM, as well as information from citizen science platforms (iNaturalist and UkrBin).
Five main stages in the history of research on I. thalictroides in Ukraine have been conditionally identified. The first stage (late 19th century – early 20th century) was initial and fragmentary in nature, characterized by general floristic studies, the results of which provided the first information on the distribution of the species. The second stage (1950–2000) was chorological. During this period, Ukrainian scientists conducted work to identify I. thalictroides in various regions of Ukraine and collect herbarium specimens. The third stage (2000 to present) – we have conditionally divided it into three directions: chorological-floristic, phytocenotic, and introducer, as these studies were conducted during the same period. The chorological-floristic direction is characterized by the research of a significant number of domestic researchers who investigated the distribution of the species in various administrative regions of Ukraine. The phytocenotic direction is distinguished by the development of synphytindicational and sozological studies at nature reserve fund sites. The introduction direction is characterized by the establishment of the biological and ecological characteristics of I. thali.
Analyzing current research by the scientific community, we propose conducting a comprehensive population analysis that includes an assessment of the ontogenetic, vitality, and gender structure of populations to evaluate the rarity status of species.

Key words: *regionally rare species, Ukraine, destruction, monitoring, herbarium, conservation.*

Вступ

У зв'язку зі збройною агресією росії проти України, існує велика загроза пошкодження та руйнування флористичного різноманіття. Тому, на нашу думку, збір й узагальнення інформації сучасного вивчення й поширення регіонально рідкісних видів рослин є актуальним. Результати досліджень, у майбутньому, полегшать організацію моніторингу за станом популяцій та дозволить забезпечити їх охорону. Метою нашої роботи було з'ясувати особливості і сучасний характер вивчення *Isopyrum thalictroides* L. в Україні й світі.

I. thalictroides занесений до офіційних переліків регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України: Вінницької області (Шевчук та ін., 2020), м. Київ (Офіційні…, 2012), Черкаської області (Регіональні…, 2023; Перелік…, 2025).

Матеріал і методи

Стаття підготовлена на підставі аналізу зарубіжних та вітчизняних наукових публікацій, присвячених дослідженням флори та рослинності. Відомості про загальний ареал виду подані за онлайн-ресурсом POWO (Plants…, 2025). Результати досліджень доповнені матеріалами гербарних фондів: Національного гербарію України – гербарію Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного (KW), гербарію Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України (KWHA), наукового гербарію Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України (SOF), гербарію Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини (UPU) та наукового гербарію Уманського національного університету (UM), а також інформацією з платформ громадянської науки iNaturalist (https://www.inaturalist.org/observations?taxon_id=361315) та

UkrBin (https://www.ukrbin.com/index.php?id=235696).

Результати та їх обговорення

Значна кількість робіт зарубіжних дослідників присвячена з'ясуванню поширення *I. thalictroides*: на території Центральної Європи (Jäger, 2021), Франції (Delacour, 1903); Чехії (Mlady & Kolbek, 1976), Румунії (Mânzu & Mânzu, 2006; Radutoiu & Radutoiu, 2009; Daciana, 2013), Польщі (Szulc & Wiśniewski, 2024; Adamowski & Romanowska, 2014; Towpasz, 2019), Молдови (Postolache, 2007), Іспанії (Salvat et al., 2003, 2005; Oliver, 2017), Македонії (Teofilovski, 2018). Фітоценотичні особливості та стан популяцій досліджували на території Польщі (Towpasz & Stachurska-Swakon, 2008; Marinček & Čarni, 2010; Nowińska et al., 2016; Klimko et al., 2000; Skrajna & Ługowska, 2025; Wolski et al., 2025); Румунії (Sanda et al., 2003; Laviniu, 2009; Niculescu et al., 2013; Popa et al., 2018), Словаччини (Csiky et al., 2001; Eliáš & Pauková, 2010; Pilkova, 2014), Болгарії (Zahariev & Taneva, 2017), Хорватії (Trinajstić & Pavletić, 2004). Проводилися також фітохімічні дослідження (Koštálová et al., 1988; Alexis et al., 1997; Istatkova et al., 2004, Istatkova & Philipov 2004) та досліджували лікарські властивості (Okoli et al., 2003).

Перші флористичні знахідки *I. thalictroides* в Україні відомі за гербарними зборами (кінець XIX ст. – початок XX ст.): Черкаська область: Уманський р-н, м. Умань, Софіївка (Греків ліс), квітень, 1900, Кушакевич (KW), Уманський р-н, поблизу м. Умань, 1901, Н. Макаров (KW); Київська область: Фастівський р-н, с. Мотовилівка, 31.03.1902, N. Linger (KW), 24.04.1918, Семенкевич (KW). Трохи пізніше цей вид було виявлено у Київській області м. Біла Церква, у лісі «Чикарівська добролежівка», 22.04.1923 МТрад (KW); у м. Богуслав (дубовий ліс в урочищі «Свята гора», на лівому березі Росі), травень 1928, П. Шиповський (KW). Цей етап досліджень (кінець XIX ст. – початок XX ст.) можна віднести до початкового фрагментарно-флористичного.

Другий етап (1950–2000 рр.) – хорологічний. У цей період вітчизняними науковцями проводяться роботи по виявленню *I. thalictroides* у різних регіонах України та збору гербарних зразків. Колекторами були С. Зиман (KW), В. Мельник (KWHA), С. Морозюк (KW), О. Баранський (KW), Д. Якушенко (KW), В. Комендар (KW), Н. Антонюк (KWHA), Б. Заверуха (KW), І. Мороз (KWHA) та інші.

Третій етап (2000 р. й дотепер) ми умовно поділили на три напрямки: хорологічно-флористичний, фітоценотичний та інтродукційний, так як ці дослідження проводилися в один проміжок часу.

Хорологічно-флористичний характеризується дослідженнями значної кількості вітчизняних дослідників, які з'ясовували поширення виду у різних адміністративних областях України: Вінницька обл.: О. Шиндер (KW, iNaturalist), Д. Давидов, В. Горобчишин, В. Новак, О. Міськова, А. Чурілов (iNaturalist), О. Матвійчук (UkrBin); Волинська обл.: О. Баранський (KW, iNaturalist), М. Рудік, Г. Герасимчук (iNaturalist), І. Бесарабчук (UkrBin); Житомирська область: В. Мельник (KWHA), О. Баранський (iNaturalist), Д. Якушенко (KW, iNaturalist), М. Перегрим (KWHA), О. Рак (KWHA), О. Гриб, Д. Давидов, В. Коломійчук, О. Марцун (iNaturalist); Закарпатська обл.: В. Мельник (KWHA), Н. Сичак, В. Глеба (UkrBin), А. Ковальчук, М. Захарова, І. Мойсієнко, В. Лойя (iNaturalist); Івано-Франківська: В. Коломійчук, А. Заморока, Д. Давидов, М. Захарова (iNaturalist), Є. Новосад, А. Чумак (UkrBin); Київська обл.: В. Мельник, С. Діденко, О. Рак, Н. Антонюк, Т. Багацька (KWHA), І. Ольшанський, М. Перегрим, О. Шиндер, О. Баранський, В. Гриценко, О. Левон, К. Лавриненко, С. Дзюба (iNaturalist); Кіровоградська обл.: О. Шиндер (KWHA, iNaturalist), І. Мойсієнко, К. Лавріненко (iNaturalist); Львівська обл.: Н. Сичак, О. Кагало, П. Гринюк, К. Гарбарчук, А. Давидова, Д. Давидов, О. Вакаренко (iNaturalist); Рівненська обл.: В. Мельник (KWHA), Я. Дідух (KW), Н. Назарук, І. Мойсієнко, Н. Діренко (iNaturalist); Тернопільська: Г. Оліяр, М. Захарова, Т. Микитюк, В. Коломійчук, О. Лижечка, П. Гринюк (iNaturalist); Хмельницька обл.: Т. Андрієнко (KW), І. Ковтун (KW), М. Захарова, Д. Свиридюк, С. Потанів, Н. Кратасюк, В. Новак, Л. Горбняк-Юліна, Г. Микитинець, І. Мойсієнко (iNaturalist); Черкаська обл.: (Шевчик та ін., 2006), А. Куземко (iNaturalist), І. Діденко (SOF), А. Ковтонюк (SOF), Л. Ільмінська, О. Шиндер (iNaturalist); Чернівецька обл.: І. Чорней, А. Токарюк, В. Буджак. (Chorney et al., 2017; Токарюк та ін., 2011), Л. Волошина, Д. Свиридюк (iNaturalist); Чернігівська обл.: Д. Боженок (iNaturalist).

Одним із важливих завдань, що постають перед науковими відділами національних природних парків є моніторингові дослідження за процесами, що відбуваються в природних

екосистемах. Тому флористичні дослідження, за участі *I. thalictroides*, проводяться в південній частині Ківерцівського національного природного парку «Цуманська пуща» (Кузьмішина та ін., 2021); у природному заповіднику «Медобори» (Онищенко, 2000; Onyshenko, 2017; Баранчук і Бачинська, 2024); Національному природному парку «Кременецькі гори» (Тернопільська область) (Лісова, 2011); Шацькому національному природному парку (Волинська область) (Гончаренко і Калінович, 2009); Національному природному парку «Мале Полісся» (Хмельниччина) (Андрієнко-Малюк і Юглічек, 2016); Національному природному парку «Голосіївський» (Київ) (Прядко і Дацюк, 2024).

Дослідження флори та окремих типів рослинності, за участі *I. thalictroides* проводилися на території Українського Розточчя (Любинець, 2010), на Поділлі (Рало, 2010), на території Української частини басейну Західного Бугу, розташованої переважно в межах Малого та Волинського Полісся і частково у суміжних природних областях (Опіллі й Розточчі та Західному Поділлі) (Кузярін, 2011), ландшафтного парку місцевого значення «Немирівське Побужжя» поблизу села Гвоздів Немирівського району Вінницької області (Шевчук та ін., 2020), Городницькому регіональному ландшафтному парку (Житомирська область) (Орлов і Сіренький, 2000).

Фітоценотичні особливості лісових угруповань букових та скельнодубових лісів за участі *I. thalictroides* досліджено у Кременецьких горах (Тернопільська обл.) (Мельник та ін., 2006), на території Волинського Полісся (Glinska et al., 2020), Закарпатті (Коліщук, 1962), у межах Прикарпаття (Gnjezdilova et al., 2016). Ю. Неграш і Є. Воробйов відносять цей вид до групи *Fraxinus excelsior-Mercurialis perennis* (неморальні геліосціофільні нітрофільні евтрофні види) (Неграш і Воробйов, 2016). В. Онищенко відносить *I. thalictroides* до біотопу – Центральноєвропейські грабово-дубові ліси, *Carpino-Fagetea sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968, *Carpinetalia betuli* P. Fukarek 1968, *Carpinion betuli* Issler 1931., де він виступає домінантом у трав'яному ярусі (Національний…, 2018).

Андрієм Новіковим представлено ключ для визначення видів родини Ranunculaceae у Західній Україні, у тому числі для *I. thalictroides* (Новіков, 2013).

Для інтродукційного напрямку характерним є встановлення біологічних і екологічних особливостей *I. thalictroides ex situ*, у співставленні з характером еколого-фітоценотичного середовища *in situ*. Завдяки своїм декоративним якостям досліджуваний вид культивується у ботанічних садах і дендропарках. За зведенням даних у «Каталозі декоративних трав'янистих рослин ботанічних садів і дендропарків України», він зростає у складі трав'яного покриву Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України, Ботанічного саду Національного лісотехнічного університету України, Ботанічного саду Львівського національного університету ім. Івана Франка (Каталог…, 2015), Національного дендрологічного парку «Софіївка НАН України» (Косенко та ін., 2014; Ковтонюк і Куземко, 2021; Ковтонюк, 2021), Державного дендрологічного парку «Олександрія» НАН України (Дойко, 2013), Кременецького ботанічного саду (Кременецький…, 2007) та Уманського національного університету садівництва (Каталог…, 2023).

Гриценко В., Гнатюк А., Рак О., Гапоненко М. досліджували ценотичні умови місцезростань *I. thalictroides* у складі штучно сформованого рослинного покриву у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка, вікову структуру, ритми росту й розвитку (Гриценко та ін., 2022). Еколого-ценотичні особливості рідкісних видів спонтанної флори Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України, за участі *I. thalictroides*, з'ясовували І. Косенко та ін. (Косенко та ін., 2014; Ковтонюк, 2021). Використання досліджуваного виду у сталих ландшафтах в уробоекосистемах України досліджували Л. Іщук та інші (Іщук та ін., 2022).

Висновки

Аналіз літературних джерел, гербарних матеріалів і даних платформ громадянської науки свідчить про поетапний розвиток досліджень *I. thalictroides* в Україні – від фрагментарних флористичних відомостей до комплексних хорологічних, фітоценотичних та інтродукційних робіт. На сучасному етапі уточнено поширення виду, охарактеризовано його еколого- фітоценотичні особливості та умови зростання *in situ* й *ex situ*. Отримані дані формують наукову основу для подальших хорологічних, созологічних і моніторингових досліджень виду на території України.

У цьому контексті доцільним є проведення комплексного популяційного аналізу, що передбачає оцінку онтогенетичної, віталітетної та гендерної структури популяцій виду з метою об'єктивного визначення їхнього стану та ступеня рідкісності.

Список використаної літератури

Андрієнко-Малюк Т.Л., Юглічек Л.С. Рослинність національного природного парку «Мале Полісся». *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія.* 2016. № 2 (66). С. 6–13.

Баранчук Г.І., Бачинська У.О. Динаміка рослинного покриву на ботанічних пробних площах природного заповідника «Медобори». *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія.* 2024. № 1 (84). С. 6–13. DOI: https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.1.1

Гончаренко В.І., Калінович Н.О. Флора судинних рослин Шацького національного природного парку. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки.* 2009. № 2. С. 5–17.

Гриценко В.В., Гнатюк А.М., Рак О.О., Гапоненко М.Б. Ценопопуляції *Isopyrum thalictroides* L. у Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка. *Наукові записки НаУКМА. Біологія і екологія.* 2022. Т. 5. С. 44–54. https://doi.org/10.18523/2617-4529.2022.5.

Дойко Н.М. Трав'яна рослинність діброви дендрологічного парку «Олександрія». *Науковий вісник НЛТУ України.* 2013. № 23. 12. С. 39–47.

Іщук Л.П., Діденко І.П., Іщук Г.П., Миронюк Т.М. Перспективи використання аборигенної флори у сталих ландшафтах урбанізованих просторів України. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки».* 2022. № 12-13. С. 242–249. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.29.04.2022.038

Каталог декоративних трав'янистих рослин ботанічних садів і дендропарків України. За ред. С.П. Машковської. Київ, 2015. С. 166. [Електронний ресурс]. URL: http://www.nbg.kiev.ua/upload/biblio/katalog.pdf (дата звернення 2.12.2025).

Каталог рослин ботанічного розсадника Уманського національного університету садівництва : довідк. посіб. / Т. В. Мамчур, Г. А. Чорна, М. І. Парубок, О. В. Свистун, Н. В. Михайлова; за ред. д-ра с.-г. наук В.П. Карпенка, Умань : Видавець: «Сочінський М. М.», 2023. С. 61.

Ковтонюк А.І. Спонтанна флора та рослинність садово-паркових ландшафтів Середнього Побужжя (структура, диференціація, трансформація, охорона) : дис.… к. б. н. 03.00. 05–ботаніка. Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України. Київ, 2021. 305 с.

Ковтонюк А.І., Куземко А.А. Лісова рослинність садово-паркових ландшафтів Середнього Побужжя (Вінницка та Черкаська області України). *Чорноморський ботанічний журнал,* 2021. Т. 17, № 1. С. 6–35. https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-1-1

Коліщук В.Г. До характеристики типів ялинових і букових лісів Карпат за вологістю ґрунту. *Наукові записки Науково-природничого музею АН УРСР.* 1962. Т.10. С. 33–44.

Косенко І.С., Куземко А.А., Діденко І.П., Пономаренко Г.М. Еколого-ценотичні особливості рідкісних видів спонтанної флори Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України. *Інтродукція рослин.* 2014. № 4. С. 22–30.

Кременецький ботанічний сад. Каталог рослин. Природно – заповідні території України. Рослиний світ. Вип. 8. Київ: Фітосоціоцентр, 2007, С. 104.

Кузьмішина І., Войтюк В., Деркач В., Мерленко Н., Безсмертна О. Весняна флора Луцького та партизанського лісництв Ківерцівського національного природного парку «Цуманська пуща». *Біологія.* 2021. № 2 (85). С. 27–32. https://doi.org/10.29038/NCBio.23.1-3

Кузярін О.Т. Рослинність класу *Alnetea Glutinosae* Br.-Bl. Et R. Tx. 1943 басейну Західного Бугу (українська частина). *Наукові основи збереження біотичної різноманітності.* 2011. Т. 2(9). № 1. С. 183–206.

Лісова Н.О. Фітоценотична структура лісової рослинності національного природного парку «Кременецькі гори». *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія.* 2011. № 3 (48). С. 23–26.

Любинець І.П. Дослідження ценопопуляцій цибулі ведмежої *Allium ursium* L. на Українському Розоччі. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2010. Вип. 20.16. С. 174–180.

Мельник В.І., Парубок М.І., Глінська С.О. Рідкісні лісові угруповання Кременецьких гір. *Інтродукція рослин.* 2006. № 2. 26–31.

Національний каталог біотопів України / за ред. А. А. Куземко, Я. П. Дідуха, В. А. Онищенка, Я. Шеффера. К. : ФОП Клименко Ю. Я. 2018. С. 234–236.

Неграш Ю.М., Воробйов Є.О. Еколого-ценотична характеристика *Scopolia carniolica* (*Solanaceae*) в Україні. І. Синтаксономія лісів за участі *Scopolia carniolica. Український ботанічний журнал.* 2016. Т. 73. № 5. С. 461–473. https://doi.org/10.15407/ukrbotj 73.05.461

Новіков А.В. *Ranunculaceae* Західної України. І. Ключ для визначення видів. *Modern Phytomorphology*. 2013. Т. 3. С. 297–319.

Онищенко В.А. Рослинність природного заповідника «Медобори»: автореф. дис. …канд. біол. наук: 03.00.05. Київ, 2000. 22 с.

Орлов О.О., Сіренький С.П. Рідкісні рослини Городницького ландшафтного парку та їх охорона. *Вісник ДААУ*. 2000. № 2. С. 168–175.

Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України: (довідкове видання) Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України та ін.; уклад.: Т. Л. Андрієнко, М. М. Перегрим. Київ: Альтерпрес, 2012, 148 с.

Перелік видів рослин, що підлягають особливій охороні на території Черкаської області. 2021. Рішення Черкаської обласної ради 10.09.2021 № 8-33/VIII Про затвердження. Переліку видів рослин, що підлягають особливій охороні на території Черкаської області та Положення про нього. [Електронний ресурс]. URL: https://www.oblradack.gov.ua/ viii-sesiya-oblasnoi-radi-viii-sklikannya (дата звернення 2.12.2025).

Прядко О., Дацюк В. Созологічна цінність флори вищих судинних рослин Національного природного парк «Голосіївський» (Київ). Матеріали XV З'їзду Українського ботанічного товариства (Івано-Франківськ, 30 вересня – 4 жовтня 2024). Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2024. 232 с.

Рало В.М. Матеріали для оцінки синтаксономічного різноманіття букових лісів Верхобузького горбогірного масиву (Північно-західне Поділля). *Наукові основи збереження біотичної різноманітності.* 2010. Т.1 (8). № 1. С. 125–172.

Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні, 2023. [Електронний ресурс]. URL: https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini (дата звернення 2.12.2025).

Токарюк А.І., Коржан К.В., Чорней І.І. Раритетні ефемероїдні геофіти м. Чернівці та їх охорона. Заповідна справа в Україні. 2011. Т. 17, Вип. 1–2, С. 22–28.

Шевчик В.Л., Куземко А.А., Чорна Г.А. Список рідкісних видів судинних рослин, що підлягають охороні в межах Черкаської області. *Заповідна справа в Україні.* 2006. Вип. 1. С. 11–17.

Шевчук О.А., Криклива С.В., Шевчук В.В., Ходаніцька О.О., Ткачук О.О., Вергеліс В.І. Видовий склад ефемероїдів Регіонального парку місцевого значення «Немирівське Побужжя» поблизу с. Гвоздів. *Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science»*. 2020. № 1 (22). С. 39–43. https://doi.org/10.15587/2519-8025.2020.198951

Adamowski W., Romanowska A. "You will see the forest here…" Forty years of secondary succession in the Experimental Ecological Garden of Białowieża Geobotanical Station. *Biodiversity: Research and Conservation*. 2014. № 1. P. 13.

Alexis V.,1 Benoit-Vical F., Moulis C., Stanislas E., Mallie M., Fouraste I., Bastide J-M. In Vitro Antimalarial Activity of Penduline, a Bisbenzylisoquinoline from *Isopyrum thalictroides*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 1997. 41. № 10. P. 2305–2307.

Chorney I.I., Tokaryuk A.I., Budzhak V.V. Important Plant Areas of Ukraine / V.A. Onyshchenko (editor). Kyiv, 2017. P. 130, 315.

Csiky J., Kevej B., Borhidi A. Block Forest (Roso pendulinae-Tilietum cordatae), a new forest community of the Carpathian Basin (Cerová Vrchovina, Slovakia). *Acta Botanica Hungarica*. 2001. Vol. 43 (1-2). P. 95–125.

Daciana A.E. The ecological diversity of the cormophytic flora from the Latorița hydrographic basin (Vâlcea County, Romania). *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2013. Vol. 17. № 2. P. 69–75.

Delacour M. Sur Une Localité Nouvelle De L'isopyrum Thalictroides Dans Seine-Et-Marne. *Bulletin de la Société Botanique de France*. 1903. Vol. 50. № 4. P. 334–335. https://doi.org/10.1080/00378941.1903.10831034

Eliáš P., Pauková Ž. Hustota a štruktúra populácií jarných geofytov v dubovo-hrabovom lese v Bábe pri nitre, juhozápadné Slovensko. *Rosalia (Nitra).* 2010. № 21. P. 47–56.

Glinska S. O., Shtokalo S. S., Lyko D. V., Stepaniuk Ya. V., Savchuk L. K. Ecological-coenotic features of rare flora species of pine-oak stands of Volyn Polissya. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol.10. № 1. P. 55–61. https://doi.org/10.15421/2020_9

Gnjezdilova V., Nespljak O., Bunjak V., Makhovska L. The early spring synusias in the Forests of Fagetocarpineto-guerceta roboris subformation on the territory of Precarpathian region (Ukraine). *EUREKA: Life Sciences*. 2016. P. 34–39.

Istatkova R., Doncheva T., Philipov S. A comparative study of the alkaloid composition of Isopyrum thalictroides (Ranunculaceae). *Phytologia Balcanica.* 2004. Vol. 10 (2-3). P. 257–259.

Istatkova R., Philipov S. Alkaloids Isopyrum thalictroides L. *Natural Product Research.* 2004. Vol. 18. № 3. 259–263.

Jäger E.J. Die Ranunculaceae der Flora von Zentraleuropa: Isopyrum. 2021. 13 p. [Електронний ресурс]. URL: https://www.flora-deutschlands.de/files/Ranunculaceae-Isopyrum.pdf (дата звернення: 15.11.2025).

Klimko M., Czarna A., Wysakowska I. Stan obecny stanowisk *Isopyrum thalictroides* l. na terenie Wielkopolski. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCCXXII.* 2000. № 3. P.101–112.

Koštálová D., Hrochová V., Uhrin D., Tomko J. Isoquinoline alkaloids of *Isopyrum thalictroides* L. *Chemical Papers.* 1988. Vol. 42. № 6. P. 841-843.

Laviniu B. Phytocoenological and ecological study of beech forests from pădurea craiului mountains (North-western Romania, Bihor county). *Analele Universității din Oradea, Fascicula:Protecția Mediului.* 2009. Vol. XIV. P. 441–446.

Mânzu C., Mânzu I. Aspects of Moldovița River's basin vascular flora (suceava county). *Buletinul Grădinii Botanice Iaşi.* 2006. № 13. P. 85–90.

Marinček L., Čarni A. Altimontanski bukovi gozdovi podzveze Saxifrago–Fagenion (Aremonio-Fagion). *SCOPOLIA*, 2010. № 69. 1–107 pp.

Mlady F., Kolbek J. Chorologisko-fytocenologické otázky historie vỳskytu *Isopyrum thalictroides* na Křivoklátsku. Preslia, Praha. 1976. № 48. P.143–155.

Niculescu M., Nicolin A.L., Bercea J., Stănescu Ş., Niculescu L., Nută I.L. The corology, ecology and phytosociology of the woody plant communities of the Lapuşnic valley, part of the Nera Gorges-Beuşnița National park. *Analele Universității din Craiova, seria Agricultură – Montanologie – Cadastru.* 2013. Vol. XLII. P. 228–236.

Nowińska R., Czarna A., Czekalski M., Morozowska M. Vascular flora of selected palace parks in the Wielkopolska region. *Steciana.* 2016. Vol. 20 (3). P. 137–157. https://doi.org/10.12657/steciana.020.016

Okoli C. O., Akah P. A., Nwafor S. V. Anti-inflammatory activity of plants. *Journal of Natural Remedies.* 2003. P. 1–30.

Oliver X. *Isopyrum thalictroides*, Programa de conservació. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana ď História Natural. Programa de Seguiment s Conservació de flora amenaçada de la Garotxa I del Ripollès. Inèdit. 2017. 16 p.

Onyshenko V.A. Medobory. Important Plant Areas of Ukraine / V.A. Onyshchenko (editor). Kyiv, 2017. P. 88.

Pilkova I. Species structure of plants in the Báb Forest Clearcuts. *Acta regionalia et environmentalica.* 2014. 2. P. 52–58. https://doi.org/10.1515/aree-2014-0009

Plants of the World Online (POWO). [Електронний ресурс] URL: http://powo.science.kew.org/ (дата звернення 10.10.2025).

Popa D., Imbrea I., Arsene G.-G., Neacşu A. Cormophytes diversity in the Forest near the Mănăstire village (Birda, Timiș dept.). *Research journal of agricultural science.* 2018. Vol. 50 (4). P. 470–479.

Postolache G. The Moldova vegetation exposition from the Botanical Garden of the academy of sciences of Moldova. *Buletinul Grădinii Botanice Iaşi Tomul.* 2007. № 14. P. 121–125.

Radutoiu D., Radutoiu A. Contributions to the Knowledge of the Vascular Flora from the Saru Forest Olt County. *Bulletin UASVM Horticulture.* 2009. Vol. 66 (1-2). P. 601–604.

Salvat A., Enèriz J., March S. Seguiment de les species de flora *Isopyrum thalictroides* i *Oplismenus undulatifolius* al Parc natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. 2003. [Електронний ресурс]. URL: https://parcsnaturals.gencat.cat/web/.content/Xarxa-de-parcs/garrotxa/coneix-nostra-feina/centre-documentacio/estudis/flora-vegetacio/seguiment-isopyrum-oplismenus/43_48150.pdf (дата звернення 10.10.2025).

Salvat A., Enèriz J., March S. Seguiment de les species de flora *Isopyrum thalictroides* i *Oplismenus undulatifolius* al Parc natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. 2005. [Електронний ресурс]. URL: https://parcsnaturals.gencat.cat/web/.content/Xarxa-de-parcs/garrotxa/coneix-nostra-feina/centre-documentacio/estudis/flora-vegetacio/seguiment-isopyrum-oplismenus/SegOplis15.pdf (дата звернення 10.10.2025).

Sanda V., Mihăilescu S., Popescu A. Main characteristics of the Beech forests from Bucegi Mountains (Romanian Carpathians). *Contribuții Botanice.* 2003. Vol. XXXVIII. № 2. 93–104.

Skrajna T., Ługowska M. Zawartość metali ciężkich w glebie oraz ich fitokumulacja w populacjach *Isopyrum thalictroides* L. na stanowiskach grądowych. *Agronomy Science.* 2025. Vol. 80. № 2. P. 45–56. https://doi.org/10.24326/as.2025.5513

Szulc A.P., Wiśniewski M. New records of protected, threatened, and rare vascular plant species in the Lower Bug Valley (eastern Poland). *Biodiversity: Research and Conservation.* 2024. № 17. P. 17–30. https://doi.org/10.14746/biorc.2024.74.7

Teofilovski A. Chorological data for some new, doubtfully known and rare plants in the flora of the Republic of Macedonia. *Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium.* 2018. Vol. 21. P. 13–22.

Towpasz K. Vascular plants of Pilzno surroundings (South-Eastern Poland). *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Naturae.* 2019. № 4. P. 31–64. https://doi.org/10.24917/25438832.4.2

Towpasz K., Stachurska-Swakon A. Alder-ash and willow communities and their diversity in the Pogórze Strzyżowskie foothills (Western Carpathians). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae.* 2008. Vol. 77. № 4. P. 327–338.

Trinajstić I., Pavletić Z. The association Hacquetio-Fagetum Košir 1962 (Aremonio-Fagion) in Croatia. *HACQUETIA*. 2004. 3/2. P. 29-42.

Wolski G.J., Celka Z., Marciniuk J., Marciniuk P., Mitka J., Nowak S., Afranowicz-Cie´slak R., Kruk A., Łysko A. New indicator species for associations within mesotrophic oak-hornbeam forests in Poland. *Ecol. Indic.* 2025. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113339

Zahariev D., Taneva L. Medicinal plants of Tarnovski Heights (Northern Bulgaria). *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS).* 2017. Vol. 3. № 7. 121–127.

References

Andriienko-Maliuk, T.L., & Yuhlichek, L.S. (2016). Roslynnist nationalnoho pryrodnoho parku «Male Polissia» [Vegetation of the Male Polissya National Nature Park]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia [Scientific notes of Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology]*, 2 (66), 6–13 [in Ukrainian].

Baranchuk, H.I., & Bachyns'ka, U.O. (2024). Dynamika roslynnoho pokryvu na botanichnykh probnykh ploshchakh pryrodnoho zapovidnyka «Medobory» [Dynamics of vegetation cover on botanical test plots in the Medobory Nature Reserve]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia [Scientific notes of Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology],* 1 (84), 6–13. https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.1.1 [in Ukrainian].

Honcharenko, V.I., & Kalinovych, N.O. (2009). Flora sudynnykh roslyn Shatskoho natsionalnoho pryrodnoho parku [Flora of vascular plants of Shatsk National Nature Park]. *Naukovyy visnyk Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Volyn National University]*, 5–17 [in Ukrainian].

Hrytsenko, V.V., Hnatiuk, A.M., Rak, O.O., & Haponenko, M.B. (2022). Tsenopouliatsii *Isopyrum thalictroides* L. u Natsionalnomu botanichnomu sadu im. M.M. Hryshka [*Isopyrum thalictroides* L. populations in the M.M. Hryshko National Botanical Garden]. *Naukovi zapysky NaUKMA. Biolohiia i ekolohiia [Scientific notes of NaUKMA. Biology and ecology]*, 5, 44–54. https://doi.org/10.18523/2617-4529.2022.5 [in Ukrainian].

Doyko, N.M. (2013). Traviana roslynnist dibrovy dendrolohichnoho parku "Oleksandriia" [Herbaceous vegetation of the oak forest in the "Alexandria" Dendrological Park]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine]*, 23, 12, 39–47 [in Ukrainian].

Ishchuk, L.P., Didenko, I.P., Ishchuk, H.P., & Myroniuk, T.M. (2022). Perspektyvy vykorystannia aboryhennoi flory u stalykh landshaftakh urbanizovanykh prostoriv Ukrainy [Prospects for the use of native flora in sustainable landscapes of urban areas in Ukraine]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Hraal nauky» [International scientific journal "Grail of Science"],* 12–13, 242–249. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.29.04.2022.038 [in Ukrainian].

Kataloh dekoratyvnykh travianystykh roslyn botanichnykh sadiv i dendroparkiv Ukrainy [Catalogue of ornamental herbaceous plants in botanical gardens and arboretums of Ukraine]. Za red. S.P. Mashkovskoi (2015), 166. [Electronic resourse]. URL: http://www.nbg.kiev.ua/upload/biblio/katalog.pdf (data zvernennia 2.12.2025) [in Ukrainian].

Kataloh roslyn botanichnoho rozsadnyka Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva: dovidk. Posib [Catalog of plants of the botanical nursery of the Uman National University of Horticulture]. T. V. Mamchur, H. A. Chorna, M. I. Parubok, O. V. Svystun, N. V. Mykhailova; za red. d-ra s.-h. nauk V.P. Karpenka, (2023) Uman: Vydavets: "Sochinskyi M. M.", 61 [in Ukrainian].

Kovtoniuk, A.I. (2021). Spontanna flora ta roslynnist sadovo-parkovykh landshaftiv Serednoho Pobuzhzhia (struktura, dyferentsiatsiia, transformatsiia, okhorona) [Spontaneous flora and vegetation of garden and park landscapes of the Middle Buzh region (structure, differentiation, transformation, protection)]: dys.… k. b. n. 03.00. 05–botanika. Natsionalnyi botanichnyi sad imeni M. M. Hryshka NAN Ukrainy. Kyiv. 305 p [in Ukrainian].

Kovtoniuk, A.I., & Kuzemko, A.A. (2021). Lisova roslynnist sadovo-parkovykh landshaftiv Serednoho Pobuzhzhia (Vinnytska ta Cherkaska oblasti Ukrainy) [Forest vegetation of garden and park landscapes of the Middle Buzh region (Vinnytsia and Cherkasy regions of Ukraine)]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal [Black Sea Botanical Journal],* 17 (1): 24. https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2021-17-1-1 [in Ukrainian].

Kolishchuk, V.H. (1962). Do kharakterystyky typiv ialynovykh i bukovykh lisiv Karpat za volohistiu gruntu [Characteristics of spruce and beech forests in the Carpathians according to soil moisture]. *Naukovi zapysky Naukovo-pryrodnychoho muzeiu AN URSR [Scientific notes of the Museum of Natural History of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR]*, 10, 33–44 [in Ukrainian].

Kosenko, I.S., Kuzemko, A.A., Didenko, I.P., & Ponomarenko, H.M. (2014). Ekoloho-tsenotychni osoblyvosti ridkisnykh vydiv spontannoi flory Natsionalnoho dendrolohichnoho parku “Sofiivka” NAN Ukrainy [Ecological and coenotic features of rare species of spontaneous flora in the National Dendrological Park “Sofiyivka” of the National Academy of Sciences of Ukraine]. *Introduktsiia Roslyn [Plant introduction]*, 4, 22–30 [in Ukrainian].

Kremenetskyi botanichnyi sad. Kataloh roslyn (2007). [Kremenets Botanical Garden. Catalog of plants. Nature reserves of Ukraine]. Pryrodno- zapovidni terytorii Ukrainy. Roslynyi svit [Nature – protected areas of Ukraine. Flora], Kyiv: Fitosotsiotsentr, 104 [in Ukrainian].

Kuzmishyna, I., Voytiuk, V., Derkach, V., Merlenko, N., & Bezsmertna, O. (2021). Vesniana flora Lutskoho ta partyzanskoho lisnytsv Kivertsivskoho natsionalnoho pryrodnoho parku “Tsumanska pushcha” [Spring flora of Lutsk and Partisan forests of Kivertsi National Nature Park “Tsumanska Pushcha”]. *Biolohiia [Biology]*, 2 (85), 27–32. https://doi.org/10.29038/NCBio.23.1-3 [in Ukrainian].

Kuziarin, O.T. (2011). Roslynnist klasu Alnetea Glutinosae Br.-Bl. Et R. Tx. 1943 baseynu Zakhidnoho Buhu (ukrainska chastyna) [Vegetation of the Alnetea Glutinosae Br.-Bl. Et R. Tx. 1943 class in the Western Bug basin (Ukrainian part)]. *Naukovi osnovy zberezhennia biotychnoi riznomanitnosti [Scientific foundations of biodiversity conservation]*, 2 (9), 183–206 [in Ukrainian].

Lisova, N.O. (2011). Fitotsenotychna struktura lisovoi roslynnosti natsionalnoho pryrodnoho parku “Kremenetski hory” [Phytocenotic structure of forest vegetation in the Kremenets Mountains National Nature Park]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia: Biolohiia [Scientific notes of Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology],* 3 (48), 23–26 [in Ukrainian].

Liubynets, I.P. (2010). Doslidzhennia tsenopopuliatsiy tsybuli vedmezhoi Allium ursium L. na Ukrainskomu Rozochchi [Study of Allium ursium L. populations in the Ukrainian Rozochya region]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine]*, 20, 16, 174–180 [in Ukrainian].

Melnyk, V.I., Parubok, M.I., & Hlinska, S.O. (2006). Ridkisni lisovi uhrupovannia Kremenetskykh hir [Rare forest communities of the Kremenets Mountains]. *Introduktsiia Roslyn [Plant introduction]*, 2, 26–31 [in Ukrainian].

Natsionalnyy kataloh biotopiv Ukrainy (2018). [National Catalogue of Biotopes of Ukraine], za red. A. A. Kuzemko, Ya. P. Didukha, V. A. Onyshchenka, Ya. Sheffera. K.: FOP Klymenko Yu. Ya., 235 [in Ukrainian].

Nehrash, Yu.M., & Vorobyov, Ie.O. (2016). Ekoloho-tsenotychna kharakterystyka *Scopolia carniolica* (*Solanaceae*) v Ukraini. I. Syntaksonomiia lisiv za uchasti *Scopolia carniolica* [Ecological and coenotic characteristics of *Scopolia carniolica* (*Solanaceae*) in Ukraine. I. Syntaxonomy of forests with *Scopolia carniolica*]. *Ukrainskyy botanichnyy zhurnal [Ukrainian Botanical Journal]*, 73, 5, 461–473. https://doi.org/10.15407/ukrbotj73.05.461 [in Ukrainian].

Novikov, A.V. (2013). *Ranunculaceae* Zakhidnoi Ukrainy. I. Kliuch dlia vyznachennia vydiv [*Ranunculaceae* of Western Ukraine. I. Key for species identification]. *Modern Phytomorphology*, 3, 297–319 [in Ukrainian].

Onyshchenko, V.A. (2000). Roslynnist pryrodnoho zapovidnyka «Medobory» [Vegetation of the Medobory Nature Reserve]: avtoref. dys. …kand. biol.nauk: 03.00.05. Kyiv, 22 [in Ukrainian].

Orlov, O.O., & Sirenkyy, S.P. (2000). Ridkisni roslyny Horodnytskoho landshaftnoho parku ta ikh okhorona [Rare plants of the Gorodnytskyi Landscape Park and their protection]. *Visnyk DAAU [Bulletin of the State Academic Academic University of Azerbaijan]*, 2, 168–175 [in Ukrainian].

Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy (2012). [Official lists of regionally rare plants in the administrative territories of Ukraine]: (dovidkove vydannia) In-t botaniky im. M. H. Kholodnoho NAN Ukrainy ta in.; uklad.: T. L. Andriienko, M. M. Perehrym. Kyiv: Alterpres, 148 [in Ukrainian].

Perelik vydiv roslyn, shcho pidliahaiut osoblyvii okhoroni na terytorii Cherkaskoi oblasti (2021). [List of plant species subject to special protection in the territory of Cherkasy region]. Rishennia Cherkaskoi oblasnoi rady 10.09.2021 № 8-33/VIII Pro zatverdzhennia. Pereliku vydiv roslyn, shcho pidliahaiut osoblyvii okhoroni na terytorii Cherkaskoi oblasti ta Polozhennia pro noho. [Electronic resourse] URL: https://www.oblradack.gov.ua/ viii-sesiya-oblasnoi-radi-viii-sklikannya (data zvernennia 2.12.2025) [in Ukrainian].

Priadko, O., & Datsiuk, V. (2024). Sozolohichna tsinnist flory vyshchykh sudynnykh roslyn Natsionalnoho pryrodnoho park "Holosiivskyy" (Kyiv) [The zoological value of the flora of higher vascular plants in the Holosiivskyi National Nature Park (Kyiv)]. Materialy XV Zizdu Ukrainskoho botanichnoho tovarystva [Materials of the XV Congress of the Ukrainian Botanical Society] (Ivano-Frankivsk, 30 veresnia – 4 zhovtnia 2024). Odesa: Vydavnychyy dim "Helvetyka", 232 [in Ukrainian].

Ralo, V.M. (2010). Materialy dlia otsinky syntaksonomichnoho riznomanittia bukovykh lisiv Verkhobuzkoho horbohirnoho masyvu (Pivnichno-zakhidne Podillia) [Materials for assessing the syntactic diversity of beech forests in the Verkhovuzhsky hill range (Northwestern Podillia)]. *Naukovi osnovy zberezhennia biotychnoi riznomanitnosti [Scientific foundations of biodiversity conservation]*, 1 (8), 1, 125–172 [in Ukrainian].

Rehionalni dopovidi pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini (2023). [Regional reports on the state of the environment in Ukraine] [Electronic resourse] URL: https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini / (data zvernennia 2.12.2025) [in Ukrainian].

Tokariuk, A.I., Korzhan, K.V., & Chorney, I.I. (2011). Rarytetni efemeroidni heofity m. Chernivtsi ta ikh okhorona [Rare ephemeroid geophytes of Chernivtsi and their protection]. *Zapovidna sprava v Ukraini [Conservation case in Ukraine]*, 17, 1–2, 22–28 [in Ukrainian].

Shevchyk, V.L., Kuzemko, A.A., & Chorna, H.A. (2006). Spysok ridkisnykh vydiv sudynnykh roslyn, shcho pidliahaiut okhoroni v mezhakh Cherkaskoi oblasti [List of rare vascular plant species subject to protection within the Cherkasy region]. *Zapovidna sprava v Ukraini [Conservation case in Ukraine]*, 1, 11–17 [in Ukrainian].

Shevchuk, O. A., Kryklyva, S. V., Shevchuk, V. V., Khodanitska, O. O., Tkachuk, O. O., & Verhelis, V. I. (2020). Vydovyy sklad efemeroidiv Rehionalnoho parku mistsevoho znachennia "Nemyrivske Pobuzhzhia" poblyzu s. Hvozdiv [Species composition of ephemeroids in the Nemyrivske Pobuzhzhya Regional Park of Local Importance near the village of Hvozdiv]. *Scientific Journal "ScienceRise : Biological Science"*, 1 (22), 39–43. https://doi.org/10.15587/2519-8025.2020.198951 [in Ukrainian].

Adamowski, W., & Romanowska, A. (2014). "You will see the forest here…" Forty years of secondary succession in the Experimental Ecological Garden of Białowieża Geobotanical Station. *Biodiversity: Research and Conservation*, 1, 13 [in English].

Alexis, V., Benoit-Vical, F., Moulis, C., Stanislas, E., Mallie, M., Fouraste, I., & Bastide J-M. (1997). In Vitro Antimalarial Activity of Penduline, a Bisbenzylisoquinoline from *Isopyrum thalictroides*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 41, 10, 2305–2307 [in English].

Chorney, I.I., Tokaryuk, A.I., & Budzhak, V.V. (2017). Important Plant Areas of Ukraine / V.A. Onyshchenko (editor). Kyiv, 130, 315 [in English].

Csiky, J., Kevej, B., & Borhidi, A. (2001). Block Forest (Roso pendulinae-Tilietum cordatae), a new forest community of the Carpathian Basin (Cerová Vrchovina, Slovakia). *Acta Botanica Hungarica*, 43(1-2), 95–125 [in English].

Daciana, A.E. (2013). The ecological diversity of the cormophytic flora from the Latorița hydrographic basin (Vâlcea County, Romania). *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 17, 2, 69–75 [in English].

Delacour, M. (1903). Sur Une Localité Nouvelle De L'isopyrum Thalictroides Dans Seine-Et-Marne [On a New Locality of Isopyrum Thalictroides in Seine-et-Marne]. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 50, 4, 334–335. https://doi.org/10.1080/00378941.1903.10831034 [in French].

Eliáš, P., & Pauková, Ž. (2010). Hustota a štruktúra populácií jarných geofytov v dubovo-hrabovom lese v Bábe pri nitre, juhozápadné Slovensko [Density and structure of spring geophyte

populations in an oak-hornbeam forest in Bába pri Nitra, southwestern Slovakia]. *Rosalia (Nitra),* 21, 47–56 [in Slovenian].

Glinska, S.O., Shtokalo, S.S., Lyko, D.V., Stepaniuk Ya.V., & Savchuk L.K. (2020). Ecological-coenotic features of rare flora species of pine-oak stands of Volyn Polissya. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10, 1, 55–61. https://doi.org/10.15421/2020_9 [in English].

Gnjezdilova, V., Nespljak, O., Bunjak, V., & Makhovska, L. (2016). The early spring synusias in the Forests of Fagetocarpineto-guerceta roboris subformation on the territory of Precarpathian region (Ukraine). *EUREKA: Life Sciences*, 34–39 [in English].

Istatkova, R., Doncheva, T., & Philipov, S. (2004). A comparative study of the alkaloid composition of *Isopyrum thalictroides* (*Ranunculaceae*). *Phytologia Balcanica,* 10 (2-3), 57–259 [in English].

Istatkova, R., & Philipov, S. (2004). Alkaloids *Isopyrum thalictroides* L. *Natural Product Research*, 18, 3, 259–263 [in English].

Jäger, E.J. (2021). Die *Ranunculaceae* der Flora von Zentraleuropa: *Isopyrum* [The *Ranunculaceae* of the flora of Central Europe: *Isopyrum*]. 13 p. [Electronic resourse], URL: https://www.flora-deutschlands.de/files/*Ranunculaceae-Isopyrum*.pdf (access data: 15.11.2025) [in German].

Klimko, M., Czarna, A., & Wysakowska, I. (2000). Stan obecny stanowisk Isopyrum thalictroides l. na terenie Wielkopolski [The current state of *Isopyrum thalictroides* l. sites in Greater Poland]. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu – CCCXXII*, 3, 101–112 [in Polish].

Koštálová, D., Hrochová, V., Uhrin, D., & Tomko, J. (1988). Isoquinoline alkaloids of *Isopyrum thalictroides* L. *Chemical Papers*, 42, 6, 841–843 [in English].

Laviniu, B. (2009). Phytocoenological and ecological study of beech forests from pădurea craiului mountains (North-western Romania, Bihor county) [Phytocoenological and ecological study of beech forests from the forest of craiului mountains]. *Analele Universității din Oradea, Fascicula:Protecția Mediului*, XIV, 441–446 [in English].

Mânzu, C., & Mânzu, I. (2006). Aspects of Moldovița River's basin vascular flora (suceava county). *Buletinul Grădinii Botanice Iaşi*, 13, 85–90 [in English].

Marinček, L., & Čarni, A. (2010). Altimontanski bukovi gozdovi podzveze Saxifrago–Fagenion (Aremonio-Fagion) [Altimontan beech forests of the Saxifrago–Fagenion (Aremonio-Fagion) subalpine group]. *SCOPOLIA*, 69, 1–107 pp [in Slovenian].

Mlady, F., & Kolbek, J. (1976). Chorologisko-fytocenologické otázky historie výskytu *Isopyrum thalictroides* na Křivoklátsku [Chorological-phytocoenological issues of the history of occurrence of Isopyrum thalictroides in the Křivoklát region]. *Preslia*, Praha, 48, 143–155 [in Czech].

Niculescu, M., Nicolin, A.L., Bercea, J., Stănescu, Ş., Niculescu, L., & Nută, I.L. (2013). The corology, ecology and phytosociology of the woody plant communities of the Lapuşnic valley, part of the Nera Gorges-Beuşnița National park [The chorology, ecology and phytosociology of the woody plant communities of the Lapuşnic valley, part of the Nera Gorges-Beuşnița National park]. *Analele Universității din Craiova, seria Agricultură – Montanologie – Cadastru,* XLII, 228–236 [in Romanian].

Nowińska, R., Czarna, A., Czekalski, M., & Morozowska, M. (2016). Vascular flora of selected palace parks in the Wielkopolska region. *Steciana*, 20(3), 137–157. https://doi.org/10.12657/steciana.020.016 [in English].

Okoli, C.O., Akah, P.A., & Nwafor, S.V. (2003). Anti-inflammatory activity of plants. *Journal of Natural Remedies*, 1–30 [in English].

Oliver, X. (2017). *Isopyrum thalictroides*, Programa de conservació. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana História Natural [*Isopyrum thalictroides*, Conservation Program. Garrotxa Delegation of the Catalan Natural History Institution]. Programa de Seguiment s Conservació de flora amenaçada de la Garotxa I del Ripollès. Inèdit, 16 [in Catalan].

Onyshenko, V.A. (2017). Medobory. Important Plant Areas of Ukraine / V.A. Onyshchenko (editor). Kyiv, 88 [in English].

Pilkova, I. (2014). Species structure of plants in the Báb Forest Clearcuts. *Acta regionalia et environmentalica*, 2, 52–58. https://doi.org/10.1515/aree-2014-0009 [in English].

Plants of the World Online (POWO). [Electronic resourse] URL: http://powo.science.kew.org/ (access data 10.10.2025) [in English].

Popa, D., Imbrea, I., Arsene, G.-G., & Neacșu, A. (2018). Cormophytes diversity in the Forest near the Mănăstire village (Birda, Timiș dept.). *Research journal of agricultural science*, 50 (4), 470–479 [in English].

Postolache, G. (2007). The Moldova vegetation exposition from the Botanical Garden of the academy of sciences of Moldova. *Buletinul Grădinii Botanice Iaşi Tomul*, 14, 121–125 [in English].

Radutoiu, D., & Radutoiu, A. (2009). Contributions to the Knowledge of the Vascular Flora from the Saru Forest Olt County. *Bulletin UASVM Horticulture*, 66(1-2), 601–604 [in English].

Salvat, A., Enèriz, J., & March, S. (2003). Seguiment de les species de flora *Isopyrum thalictroides* i *Oplismenus undulatifolius* al Parc natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. [Electronic resourse] URL: https://parcsnaturals.gencat.cat/web/.content/Xarxa-de-parcs/garrotxa/coneix-nostra-feina/centre-documentacio/estudis/flora-vegetacio/seguiment-isopyrum oplismenus/43_48150.pdf (access data 10.10.2025) [in English].

Salvat, A., Enèriz, J., & March, S. (2005). Seguiment de les species de flora *Isopyrum thalictroides* i *Oplismenus undulatifolius* al Parc natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. [Electronic resourse] URL: https://parcsnaturals.gencat.cat/web/.content/Xarxa-de-parcs/garrotxa/coneix nostra-feina/centre-documentacio/estudis/flora-vegetacio/seguiment-isopyrum-oplismenus/SegOplis15.pdf (access data 10.10.2025) [in English].

Sanda, V., Mihăilescu, S., & Popescu, A. (2003). Main characteristics of the Beech forests from Bucegi Mountains (Romanian Carpathians). *Contribuții Botanice*, 2, 93–104 [in English].

Skrajna, T., & Ługowska, M. 2025. Zawartość metali ciężkich w glebie oraz ich fitokumulacja w populacjach *Isopyrum thalictroides* L. na stanowiskach grądowych [The content of heavy metals in soil and their phytoaccumulation in Isopyrum thalictroides L. populations in oak-hornbeam forest sites]. *Agronomy Science*, 80, 2, 45–56. https://doi.org/10.24326/as.2025.5513 [in Polish].

Szulc, A.P., & Wiśniewski, M. (2024). New records of protected, threatened, and rare vascular plant species in the Lower Bug Valley (eastern Poland). *Biodiversity: Research and Conservation*, 17, 17–30. DOI:10.14746/biorc.2024.74.7 [in English].

Teofilovski, A. (2018). Chorological data for some new, doubtfully known and rare plants in the flora of the Republic of Macedonia. *Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium*, 21, 13–22 [in English].

Towpasz, K. (2019). Vascular plants of Pilzno surroundings (South-Eastern Poland). *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis Studia Naturae*, 4, 31–64. https://doi.org/10.24917/25438832.4.2 [in English].

Towpasz, K., & Stachurska-Swakon, A. (2008) Alder-ash and willow communities and their diversity in the Pogórze Strzyżowskie foothills (Western Carpathians). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 77, 4, 327–338 [in English].

Trinajstić, I., & Pavletić, Z. (2004). The association Hacquetio-Fagetum Košir 1962 (Aremonio-Fagion) in Croatia [The association Hacquetio-Fagetum Košir 1962 (Aremonio-Fagion) in Croatia]. *HACQUETIA*. 3/2, 29–42 [in Croatian].

Wolski, G.J., Celka, Z., Marciniuk, J., Marciniuk, P., Mitka, J., Nowak, S., Afranowicz-Cie´slak, R., Kruk A., & Łysko, A. (2025). New indicator species for associations within mesotrophic oak-hornbeam forests in Poland. *Ecol. Indic.* https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113339 [in English].

Zahariev, D., & Taneva, L. (2017). Medicinal plants of Tarnovski Heights (Northern Bulgaria). *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*, 3, 7, 121–127 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 24.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 612.66
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.6

ЗНАЧЕННЯ СТАТЕВОГО ФАКТОРУ У ФОРМУВАННІ ОЗНАК ІМУНОСЕНЕСЦЕНЦІЇ У ПРАЦІВНИКІВ ОСВІТИ ЗА УМОВ ТРИВАЛИХ СТРЕСОВИХ ВПЛИВІВ

І. В. Кобаль[1], С. В. Соколенко[2]

Імуносенесценція – характерні вікові зміни різних аспектів діяльності імунної системи. Наявні дослідження, які демонструють значення у таких змінах статевого фактору. При цьому важливо враховувати, що старіння імунної системи є наслідком складної взаємодії між внутрішніми змінами клітинного старіння та факторами зовнішнього середовища, зокрема, хронічним стресом. Мета роботи: оцінити вплив статевого фактора на формування ознак імуносенесценції в осіб, що працюють у галузі освіти, в періоди тривалих стресових впливів.
Показники лейкоцитарної формули та С-реактивного білка визначали у 2021 році (на другому році пандемії COVID-19), та у 2023/2024 роках (під час воєнного стану). Проаналізовано показники 110 педагогічних працівників закладів середньої освіти м. Черкаси та Черкаського району віком 26–52 років, котрі проходили планові медичні огляди. Враховували стать обстежених та вікову групу. Показники оцінювали на біохімічних аналізаторах Diagon D-cell 60 (Угорщина) та Biossays 240 Plus (Китай), додатково використали аналіз фарбованого за Паппенгеймом мазка крові. Статистичну обробку результатів проводили за t-критерієм Стьюдента з довірчими інтервалами P < 0,05, P < 0,01 та P < 0,001. Як показники норми використали референтні значення, прийняті в клініко-діагностичній лабораторії.
Встановлено, що у 2023/2024 роках у працівників освіти чоловічої статі першого зрілого віку спостерігалося більше виражене зниження кількості лімфоцитів та зростання кількості паличкоядерних нейтрофілів, ніж в осіб жіночої статі. Як наслідок, у період воєнного стану чоловіча стать є потенційним фактором підвищеного ризику розвитку початкових ознак стрес-індукованої імуносенесценції у відносно молодому віці. Статева варіативність формування прозапальних явищ найбільше проявилася на рівні кількості моноцитів. Для прогнозування передчасного старіння імунної системи в періоди тривалих стресових впливів доцільно проводити регулярний моніторинг її доступних біомаркерів. Зокрема, це показники лейкоцитарної формули.

Ключові слова: *старіння імунної системи, стать, лейкоцитарна формула, прозапальні фактори, освітня діяльність, воєнний стан.*

[1] аспірант кафедри біології
(Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин);
викладач кафедри фармацевтичних дисциплін
(Черкаська медична академія, м. Черкаси)
e-mail: ivan.kobal2017@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8618-9251
[2] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри клітинної біології та методики викладання біологічних дисциплін
(Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси)
e-mail: sokolenko@i.ua
ORCID: 0000-0002-7341-1762

THE SIGNIFICANCE OF THE SEX FACTOR IN THE FORMATION OF SIGNS OF IMMUNOSENESCENCE IN EDUCATIONAL WORKERS UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM STRESS INFLUENCE

I. V. Kobal, S. V. Sokolenko

Immunosenescence is a characteristic age-related change in various aspects of the immune system. There are studies that demonstrate the importance of the sex factor in such changes. It is important to consider that the aging of the immune system is a consequence of a complex interaction between internal changes in cellular aging and environmental factors, in particular, chronic stress. The purpose of the work: to assess the influence of the sex factor on the formation of signs of immunosenescence in individuals working in the field of education during periods of prolonged stress.
The indicators of the leukocyte formula and C-reactive protein were determined in 2021 (in the second year of the COVID-19 pandemic), and in 2023/2024 (during martial law). The indicators of 110 pedagogical workers of secondary education institutions of the city of Cherkasy and Cherkasy district aged 26–52 years, who underwent routine medical examinations, were analyzed. The gender of the examined and the age group were taken into account. The indicators were evaluated on biochemical analyzers Diagon D-cell 60 (Hungary) and Biossays 240 Plus (China), additionally used the analysis of a Pappenheim-stained blood smear. Statistical processing of the results was carried out using the Student's t-test with confidence intervals $P < 0.05$, $P < 0.01$ and $P < 0.001$. As indicators of the norm, reference values adopted in the clinical diagnostic laboratory were used.
It was found that in 2023/2024, male education workers of the first mature age had a more pronounced decrease in the number of lymphocytes and an increase in the number of band neutrophils than in female individuals. As a result, during the period of martial law, the male gender is a potential factor for increased risk of developing initial signs of stress-induced immunosenescence at a relatively young age. Sexual variability in the formation of pro-inflammatory phenomena was most pronounced at the level of the number of monocytes. To predict premature aging of the immune system during periods of prolonged stress, it is advisable to regularly monitor its available biomarkers. In particular, these are indicators of the leukocyte formula.

Key words: *aging of the immune system, sex, leukocyte formula, pro-inflammatory factors, educational activities, martial law.*

Вступ

Імуносенесценція (імунне старіння) – характерні вікові зміни різних аспектів діяльності імунної системи, що проявляються на рівні кількості імунних клітин, їх фенотипів та функцій (Borgoni et al., 2021). Наявні дослідження, які демонструють значення у таких змінах статевого фактора. Зокрема, для осіб чоловічої статі більш характерним є сповільнення з віком сили Т-клітинної відповіді та інтенсивності дозрівання Т-лімфоцитів на фоні вищої кількості моноцитів. В осіб жіночої статі в процесі старіння зберігається вищим базовий рівень цитокінів (Takahashi et al., 2020; McGill & Benayoun, 2022; Mkhikian et al., 2022). У чоловіків похилого віку нижча ефективність вакцинації, що робить їх чутливішими до таких інфекцій, як грип, COVID-19 та бактеріальна пневмонія (Pinti et al., 2016; Ravichandran et al., 2024).

Зростання кількості населення похилого та старечого віку у світі зумовлює цілий ряд проблем у клінічній практиці і багато питань щодо профілактики захворювань, асоційованих з віком. При цьому важливо враховувати, що організм функціонує як відкрита система. Відповідно, розвиток імуносенесценції є наслідком складної взаємодії між внутрішніми змінами клітинного старіння та факторами зовнішнього середовища (Goyani et al., 2024). Одним з факторів, які істотно впливають на функції імунної системи, вказують стрес – психофізіологічну реакцію на уявні чи реальні загрози для організму. Хронічний стрес викликає фізіологічні та гормональні адаптації, які часто призводять до поведінкових і когнітивних порушень. Причинами є зниження нейрогенезу та зміни синаптичної пластичності у відповідь на посилення продукції запальних цитокінів, фагоцитоз нейрональних елементів тощо (Puzianowska-Kuźnicka et al., 2016; Wohleb et al., 2016; Koo et al., 2019; Koo & Wohleb, 2021). Тобто, це явища, типові для старіння імунної системи: хронічна імунна активація та мобілізація процесів запалення (Franceschi et al., 2018; Omarjee et al., 2020; Santoro et al., 2021; Bleve et al., 2023).

Важливим фактором розвитку дисбалансу між імунною та нервовою регуляцією вказують статеві особливості, зокрема, різні прозапальні профілі в осіб чоловічої та жіночої статі з ознаками депресії (Labonté et al., 2017; Seney et al., 2018). Особи жіночої статі мають більше виражені ознаки нейрозапалення після імунної відповіді або стресу. Відповідно, для них можливий вищий ризик формування депресивних симптомів порівняно з чоловіками. Проте, ці статеві відмінності ще недостатньо вивчені (Derry et al., 2015; Moieni et al., 2015; Koo & Wohleb, 2021). Зокрема, паралельно потрібно враховувати соціальні детермінанти, які супроводжують певну особу (McClure et al., 2018; Klopack et al., 2022). До таких детермінант належить і професійна діяльність (Ndjaboué et al., 2012; Terzioglu et al., 2016).

Для впровадження превентивних заходів щодо ризиків розвитку певних патологій, асоційованих з професією, важливою є рання діагностика вже визнаних біомаркерів та виявлення потенційних нових, здатних чинити синергічний вплив. Необхідно також враховувати, що негативні фактори професійної діяльності не завжди є безпосередніми причинами розвитку захворювань, проте, вони можуть посилювати чи прискорювати їх прояви (Lei & Grammer, 2019; Cestonaro et al., 2020).

На ризик розвитку професійних захворювань можуть впливати соціально-економічні умови, в яких ця діяльність реалізується. Проте, релевантність такого впливу підтверджується лише при виражених клінічних проявах (Schaap et al., Dieker et al., 2019). Для працівників галузі освіти ці прояви можуть бути тривалий час замасковані. Зазвичай вони є наслідками перевантаження голосового та опорно-рухового апарату. Проте, ще одним вагомим фактором вказують постійну психологічну напругу, зумовлену особливостями роботи (Vertanen-Greis et al., 2020; De Oliveira D. R. et al., 2021; Fahmy et al., 2022).

Визнаною причиною додаткового стресу для всього населення стала пандемія COVID-19. У випадку освітнього простору одними з її наслідків були спорадичні закриття шкіл, перехід до онлайн-викладання і, як наслідок, значні зміни у роботі вчителів, які мали потенціювати інші стресові впливи. На цей час додатковий емоційний пресинг створюють фактори воєнного стану (Kostikova et al., 2023; Lavrysh et al., 2025; Nadyukova & Frenzel, 2025).

Мета роботи: оцінити вплив статевого фактора на формування ознак імуносенесценції в осіб, що працюють у галузі освіти, в періоди тривалих стресових впливів.

Матеріал і методи

Показники лейкоцитарної формули та С-реактивного білка (CRP) визначали у 2021 році (на другому році пандемії COVID-19), та у 2023/2024 роках (під час воєнного стану). Проаналізовано результати лабораторних досліджень 110 педагогічних працівників закладів середньої освіти м. Черкаси та Черкаського району віком 26–52 років, котрі проходили планові медичні огляди на базі КНП «Черкаська центральна районна лікарня» Червонослобідської сільської ради. В анамнезі обстежених не було випадків захворювання на COVID-19 щонайменша за рік до огляду. Серед них у 2021 році було 20 осіб першого зрілого віку (8 осіб чоловічої статі, 12 осіб жіночої статі) та 30 осіб другого зрілого віку (10 осіб чоловічої статі, 20 осіб жіночої статі). У 2023/2024 роках обстежено 30 осіб першого зрілого віку (14 осіб чоловічої статі, 16 осіб жіночої статі) та 30 осіб другого зрілого віку (12 осіб чоловічої статі, 18 осіб жіночої статі). Для аналізу показників в осіб жіночої статі відбирали дані, отримані у фолікулярну стадію менструального циклу обстежених.

Показники оцінювали на біохімічних аналізаторах Diagon D-cell 60 (Угорщина) та Biossays 240 Plus (Китай), додатково використали аналіз фарбованого за Паппенгеймом мазка крові. Статистичну обробку результатів проводили після перевірки на нормальність розподілу, шляхом порівняння вибірок за t-критерієм Стьюдента (довірчими інтервалами $P < 0,05$, $P < 0,01$ та $P < 0,001$). Як показники норми використали референтні значення, прийняті в клініко-діагностичній лабораторії КНП «Черкаська центральна районна лікарня».

Робота виконана у межах наукової теми кафедри клітинної біології та методики викладання біологічних дисциплін Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького «Імунологічні та мікробіологічні критерії формування аллостатичного навантаження» (№ державної реєстрації 0121U107531).

Результати

Встановлено, що у 2021 році показник загальної кількості лейкоцитів, незалежно від статі та віку, відповідав рекомендованим референтним межам. Відносна та загальна кількість лімфоцитів в усіх обсте-

жених демонструвала тенденцію зміщення до нижнього значення референтного діапазону, з окремими випадками виходу за цю межу серед осіб другого зрілого віку.

Відносна та загальна кількість паличкоядерних нейтрофілів наближалася до верхньої межі норми з окремими випадками виходу перевищення референтних значень. Причому, серед осіб першого зрілого віку такі випадки спостерігалися частіше.

Відносна та загальна кількість сегментоядерних нейтрофілів за середнім значенням перебувала в рекомендованих межах референтного діапазону. Показники моноцитів наближалися до верхньої референтного діапазону, особливо, в осіб другого зрілого віку (табл. 1, 2).

Відносна кількість еозинофілів наближалася до верхньої межі референтного діапазону. Середні значення кількості базофілів перевищували верхнє значення референтного діапазону, що зумовлено виходом за нього показника більше ніж у 50% обстежених з кожної групи. Концентрація С-реактивного протеїну (CRP) відповідала верхній межі норми (див. табл. 1, 2). При цьому у 2021 році статистично достовірної різниці за жодним з аналізованих показників між особами чоловічої та жіночої статі не простежувалася (як для працівників освіти першого зрілого віку (див. табл. 1), так і для працівників освіти другого зрілого віку (див. табл. 2)).

У 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку середнє значення

Таблиця 1

Клініко-біохімічні показники в обстежених першого зрілого віку різної статі, отримані у 2021 році (M ± m)

Показники	**Референтні значення норми**	**Чоловіча стать, n = 8**	**Жіноча стать, n = 12**
Лейкоцити, $x10^9$/л	4,0-9,6	7,46 ± 0,59	7,14 ± 0,33
Лімфоцити, %	20-40	25,25 ± 1,71	25,92 ± 1,21
Лімфоцити, $x10^9$/л	1,5-4,0	1,86 ± 0,15	1,81 ± 0,11
Моноцити, %	4,0-10,0	8,38 ± 1,25	7,17 ± 0,89
Моноцити, $x10^9$/л	0,2-0,8	0,64 ± 0,10	0,53 ± 0,08
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	7,75 ± 1,00	8,00 ± 0,77
Нейтр. пал., $x10^9$/л	0,04-0,4	0,50 ± 0,08	0,55 ± 0,07
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	53,75 ± 2,16	54,50 ± 1,21
Нейтр. сегм., $x10^9$/л	2,0-6,5	3,94 ± 0,48	3,74 ± 0,19
Еозинофіли, %	0,5-3,0	2,75 ± 0,77	2,25 ± 0,41
Еозинофіли, $x10^9$/л	0,05-0,45	0,22 ± 0,08	0,16 ± 0,03
Базофіли, %	0,0-1,0	2,13 ± 0,35	1,92 ± 0,29
Базофіли, $x10^9$/л	0,00-0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02
CRP, мг/л	< 3	3,09 ± 0,63	2,67 ± 0,27

Таблиця 2

Клініко-біохімічні показники в обстежених другого зрілого віку різної статі, отримані у 2021 році (M ± m)

Показники	**Референтні значення норми**	**Чоловіча стать, n = 10**	**Жіноча стать, n = 20**
Лейкоцити, $x10^9$/л	4,0-9,6	7,38 ± 0,64	7,31 ± 0,34
Лімфоцити, %	20-40	19,60 ± 1,16	21,10 ± 1,14
Лімфоцити, $x10^9$/л	1,5-4,0	1,51 ± 0,16	1,46 ± 0,09
Моноцити, %	4,0-10,0	11,70 ± 1,13	10,70 ± 0,87
Моноцити, $x10^9$/л	0,2-0,8	0,88 ± 0,11	0,78 ± 0,0770
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	6,00 ± 0,63	6,20 ± 0,65
Нейтр. пал., $x10^9$/л	0,04-0,4	0,46±0,07	0,44 ± 0,05
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	54,00 ± 2,33	54,00 ± 1,20
Нейтр. сегм., $x10^9$/л	2,0-6,5	4,20 ± 0,44	3,96 ± 0,19
Еозинофіли, %	0,5-3,0	3,00 ± 0,63	2,60 ± 0,27
Еозинофіли, $x10^9$/л	0,05-0,45	0,24 ± 0,06	0,19 ± 0,02
Базофіли, %	0,0-1,0	2,30 ± 0,26	2,20 ± 0,20
Базофіли, $x10^9$/л	0,00-0,02	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,02
CRP, мг/л	< 3	3,55 ± 0,40	3,03 ± 0,24

загальної кількості лейкоцитів перебувало в межах рекомендованих референтних значень і було достовірно нижчим, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку (P < 0,05), у яких середній показник наближався до верхньої межі норми (табл. 3).

Відносна кількість лімфоцитів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку перебувала за середнім значенням в межах рекомендованих референтних значень і була достовірно вищою, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку (P < 0,01), у яких середній показник наближався до нижньої межі норми (табл. 3).

Загальна кількість моноцитів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку за середнім значенням перебувала в межах рекомендованої норми і була достовірно нижчою, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку (P < 0,05), у яких середній показник наближався до верхньої референтної межі (див. табл. 3).

І відносна, і загальна кількість паличкоядерних нейтрофілів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі першого зрілого віку за середнім значенням дещо перевищили максимальні референтні значення, але, при цьому, були достовірно нижчими, ніж в осіб чоловічої статі першого зрілого віку (P < 0,05 і P < 0,05 відповідно), у яких перевищення більше виражене (табл. 3).

За іншими показниками статистично достовірної різниці між даними, отриманими у 2023/2024 роках для осіб чоловічої і жіночої статі першого зрілого віку, не виявлено (табл. 3).

Відносна кількість лімфоцитів у 2023/2024 роках в осіб жіночої статі другого зрілого віку вийшла за середнім значенням за нижню референтну межу і була достовірно нижчою, ніж в осіб чоловічої статі другого зрілого віку (P < 0,05), у яких середній показник відповідає нижній межі норми (табл. 4).

За іншими показниками статистично достовірної різниці між даними, отриманими у 2023/2024 роках для осіб чоловічої і жіночої статі другого зрілого віку, не виявлено (табл. 4).

Обговорення

Наявні окремі дані щодо особливостей імунних показників у працівників освіти в умовах стресу. Основними ознаками вказують мобілізацію прозапальної активності та зниження показників протизапальних факторів, що корелює з отриманими нами результатами. Причому, зв'язки між емоційним вигоранням, зумовленим професійною діяльністю, та прозапальними маркерами, досить варіативні (McGee et al., 2023).

Одним з факторів, який впливає на здоров'я освітян, є належний баланс між роботою та особистим життям, який може змінитися в період воєнного стану. Для осіб жіночої статі описано вищу частку емоційного виснаження, зумовленого обмеження особистого часу. Водночас дані щодо особливостей реакції на емоційний стрес серед учителів різної статі досить варіативні, а іноді й суперечливі (Peris-Ramos et al., 2024; Wohid et al., 2024). На ці реакції, окрім розміру робочого навантаження та статі,

Таблиця 3

Клініко-біохімічні показники в обстежених першого зрілого віку різної статі, отримані у 2023/2024 роках (M ± m)

Показники	**Референтні значення норми**	**Чоловіча стать, n = 14**	**Жіноча стать, n = 16**
Лейкоцити, $x10^9$/л	4,0-9,6	9,11 ± 0,52	7,48 ± 0,32 *
Лімфоцити, %	20-40	20,43 ± 0,66	23,69 ± 0,71 **
Лімфоцити, $x10^9$/л	1,5-4,0	1,89 ± 0,15	1,77 ± 0,08
Моноцити, %	4,0-10,0	7,50 ± 0,48	6,31 ± 0,66
Моноцити, $x10^9$/л	0,2-0,8	0,70 ± 0,07	0,47 ± 0,05 *
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	8,71 ± 0,67	6,75 ± 0,41 *
Нейтр. пал., $x10^9$/л	0,04-0,4	0,76 ± 0,05	0,51 ± 0,04 **
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	55,14 ± 1,76	56,50 ± 1,07
Нейтр. сегм., $x10^9$/л	2,0-6,5	5,08 ± 0,39	4,21 ± 0,18
Еозинофіли, %	0,5-3,0	3,29 ± 0,61	2,31 ± 0,36
Еозинофіли, $x10^9$/л	0,05-0,45	0,31 ± 0,06	0,17 ± 0,03
Базофіли, %	0,0-1,0	2,07 ± 0,25	1,94 ± 0,25
Базофіли, $x10^9$/л	0,00-0,02	0,19 ± 0,02	0,15 ± 0,02
CRP, мг/л	< 3	2,40 ± 0,32	2,63 ± 0,37

*Примітка: * – P < 0,05; ** – P < 0,01 порівняно з іншою статтю*

Таблиця 4

Клініко-біохімічні показники в обстежених другого зрілого віку різної статі, отримані у 2023/2024 роках (M ± m)

Показники	**Референтні значення норми**	**Чоловіча стать, n = 12**	**Жіноча стать, n = 18**
Лейкоцити, $x10^9$/л	4,0-9,6	7,63 ± 0,57	7,26 ± 0,38
Лімфоцити, %	20-40	20,83 ± 0,96	18,22 ± 0,59 *
Лімфоцити, $x10^9$/л	1,5-4,0	1,62 ± 0,13	1,34 ± 0,09
Моноцити, %	4,0-10,0	11,83 ± 0,94	11,56 ± 0,62
Моноцити, $x10^9$/л	0,2-0,8	0,92 ± 0,09	0,83 ± 0,06
Нейтрофіли пал., %	1,0-6,0	5,17 ± 0,44	5,22 ± 0,52
Нейтр. пал., $x10^9$/л	0,04-0,4	0,43 ± 0,06	0,37 ± 0,05
Нейтр. сегм., %	47,0-65,0	60,08 ± 2,19	58,44 ± 1,82
Нейтр. сегм., $x10^9$/л	2,0-6,5	4,63 ± 0,40	4,19 ± 0,25
Еозинофіли, %	0,5-3,0	3,25 ± 0,52	2,72 ± 0,27
Еозинофіли, $x10^9$/л	0,05-0,45	0,26 ± 0,05	0,20 ± 0,02
Базофіли, %	0,0-1,0	2,42 ± 0,19	2,50 ± 0,17
Базофіли, $x10^9$/л	0,00-0,02	0,15 ± 0,02	0,17 ± 0,02
CRP, мг/л	< 3	3,62 ± 0,37	3,36 ± 0,28

*Примітка: * – P < 0,05 порівняно з іншою статтю*

впливають також досвід викладання і задоволення своєю роботою. Досвідчені вчителі можуть мати вищу ефективність діяльності, але, при цьому, вищий рівень емоційного виснаження. З іншого боку, на прояви занепокоєння і схильність до стресу на роботі впливає невпевненість у готовності до своєї ролі серед учителів-початківців (Hepburn et al., 2021; Singh & Gautam, 2024; Reinke et al., 2025).

Знижену кількість лімфоцитів, виявлену у значної частини обстежених педагогічних працівників у всі роки аналізу, можна характеризувати як біомаркер стресу на робочому місці (Wright et al., 2022). Особливо вираженим такий ефект спостерігався в освітян другого зрілого віку, котрі працювали в галузі більше ніж 10 років. Хронічний соціальний стрес виснажує клітинну ланку адаптивного імунітету і чинить на неї супресорний вплив, що може стати причиною передчасної імуносенесценції (McClure et al., 2018; Sokolenko & Sokolenko, 2019; Klopack et al., 2022; Noppert et al., 2023). Очевидно, додатковим пресинговим фактором був попередній карантин по COVID-19 (Minihan et al., 2022). Проте, у 2021 році статистично достовірної варіативності показників лімфоцитарної ланки не спостерігалося. Водночас у 2023/2024 роках імуносупресія за кількістю лімфоцитів була більше виражена в осіб чоловічої статі першого зрілого віку та осіб жіночої статі другого зрілого віку. Імовірно, ефект зумовлений різним емоційним сприйняттям воєнного стану залежно від віку та статі. Це підтверджує аналіз кількості нейтрофілів, другого важливого маркера стресових впливів. Попри загальну тенденцію до підвищення як відносної, так і загальної кількості паличкоядерних нейтрофілів, у 2023/2024 роках такий ефект більше характерний для освітян чоловічої статі першого зрілого віку.

На кількість нейтрофілів можуть впливати вік та стать (Simell et al., 2011; Simmons et al., 2022). Їх підвищена кількість у відносно молодих осіб може свідчити не лише про стресові стани, але й бути проявами ранньої імуносенесценції, як наслідку порушення міграції у позасудинний простір (Serre-Miranda et al., 2022; Van Avondt et al., 2023), зміщення кровотворення у бік мієлоїдного ряду (Pang et al., 2011; Helbling et al., 2019), дисбалансу у роботі імунної системи та мобілізації прозапальних факторів (Collerton et al., 2012; Fernández-Garrido et al., 2014).

Зростання кількості нейтрофілів є лише однією з ознак передчасної мобілізації запальних процесів. Ще одним показником, який продемонстрував статеву варіативність у 2023/2024 роках, була загальна кількість моноцитів, достовірно вища в осіб чоловічої статі першого зрілого віку, ніж в осіб жіночої статі цього ж віку. Підвищена кількість моноцитів у периферійній крові є типовою ознакою для здорових дорослих людей похилого віку. Проте, саме моноцити є одними з центральних медіаторів розвитку

запалення (Barman et al., 2022; Cao et al., 2022; Bleve et al., 2023; Reitsema et al., 2024).

Хоча дослідження показали мобілізацію й інших прозапальних факторів у обстежених (зростання кількості еозинофілів, базофілів, концентрації С-реактивного білка), варіативності залежно від статі для цих показників не виявлено. Отримані результати узгоджуються з даними літератури про більше виражені ознаки імуносенесценції в осіб чоловічої статі на рівні супресії лімфоцитарної ланки та мобілізації моноцитарної (Takahashi et al., 2020; McGill et al., 2022; Minihan et al., 2022). Проте, наявні також дані щодо більше виражених прозапальних профілів після стресових впливів в осіб жіночої статі (Labonté et al., 2017; Seney et al., 2018). Можливо, відсутність такої варіативності щодо кількості еозинофілів, базофілів та концентрації С-реактивного білка зумовлена тим, що у наших дослідженнях не спостерігалося патофізіологічних ознак депресивних симптомів.

Висновки

1. У період воєнного стану чоловіча стать асоційована з вищим фактором ризику розвитку початкових ознак стрес-індукованої імуносенесценції у відносно молодому віці.

2. Статева варіативність формування прозапальних явищ найбільше проявляється на рівні кількості моноцитів.

3. Для прогнозування передчасної імуносенесценції в періоди поєднання професійної діяльності та тривалих стресових впливів доцільно проводити регулярний моніторинг доступних біомаркерів імунного старіння, зокрема, показників лейкоцитарної формули.

Список використаної літератури

Barman P.K., Shin J.E., Lewis S.A., Kang S., Wu D., Wang Y., Yang X., Nagarkatti P.S., Nagarkatti M., Messaoudi I., Benayoun Bérénice A., Goodridge H.S. Production of MHC II-expressing classical monocytes increases during aging in mice and humans. *Aging Cell*. 2022. Vol. 21. P.e13701. https://doi.org/10.1111/acel.v21.10

Bleve A., Motta F., Durante B., Pandolfo C., Selmi C., Sica A. Immunosenescence, Inflammaging, and Frailty: Role of Myeloid Cells in Age-Related Diseases. *Clin. Rev. Allergy Immunol.* 2023. Vol. 64. P. 123–144. https://doi.org/10.1007/s12016-021-08909-7

Borgoni S., Kudryashova K.S., Burka K., Magalhães J.Pd. Targeting immune dysfunction in aging. *Ageing research reviews*. 2021. Vol. 70. P. 101410. https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101410

Cao Y., Fan Y., Li F., Hao Y., Kong Y., Chen C., Hao X., Han D., Li G., Wang Z., Song Ch., Han J., Zeng H. Phenotypic and functional alterations of monocyte subsets with aging. *Immun. Ageing A.* 2022. Vol. 19, №1. P. 63. https://doi.org/10.1186/s12979-022-00321-9

Cestonaro L.V., Garcia S.C., Nascimento S., Gauer B., Sauer E., Göethel G., Peruzzi C., Nardi J., Fão N., Piton Y., Braga W., Rocha R., Saint'Pierre T., Gioda A., Arbo M. D. Biochemical, hematological and immunological parameters and relationship with occupational exposure to pesticides and metals. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27, №23. P. 29291–29302. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09203-3

Collerton J., Martin-Ruiz C., Davies K., Hilkens C.M., Isaacs J., Kolenda C., Parker C., Dunn M., Catt M., Jagger C., von Zglinicki, Th., Kirkwood T.B. Frailty and the role of inflammation, immunosenescence and cellular ageing in the very old: cross-sectional findings from the Newcastle 85+ Study. *Mech. Ageing. Dev.* 2012. Vol. 133, № 6. P. 456–466. https://doi.org/10.1016/j.mad.2012.05.005

De Oliveira D.R., Wilson D., Palace-Berl F., de Mello Ponteciano B., Rissatti L.F., de Miranda F.S., Pollizi V.P., Fuscella J.C.A., Terzi M., Lepique A. P., D'Almeida V., Demarzo M. Mindfulness meditation training effects on quality of life, immune function and glutathione metabolism in service healthy female teachers: A randomized pilot clinical trial. *Brain, Behavior, & Immunity-Health*. 2021. Vol. 18. P. 100372. https://doi.org/10.1016/j.bbih.2021.100372

Derry H.M., Padin A.C., Kuo J.L., Hughes S., Kiecolt-Glaser J.K. Sex differences in depression: does inflammation play a role?. *Current Psychiatry Reports*. 2015. Vol. 17. P. 1–10. https://doi.org/10.1007/s11920-015-0618-5

Dieker A.C., IJzelenberg W., Proper K.I., Burdorf A., Ket J.C., van der Beek A.J., Hulsegge G. The contribution of work and lifestyle factors to socioeconomic inequalities in self-rated health – A systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*. 2019. Vol. 45, № 2. P. 114–125. https://doi.org/10.5271/sjweh.3772

Fahmy V.F., Momen M.A.M.T., Mostafa N.S., Elawady M.Y. Prevalence, risk factors and quality of life impact of work-related musculoskeletal disorders among school teachers in Cairo, Egypt. *BMC Public Health*. 2022. Vol. 22, №1. P. 2257. https://doi.org/10.1186/s12889-022-14712-6

Fernández-Garrido J., Navarro-Martínez R., Buigues-González C., Martínez-Martínez M., Ruiz-Ros V., Cauli O. The value of neutrophil and lymphocyte count in frail older women. *Exp Gerontol.* 2014. Vol. 54. P. 35-41. https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.11.019

Franceschi C., Garagnani P., Parini P., Giuliani C., Santoro A. Inflammaging: a new immune-metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nat. Rev. Endocrinol.* 2018. Vol. 14, №10. P. 576–590. https://doi.org/10.1038/s41574-018-0059-4

Goyani P., Christodoulou R., Vassiliou E. Immunosenescence: aging and immune system decline. *Vaccines*. 2024. Vol. 12, №12. P. 1314. https://doi.org/10.3390/vaccines12121314

Helbling P.M., Piñeiro-Yáñez E., Gerosa R., Boettcher S., Al-Shahrour F., Manz M.G., Nombela-Arrieta C. Global Transcriptomic Profiling of the Bone Marrow Stromal Microenvironment during Postnatal Development, Aging, and Inflammation. *Cell. Rep.* 2019. Vol. 29, №10. P. 3313–3330. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.11.004

Hepburn S-J., Carroll A., McCuaig-Holcroft L. A complementary intervention to promote wellbeing and stress management for early career teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol.18, №12. P. 6320. https://doi.org/10.3390/ijerph18126320

Klopack E.T., Crimmins E.M., Cole S.W., Seeman T.E., Carroll J.E. Social stressors associated with age-related T lymphocyte percentages in older US adults: evidence from the US Health and Retirement Study. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2022. Vol. 119, № 25. P. e2202780119. https://doi.org/10.1073/pnas.2202780119

Koo J.W., Chaudhury D., Han M.H., Nestler E J. Role of mesolimbic brain-derived neurotrophic factor in depression. *Biological Psychiatry*. 2019. Vol. 86, №10. P. 738–748. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2019.05.020

Koo J.W., Wohleb E.S. How stress shapes neuroimmune function: implications for the neurobiology of psychiatric disorders. *Biological Psychiatry*. 2021. Vol. 90, №2. P. 74–84. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2020.11.007

Kostikova I., Holubnycha L., Sytnykova Y., Shchokina T., Soroka N., Tarasova S. University Teachers' Psychological State During the Stress of Online Education After Pandemic in Wartime in Ukraine. Int. J. Emerg. Technol. Learn. 2023. Vol.18, № 13. https://doi.org/10.3991/ijet.v18i13.39825

Labonté B., Engmann O., Purushothaman I., Menard C., Wang J., Tan C., Scarpa J.R., Moy G., Loh Y-H.E., Cahill M., Lorsch Z.S., Hamilton P.J., Calipari E.S., Hodes G.E., Issler O., Kronman H., Pfau M., Obradovic A.L.J., Dong Y., Neve R.L., Russo S., Kasarskis A., Tamminga C., Mechawar N., Turecki G., Zhang B., Shen Li., Nestler E.J. Sex-specific transcriptional signatures in human depression. *Nature Medicine*. 2017. Vol. 23, №9. P. 1102–1111. https://doi.org/10.1038/nm.4386

Lavrysh Y., Lytovchenko I., Lukianenko V., Golub T. Teaching during the wartime: Experience from Ukraine. Educ. Philos. Theory. 2025. Vol. 57, №3. P. 197–204. https://doi.org/10.1080/00131857.2022.2098714

Lei D. K., Grammer L. C. Occupational immunologic lung disease. *Allergy Asthma Proc.* 2019. Vol. 40, №6. P. 418–420. https://doi.org/10.2500/aap.2019.40.4261

McClure E., Feinstein L., Ferrando-Martínez S., Leal M., Galea S., Aiello A. E. The great recession and immune function. RSF. 2018. Vol. 4, №4. P. 62–81. https://doi.org/10.7758/rsf.2018.4.4.04

McGee A.B., Scott S.R., Manczak E.M., Watamura S.E. Associations between the Psychophysiological Impacts of Teacher Occupational Stress and Stress Biomarkers: A Systematic Review. *Psychoneuroimmunology Journal*. 2023. Vol. 4. https://doi.org/10.32371/pnij/246145

McGill C.J., Benayoun B.A. Time isn't kind to female T-cells. Nat. Aging. 2022. Vol. 2, №2. P. 189–191. https://doi.org/10.1038/s43587-022-00185-0

Minihan E., Adamis D., Dunleavy M., Martin A., Gavin B., McNicholas F. COVID-19 related occupational stress in teachers in Ireland. *International Journal of Educational Research Open*. 2022. Vol. 3. P. 100114. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100114

Mkhikian H., Hayama K.L., Khachikyan K., Li C., Zhou R.W., Pawling J., Klaus S., Tran P.Q.N., Ly K.M., Gong A.D., Saryan H., Hai J.L., Grigoryan D., Lee P.L., Newton B.L., Raffatellu M., Dennis J.W., Demetriou M. Age-associated impairment of T cell immunity is linked to sex-dimorphic elevation of N-glycan branching. Nat. Aging. 2022. Vol. 2, №3. P. 231–42. https://doi.org/10.1038/s43587-021-00086-8

Moieni M., Irwin M.R., Jevtic I., Olmstead R., Breen E.C., Eisenberger N.I. Sex differences in depressive and socioemotional responses to an inflammatory challenge: implications for sex differences in depression. *Neuropsychopharmacology*. 2015. Vol. 40, №7. P. 1709–1716. https://doi.org/10.1038/npp.2015.17

Nadyukova I., Frenzel A.C. Ukrainian teachers' stress and coping during the war: Results from a mixed methods study. *Teach. Teach. Educ.* 2025. Vol. 157. P. 104941. https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.104941

Ndjaboué R., Brisson C., Vézina M. Organisational justice and mental health: a systematic review of prospective studies. *Occupational and Environmental Medicine*. 2012. Vol. 69, №10. P. 694–700. https://doi.org/10.1136/oemed-2011-100595

Noppert G.A., Stebbins R.C., Dowd J.B., Aiello A.E. Socioeconomic and race/ethnic differences in immunosenescence: evidence from the health and retirement study. Brain Behav. Immun. 2023. Vol. 107. P. 361–368. https://doi.org/10.1016/j.bbi.2022.10.019

Omarjee L., Perrot F., Meilhac O., Mahe G., Bousquet G., Janin A. Immunometabolism at the cornerstone of inflammaging, immunosenescence, and autoimmunity in COVID-19. *Aging*. 2020. Vol. 12, №24. P. 26263–26278. https://doi.org/10.18632/aging.202422

Pang W.W., Price E.A., Sahoo D., Beerman I., Maloney W.J., Rossi D.J., Schrier S.L., Weissman, I.L. Human bone marrow hematopoietic stem cells are increased in frequency and myeloid-biased with age. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 2011. Vol. 108, №50. P. 20012–20017. https://doi.org/10.1073/pnas.1116110108

Peris-Ramos H.C., Míguez M.C., Rodriguez-Besteiro S., David-Fernandez S., Clemente-Suárez V.J. Gender-Based Differences in Psychological, Nutritional, Physical Activity, and Oral Health Factors Associated with Stress in Teachers. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2024. Vol. 21, №4. P. 385. https://doi.org/10.3390/ijerph21040385

Pinti M., Appay V., Campisi J., Frasca D., Fülöp T., Sauce D., Larbi A., Weinberger B., Cossarizza A. Aging of the immune system: focus on inflammation and vaccination. Eur. J. Immunol. 2016. Vol. 46, №10. P. 2286–2301. https://doi.org/10.1002/eji.201546178

Puzianowska-Kuźnicka M., Owczarz M., Wieczorowska-Tobis K., Nadrowski P., Chudek J., Slusarczyk P., Skalska A., Jonas M., Franek E., Mossakowska M. Interleukin-6 and C-reactive protein, successful aging, and mortality: the PolSenior study. *Immun Ageing.* 2016. Vol. 13, №1. P. 21. https://doi.org/10.1186/s12979-016-0076-x

Ravichandran S., Erra-Diaz F., Karakaslar O.E., Marches R., Kenyon-Pesce L., Rossi R., Chaussabel D., Nehar-Belaid D., LaFon D. C., Pascual V., Palucka K., Paust S., Nahm M.H., Kuchel G.A., Banchereau J., Ucar D. Distinct baseline immune characteristics associated with responses to conjugated and unconjugated pneumococcal polysaccharide vaccines in older adults. Nat. Immunol. 2024. Vol. 25, №2. P. 316–329. https://doi.org/10.1038/s41590-023-01717-5

Reinke W.M., Herman K.C., Stormont M., Ghasemi F. Teacher Stress, Coping, Burnout, and Plans to Leave the Field: A Post-Pandemic Survey. *School Mental Health.* 2025. Vol. 17, №1. P. 32–44. https://doi.org/10.1007/s12310-024-09738-7

Reitsema R.D., Kumawat A.K., Hesselink B.C., van Baarle D., van Sleen Y. Effects of ageing and frailty on circulating monocyte and dendritic cell subsets. *NPJ Aging*. 2024. Vol. 10, №1. P. 17. https://doi.org/10.1038/s41514-024-00144-6

Santoro A., Bientinesi E., Monti D. Immunosenescence and inflammaging in the aging process: age-related diseases or longevity? *Ageing Res. Rev.* 2021. Vol. 71. P. 101422. https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101422

Schaap R., de Wind A., Coenen P., Proper K., Boot C. The effects of exit from work on health across different socioeconomic groups: A systematic literature review. *Social Science & Medicine*. 2017. Vol. 198. P. 36–45. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.12.015

Seney M.L., Huo Z., Cahill K., French L., Puralewski R., Zhang J., Logan R. W., Tseng G., Lewis D.A., Sibille E. Opposite molecular signatures of depression in men and women. *Biological Psychiatry*. 2018. Vol. 84, №1. P. 18–27.

Serre-Miranda C., Roque S., Barreira-Silva P., Nobrega C., Vieira N., Costa P., Palha J.A., Correia-Neves M. Age-Related Sexual Dimorphism on the Longitudinal Progression of Blood Immune Cells in BALB/cByJ Mice. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 2022. Vol. 77, №5. P. 883–891. https://doi.org/10.1093/gerona/glab330

Simell B., Vuorela A., Ekström N., Palmu A., Reunanen A., Meri S., Käyhty H., Väkeväinen M. Aging reduces the functionality of anti-pneumococcal antibodies and the killing of Streptococcus pneumoniae by neutrophil phagocytosis. *Vaccine.* 2011. Vol. 29, №10. P. 1929–1934. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.12.121

Simmons S.R., Tchalla E.Y.I., Bhalla M., Bou Ghanem E.N. The Age-Driven Decline in Neutrophil Function Contributes to the Reduced Efficacy of the Pneumococcal Conjugate Vaccine in Old Hosts. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2022. Vol. 12. P.849224. https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.849224

Singh Y.K., Gautam D.N.S. The impact of job satisfaction on teacher mental health: A call to action for educational policymakers. *Open Education Studies*. 2024. Vol. 6, №1. P. 20240008. https://doi.org/10.1515/edu-2024-0008

Sokolenko V.L., Sokolenko S.V. Manifestations of allostatic load in residents of radiation contaminated areas aged 18-24 years. Regul. Mech. Biosyst. 2019. Vol. 10, №4. P. 422–431. https://doi.org/10.15421/021963

Takahashi T., Ellingson M.K., Wong P., Israelow B., Lucas C., Klein J., Silva J., Mao T., Oh J.E., Tokuyama M., Lu P., Venkataraman A., Park A., Liu F., Meir A., Sun J., Wang E.Y., Casanovas-Massana A., Wyllie A.L., Vogels Ch.B. F., Earnest R., Lapidus S., Ott I.M., Moore A.J., Yale IMPACT Research Team, Iwasaki A. Sex differences in immune responses that underlie COVID-19 disease outcomes. Nature. 2020. Vol. 588, №7837. P. 315–320. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2700-3

Terzioglu F., Temel S., Uslu Sahan F. Factors affecting performance and productivity of nurses: professional attitude, organisational justice, organisational culture and mobbing. *Journal of Nursing Management*. 2016. Vol. 24, № 6. P. 735–744. https://doi.org/10.1111/jonm.12377

Van Avondt K., Strecker J.K., Tulotta C., Minnerup J., Schulz C., Soehnlein O. Neutrophils in aging and aging-related pathologies. *Immunological Reviews*, 2023. Vol. 314, №1. P. 357–375. https://doi.org/10.1111/imr.13153

Vertanen-Greis H., Löyttyniemi E., Uitti J. Voice disorders are associated with stress among teachers: a cross-sectional study in Finland. *Journal of Voice*. 2020. Vol. 34, №3. P. 488-e1. https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.08.021

Wohid F., Eme F.W., Fahim I.H., Mim M., Ferdaus F. Work Life Balance and Its Influence on Physical and Mental Health Among Female Teachers of Public University in Bangladesh. *Asia Pacific Journal of Medical Innovations*. 2024. Vol. 1, №2. P. 68–75. https://doi.org/10.70818/apjmi.2024.v01i02.011

Wohleb E.S., Franklin T., Iwata M., Duman R.S. Integrating neuroimmune systems in the neurobiology of depression. *Nature Reviews Neuroscience*. 2016. Vol. 17, № 8. P. 497–511. https://doi.org/10.1038/nrn.2016.69

Wright B.J., Eddy P.J., Kent S. Work stress, immune, and inflammatory markers. In: *Handbook of Socioeconomic Determinants of Occupational Health: From Macro-level to Micro-level Evidence*. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 657–675. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31438-5_28

References

Barman, P.K., Shin, J.E., Lewis, S.A., Kang, S., Wu, D., Wang, Y., Yang, X., Nagarkatti, P.S., Nagarkatti, M., Messaoudi, I., Benayoun, Bérénice A., & Goodridge, H.S. (2022). Production of MHCII-expressing classical monocytes increases during aging in mice and humans. *Aging cell*, 21(10), e13701. https://doi.org/10.1111/acel.13701 [in English].

Bleve, A., Motta, F., Durante, B., Pandolfo, C., Selmi, C., & Sica, A. (2023). Immunosenescence, inflammaging, and frailty: role of myeloid cells in age-related diseases. *Clinical reviews in allergy & immunology*, 64(2), 123–144. https://doi.org/10.1007/s12016-021-08909-7 [in English].

Borgoni, S., Kudryashova, K.S., Burka, K., & De Magalhães, J.P. (2021). Targeting immune dysfunction in aging. *Ageing research reviews*, 70, 101410. https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101410 [in English].

Cao, Y., Fan, Y., Li, F., Hao, Y., Kong, Y., Chen, C., Hao, X., Han, D., Li, G., Wang, Z., Song, Ch., Han, J., & Zeng, H. (2022). Phenotypic and functional alterations of monocyte subsets with aging. *Immunity & Ageing*, 19(1), 63. https://doi.org/10.1186/s12979-022-00321-9 [in English].

Cestonaro, L.V., Garcia, S.C., Nascimento, S., Gauer, B., Sauer, E., Göethel, G., Peruzzi, C., Nardi, J., Fão, N., Piton, Y., Braga, W., Rocha, R., Saint'Pierre, T., Gioda, A., & Arbo, M.D. (2020). Biochemical, hematological and immunological parameters and relationship with occupational exposure to pesticides and metals. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 29291–29302. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09203-3 [in English].

Collerton, J., Martin-Ruiz, C., Davies, K., Hilkens, C. M., Isaacs, J., Kolenda, C., Parker, C., Dunn, M., Catt, M., Jagger, C., von Zglinicki, Th., & Kirkwood, T.B. (2012). Frailty and the role of inflammation, immunosenescence and cellular ageing in the very old: cross-sectional findings from the Newcastle 85+ Study. *Mechanisms of ageing and development*, 133(6), 456–466. https://doi.org/10.1016/j.mad.2012.05.005 [in English].

De Oliveira, D.R., Wilson, D., Palace-Berl, F., de Mello Ponteciano, B., Rissatti, L.F., de Miranda, F.S., Pollizi, V.P., Fuscella, J.C.A., Terzi, M., Lepique, A.P., D'Almeida, V., & Demarzo, M. (2021). Mindfulness meditation training effects on quality of life, immune function and glutathione metabolism in service healthy female teachers: A randomized pilot clinical trial. *Brain, behavior, & immunity-health*, 18, 100372. https://doi.org/10.1016/j.bbih.2021.100372 [in English].

Derry, H.M., Padin, A.C., Kuo, J.L., Hughes, S., & Kiecolt-Glaser, J.K. (2015). Sex differences in depression: does inflammation play a role? *Current psychiatry reports*, 17(10), 78. https://doi.org/10.1007/s11920-015-0618-5 [in English].

Dieker, A.C., IJzelenberg, W., Proper, K.I., Burdorf, A., Ket, J.C., van der Beek, A.J., & Hulsegge, G. (2019). The contribution of work and lifestyle factors to socioeconomic inequalities in self-rated health–a systematic review. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 45(2), 114–125. https://doi.org/10.5271/sjweh.3772 [in English].

Fahmy, V.F., Momen, M.A.M.T., Mostafa, N.S., & Elawady, M.Y. (2022). Prevalence, risk factors and quality of life impact of work-related musculoskeletal disorders among school teachers in Cairo, Egypt. *BMC Public Health*, 22(1), 2257. https://doi.org/10.1186/s12889-022-14712-6 [in English].

Fernández-Garrido, J., Navarro-Martínez, R., Buigues-González, C., Martínez-Martínez, M., Ruiz-Ros, V., & Cauli, O. (2014). The value of neutrophil and lymphocyte count in frail older women. *Experimental gerontology*, 54, 35–41. https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.11.019 [in English].

Franceschi, C., Garagnani, P., Parini, P., Giuliani, C., & Santoro, A. (2018). Inflammaging: a new immune–metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(10), 576–590. https://doi.org/10.1038/s41574-018-0059-4 [in English].

Goyani, P., Christodoulou, R., & Vassiliou, E. (2024). Immunosenescence: aging and immune system decline. *Vaccines*, 12(12), 1314. https://doi.org/10.3390/vaccines12121314 [in English].

Helbling, P.M., Piñeiro-Yáñez, E., Gerosa, R., Boettcher, S., Al-Shahrour, F., Manz, M.G., & Nombela-Arrieta, C. (2019). Global transcriptomic profiling of the bone marrow stromal microenvironment during postnatal development, aging, and inflammation. *Cell reports*, 29(10), 3313–3330. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.11.004 [in English].

Hepburn, S.J., Carroll, A., & McCuaig-Holcroft, L. (2021). A complementary intervention to promote wellbeing and stress management for early career teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6320. https://doi.org/10.3390/ijerph18126320 [in English].

Klopack, E.T., Crimmins, E.M., Cole, S.W., Seeman, T.E., & Carroll, J.E. (2022). Social stressors associated with age-related T lymphocyte percentages in older US adults: Evidence from the US Health and Retirement Study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(25), e2202780119. https://doi.org/10.1073/pnas.2202780119 [in English].

Koo, J.W., & Wohleb, E.S. (2021). How stress shapes neuroimmune function: Implications for the neurobiology of psychiatric disorders. *Biological psychiatry*, 90(2), 74–84. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2020.11.007 [in English].

Koo, J.W., Chaudhury, D., Han, M.H., & Nestler, E.J. (2019). Role of mesolimbic brain-derived neurotrophic factor in depression. *Biological psychiatry*, 86(10), 738–748. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2019.05.020 [in English].

Kostikova, I., Holubnycha, L., Sytnykova, Y., Shchokina, T., Soroka, N., & Tarasova, S. (2023). University Teachers' Psychological State During the Stress of Online Education After Pandemic in Wartime in Ukraine. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(13). https://doi.org/10.3991/ijet.v18i13.39825 [in English].

Labonté, B., Engmann, O., Purushothaman, I., Menard, C., Wang, J., Tan, C., Scarpa, J.R., Moy, G., Loh, Y-H. E., Cahill, M., Lorsch, Z. S., Hamilton, P.J., Calipari, E.S., Hodes, G.E., Issler, O., Kronman, H., Pfau, M., Obradovic, A.L.J., Dong, Y., Neve, R.L., Russo, S., Kasarskis, A., Tamminga, C., Mechawar, N., Turecki, G., Zhang, B., Shen, Li., & Nestler, E.J. (2017). Sex-specific transcriptional signatures in human depression. *Nature medicine*, 23(9), 1102–1111. https://doi.org/10.1038/nm.4386 [in English].

Lavrysh, Y., Lytovchenko, I., Lukianenko, V., & Golub, T. (2025). Teaching during the wartime: Experience from Ukraine. *Educational Philosophy and Theory*, 57(3), 197–204. https://doi.org/10.1080/00131857.2022.2098714 [in English].

Lei, D.K., & Grammer, L.C. (2019). Occupational immunologic lung disease. In *Allergy & Asthma Proceedings,* 40(6), 418–420. https://doi.org/10.2500/aap.2019.40.4261 [in English].

McClure, E., Feinstein, L., Ferrando-Martínez, S., Leal, M., Galea, S., & Aiello, A.E. (2018). The Great Recession and immune function. *RSF: The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*, 4(4), 62–81. https://doi.org/10.7758/rsf.2018.4.4.04 [in English].

McGee, A.B., Scott, S.R., Manczak, E.M., & Watamura, S.E. (2023). Associations between the psychophysiological impacts of teacher occupational stress and stress biomarkers: A systematic review. *Psychoneuroimmunol. J*, 4, 1–16. https://doi.org/10.32371/pnij/246145 [in English].

McGill, C.J., & Benayoun, B.A. (2022). Time isn't kind to female T cells. *Nature aging*, 2(3), 189–191. https://doi.org/10.1038/s43587-022-00185-0 [in English].

Minihan, E., Adamis, D., Dunleavy, M., Martin, A., Gavin, B., & McNicholas, F. (2022). COVID-19 related occupational stress in teachers in Ireland. *International Journal of Educational Research Open*, 3, 100114. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2021.100114 [in English].

Mkhikian, H., Hayama, K. L., Khachikyan, K., Li, C., Zhou, R.W., Pawling, J., Klaus, S., Tran, P.Q.N., Ly, K.M., Gong, A.D., Saryan, H., Hai, J.L., Grigoryan, D., Lee, P.L., Newton, B.L., Raffatellu, M., Dennis, J.W., & Demetriou, M. (2022). Age-associated impairment of T cell immunity is linked to sex-dimorphic elevation of N-glycan branching. *Nature aging*, 2(3), 231–242. https://doi.org/10.1038/s43587-021-00086-8 [in English].

Moieni, M., Irwin, M.R., Jevtic, I., Olmstead, R., Breen, E.C., & Eisenberger, N.I. (2015). Sex differences in depressive and socioemotional responses to an inflammatory challenge: implications for sex differences in depression. *Neuropsychopharmacology*, 40(7), 1709–1716. https://doi.org/10.1038/npp.2015.17 [in English].

Nadyukova, I., & Frenzel, A.C. (2025). Ukrainian teachers' stress and coping during the war: Results from a mixed methods study. *Teaching and Teacher Education*, 157, 104941. https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.104941 [in English].

Ndjaboué, R., Brisson, C., & Vézina, M. (2012). Organisational justice and mental health: a systematic review of prospective studies. *Occupational and environmental medicine*, 69(10), 694–700. https://doi.org/10.1136/oemed-2011-100595 [in English].

Noppert, G.A., Stebbins, R.C., Dowd, J.B., & Aiello, A.E. (2023). Socioeconomic and race/ethnic differences in immunosenescence: Evidence from the Health and Retirement Study. *Brain, Behavior, and Immunity*, 107, 361–368. https://doi.org/10.1016/j.bbi.2022.10.019 [in English].

Omarjee, L., Perrot, F., Meilhac, O., Mahe, G., Bousquet, G., & Janin, A. (2020). Immunometabolism at the cornerstone of inflammaging, immunosenescence, and autoimmunity in COVID-19. *Aging (Albany NY)*, 12(24), 26263. https://doi.org/10.18632/aging.202422 [in English].

Pang, W.W., Price, E.A., Sahoo, D., Beerman, I., Maloney, W.J., Rossi, D.J., Schrier, S.L., & Weissman, I.L. (2011). Human bone marrow hematopoietic stem cells are increased in frequency and myeloid-biased with age. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20012–20017. https://doi.org/10.1073/pnas.1116110108 [in English].

Peris-Ramos, H.C., Míguez, M.C., Rodriguez-Besteiro, S., David-Fernandez, S., & Clemente-Suárez, V.J. (2024). Gender-based differences in psychological, nutritional, physical activity, and oral health factors associated with stress in teachers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(4), 385. https://doi.org/10.3390/ijerph21040385 [in English].

Pinti, M., Appay, V., Campisi, J., Frasca, D., Fülöp, T., Sauce, D., Larbi, A., Weinberger, B., & Cossarizza, A. (2016). Aging of the immune system: focus on inflammation and vaccination. *European journal of immunology*, 46(10), 2286–2301. https://doi.org/10.1002/eji.201546178 [in English].

Puzianowska-Kuźnicka, M., Owczarz, M., Wieczorowska-Tobis, K., Nadrowski, P., Chudek, J., Slusarczyk, P., Skalska, A., Jonas, M., Franek, E., & Mossakowska, M. (2016). Interleukin-6 and C-reactive protein, successful aging, and mortality: the PolSenior study. *Immunity & Ageing*, 13(1), 21. https://doi.org/10.1186/s12979-016-0076-x [in English].

Ravichandran, S., Erra-Diaz, F., Karakaslar, O. E., Marches, R., Kenyon-Pesce, L., Rossi, R., Chaussabel, D., Nehar-Belaid, D., LaFon, D. C., Pascual, V., Palucka, K., Paust, S., Nahm, M. H., Kuchel, G. A., Banchereau, J., & Ucar, D. (2024). Distinct baseline immune characteristics associated with responses to conjugated and unconjugated pneumococcal polysaccharide vaccines in older adults. *Nature immunology*, 25(2), 316–329. https://doi.org/10.1038/s41590-023-01717-5 [in English].

Reinke, W.M., Herman, K.C., Stormont, M., & Ghasemi, F. (2025). Teacher stress, coping, burnout, and plans to leave the field: A post-pandemic survey. *School Mental Health*, 17(1), 32–44. https://doi.org/10.1007/s12310-024-09738-7 [in English].

Reitsema, R.D., Kumawat, A.K., Hesselink, B.C., van Baarle, D., & van Sleen, Y. (2024). Effects of ageing and frailty on circulating monocyte and dendritic cell subsets. *npj Aging*, 10(1), 17. https://doi.org/10.1038/s41514-024-00144-6 [in English].

Santoro, A., Bientinesi, E., & Monti, D. (2021). Immunosenescence and inflammaging in the aging process: age-related diseases or longevity?. *Ageing research reviews*, *71*, 101422. https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101422

Schaap, R., de Wind, A., Coenen, P., Proper, K., & Boot, C. (2018). The effects of exit from work on health across different socioeconomic groups: a systematic literature review. *Social Science & Medicine*, 198, 36–45. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2017.12.015 [in English].

Seney, M.L., Huo, Z., Cahill, K., French, L., Puralewski, R., Zhang, J., Logan, R.W., Tseng, G., Lewis, D.A., & Sibille, E. (2018). Opposite molecular signatures of depression in men and women. *Biological psychiatry*, 84(1), 18–27. https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101422 [in English].

Serre-Miranda, C., Roque, S., Barreira-Silva, P., Nobrega, C., Vieira, N., Costa, P., Palha, J. A., & Correia-Neves, M. (2022). Age-related sexual dimorphism on the longitudinal progression of blood immune cells in BALB/cByJ mice. *The Journals of Gerontology: Series A*, 77(5), 883–891. https://doi.org/10.1093/gerona/glab330 [in English].

Simell, B., Vuorela, A., Ekström, N., Palmu, A., Reunanen, A., Meri, S., Käyhty, H., & Väkeväinen, M. (2011). Aging reduces the functionality of anti-pneumococcal antibodies and the killing of Streptococcus pneumoniae by neutrophil phagocytosis. *Vaccine*, 29(10), 1929–1934. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.12.121 [in English].

Simmons, S.R., Tchalla, E.Y., Bhalla, M., & Bou Ghanem, E.N. (2022). The age-driven decline in neutrophil function contributes to the reduced efficacy of the pneumococcal conjugate vaccine in old hosts. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 12, 849224. https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.849224 [in English].

Singh, Y.K., & Gautam, D.N.S. (2024). The impact of job satisfaction on teacher mental health: A call to action for educational policymakers. *Open Education Studies*, 6(1), 20240008. https://doi.org/10.1515/edu-2024-0008 [in English].

Sokolenko, V.L., & Sokolenko, S.V. (2019). *Manifestations of allostatic load in residents of radiation contaminated areas aged 18-24 years. Regulatory Mechanisms in Biosystems,* 10(4), 422–431. https://doi.org/10.15421/021963 [in English].

Takahashi, T., Ellingson, M.K., Wong, P., Israelow, B., Lucas, C., Klein, J., Silva, J., Mao, T., Oh, J.E., Tokuyama, M., Lu, P., Venkataraman, A., Park, A., Liu, F., Meir, A., Sun, J., Wang, E.Y., Casanovas-Massana, A., Wyllie, A.L., Vogels, Ch.B.F., Earnest, R., Lapidus, S., Ott, I.M., Moore, A.J., Yale IMPACT Research Team, & Iwasaki, A. (2020). Sex differences in immune responses that underlie COVID-19 disease outcomes. *Nature*, 588(7837), 315–320. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2700-3 [in English].

Terzioglu, F., Temel, S., & Uslu Sahan, F. (2016). Factors affecting performance and productivity of nurses: professional attitude, organisational justice, organisational culture and mobbing. *Journal of nursing management*, 24(6), 735–744. https://doi.org/10.1111/jonm.12377 [in English].

Van Avondt, K., Strecker, J. K., Tulotta, C., Minnerup, J., Schulz, C., & Soehnlein, O. (2023). Neutrophils in aging and aging-related pathologies. *Immunological Reviews*, 314(1), 357–375. https://doi.org/10.1111/imr.13153 [in English].

Vertanen-Greis, H., Löyttyniemi, E., & Uitti, J. (2020). Voice disorders are associated with stress among teachers: a cross-sectional study in Finland. *Journal of Voice*, 34(3), 488-e1. https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.08.021 [in English].

Wohid, F., Eme, F.W., Fahim, I.H., Mim, M., & Ferdaus, F. (2024). Work Life Balance and Its Influence on Physical and Mental Health Among Female Teachers of Public University in Bangladesh. *Asia Pacific Journal of Medical Innovations*, 1(2), 68–75. https://doi.org/10.70818/apjmi.2024.v01i02.011 [in English].

Wohleb, E.S., Franklin, T., Iwata, M., & Duman, R.S. (2016). Integrating neuroimmune systems in the neurobiology of depression. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(8), 497–511. https://doi.org/10.1038/nrn.2016.69 [in English].

Wright, B.J., Eddy, P.J., & Kent, S. (2022). Work stress, immune, and inflammatory markers. In *Handbook of Socioeconomic Determinants of Occupational Health: From Macro-level to Micro-level Evidence* (pp. 657–675). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31438-5_28 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 631.416.2:504.75:355.48
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.7

ТРАНСФОРМАЦІЯ КИСЛОТНО-ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТОВИХ РОЗЧИНІВ ПІД ВПЛИВОМ ВИБУХІВ: ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ТА НАСЛІДКИ

І. П. Онищук[1], О. Ю. Кичкирук[2]

У роботі представлено результати дослідження кислотно-основних властивостей ґрунтів різних типів (чорноземи південні та звичайні, каштанові, дерново-підзолисті) у зонах техногенного впливу вибухів авіаційних боєприпасів (КАБ) на території Запорізької, Донецької, Херсонської та Сумської областей. Встановлено, що вибухові процеси спричиняють суттєву трансформацію кислотно-основного режиму ґрунтів, яка проявляється у зниженні обмінної кислотності, підвищенні гідролітичної та локальному підкисленні ґрунтового розчину. Найбільш виражені зміни зафіксовано у чорноземах Запорізької області та дерново-підзолистих ґрунтах Сумщини, де спостерігається порушення буферної здатності та накопичення іонів H^+ і Al^{3+} у ґрунтовому вбирному комплексі.

Для кількісної оцінки прихованої кислотності розраховано індекс кислотного навантаження (ІКН), який показав найвищі значення у контрольних дерново-підзолистих ґрунтах (0,001713), що свідчить про їхню природну вразливість до кислотного навантаження. Проби з вирви у Веселівці мали нижчий, але все ще високий ІКН (0,000866), що підтверджує збереження прихованої кислотності після вибуху. У чорноземах Запорізької та Донецької областей ІКН відповідає помірному рівню ризику, тоді як контрольні чорноземи та каштанові ґрунти демонструють низькі значення, що свідчить про їхню відносну стійкість.

Екологічне зонування територій за ступенем ризику дозволило виділити зони дуже високого (дерново-підзолисті ґрунти), високого (зони вибухів у Сумській області), помірного (чорноземи Запорізької та Донецької областей) та низького ризику (контрольні чорноземи, каштанові ґрунти). Отримані результати свідчать про тісний взаємозв'язок між змінами кислотності та рухливістю біогенних і важких металів, здатністю ґрунтів до акумуляції токсичних речовин та їхнім потенціалом самовідновлення. Це підкреслює необхідність системного моніторингу та застосування диференційованих стратегій ремедіації для збереження стійкості ґрунтових екосистем у постконфліктних регіонах.

Ключові слова: *кислотність ґрунту, активна кислотність, обмінна кислотність, військовий вплив, вибухові снаряди.*

[1] кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Onyshchuk-I@zu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-2847-8570
[2] кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: panova_o_yu@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0558-1647

TRANSFORMATION OF ACID-BASE PROPERTIES OF SOIL SOLUTIONS UNDER THE INFLUENCE OF EXPLOSIONS: ECOLOGICAL RISKS AND CONSEQUENCES

I. P. Onyshchuk, O. Yu. Kychkyruk

This study presents the results of an investigation into the acid-base properties of different soil types (southern and typical Chernozems, chestnut soils, sod-podzolic sandy soils) in areas affected by the explosions of aviation bombs (KAB) in Zaporizhzhia, Donetsk, Kherson, and Sumy regions of Ukraine. The findings demonstrate that explosive processes significantly transform the acid-base regime of soils, manifested in decreased exchange acidity, increased hydrolytic acidity, and localized acidification of soil solutions. The most pronounced changes were observed in Chernozems of Zaporizhzhia and sod-podzolic soils of Sumy, where buffer capacity was disrupted and accumulation of H^+ and Al^{3+} ions in the soil adsorption complex was detected.

To quantify hidden acidity, the Acid Load Index (ALI) was calculated as the ratio of hydrolytic acidity to active pH. The highest ALI values were recorded in control sod-podzolic soils (0.001713), indicating their natural vulnerability to acid load. Samples collected from craters in Sumy showed lower but still high ALI values (0.000866), confirming the persistence of hidden acidity after explosions. Chernozems in Zaporizhzhia and Donetsk exhibited moderate ALI values, while control Chernozems and chestnut soils demonstrated low indices, reflecting their relative stability.

Ecological zoning based on risk levels identified areas of very high risk (sod-podzolic soils), high risk (crater samples in Sumy), moderate risk (Chernozems in Zaporizhzhia and Donetsk), and low risk (control Chernozems and chestnut soils). The results highlight a close correlation between changes in soil acidity and the mobility of biogenic and heavy metals, the capacity of soils to accumulate toxic substances, and their potential for self-recovery. These findings emphasize the need for systematic monitoring and differentiated remediation strategies to ensure the resilience of soil ecosystems in post-conflict regions.

Key words: *soil acidity, active acidity, exchange acidity, military impact, explosive shells.*

Вступ

Проблема забруднення ґрунтів вибуховими речовинами набуває особливої актуальності в умовах сучасних воєнних конфліктів, техногенних катастроф та промислового використання вибухових матеріалів. Сучасні воєнні конфлікти супроводжуються масовим застосуванням вибухових речовин, що призводить до глибоких трансформацій ґрунтового покриву. Вибухи змінюють фізико-хімічні параметри ґрунтів, зокрема кислотність, яка є ключовим показником їхньої екологічної функціональності. За даними досліджень, вибухові процеси спричиняють накопичення важких металів, токсичних сполук та продуктів детонації у верхніх горизонтах ґрунту, що створює довготривалі ризики для екосистем. Вибухові сполуки, такі як тринітротолуол (TNT), гексоген (RDX) та октоген (HMX), характеризуються високою стійкістю до природного розкладу, що зумовлює тривале забруднення ґрунтових екосистем і створює значні ризики для довкілля та здоров'я населення. Вибухові сполуки TNT, RDX та HMX широко застосовуються у військових боєприпасах – зокрема в керованих авіаційних бомбах, мінах, артилерійських снарядах різного типу та сучасних вибухових зарядах (у тому числі дронів-камікадзе типу «шахед»). Їх потрапляння у ґрунт призводить до зміни кислотно-основних властивостей ґрунтового розчину, оскільки продукти розкладу (нітрати, нітрити, нітроароматичні сполуки) підкислюють середовище, змінюють буферну здатність ґрунту та впливають на рухливість біогенних іонів (Bernstein & Ronen, 2011; Krainiuk et al., 2025).

Особливу увагу слід приділити саме вивченню особливостей трансформації кислотно-основних властивостей ґрунтових розчинів. Кислотність ґрунту визначає рухливість іонів кальцію, магнію, калію та інших біогенних елементів, необхідних для нормального функціонування фітоценозів. Зміни активної, гідролітичної та обмінної кислотності під впливом вибухів можуть призвести до: зниження буферної здатності ґрунтів; порушення процесів іонного обміну; зменшення доступності поживних речовин для рослин; підвищення токсичності середовища через мобілізацію важких металів таких як свинець (Pb), кадмій (Cd) та цинк (Zn) (Pereira et al., 2022; Hulich et al., 2024) формування довготривалих екологічних ризиків.

В Україні, яка з 2014 року зазнає масштабних воєнних дій, проблема забруднення ґрунтів вибуховими речовинами має довготривалий характер. Зони активних бойових

дій, військові полігони та території з інтенсивною гірничодобувною діяльністю потребують системного моніторингу та розробки ефективних методів ремедіації. Унікальні ґрунтові умови країни – чорноземи, глинисті ґрунти Лісостепу та піщані ґрунти Полісся – демонструють різну здатність до міграції та акумуляції вибухових речовин, що визначає неоднорідність процесів забруднення та потребує диференційованого підходу до оцінки екологічних ризиків і розробки стратегій моніторингу (Кучер, 2022).

Дослідження змін кислотності ґрунтових розчинів унаслідок вибухових процесів є важливим для розуміння механізмів деградації ґрунтових екосистем та створення науково обґрунтованих технологій очищення й відновлення ґрунтів. Це дозволить сформувати базу для екологічного моніторингу, прогнозування наслідків воєнного та техногенного впливу й забезпечення стійкості агроекосистем у постконфліктних регіонах.

Попри те, що окремі дослідження в Україні засвідчили підвищення кислотності ґрунтів унаслідок бойових дій, систематизовані дані щодо масштабів та механізмів цього впливу залишаються обмеженими (Yakymchuk et al., 2024; Solokha et al., 2024). Відсутність узагальненої інформації ускладнює розробку ефективних заходів моніторингу та відновлення екосистем, що перебувають під тиском військових факторів. У цьому контексті особливої актуальності набуває створення стратегій відновлення кислотно-лужного балансу ґрунтів у зонах бойових дій (Solokha et al., 2024)

Дослідження наслідків вибухових процесів для ґрунтів має також глобальне значення. Історичні приклади, зокрема забруднення арсеном у Франції після Першої світової війни, демонструють, що наслідки військових впливів можуть зберігатися десятиліттями, формуючи довготривалі екологічні ризики (Сплодитель та ін., 2023).

Таким чином, вивчення трансформації кислотно-основних властивостей ґрунтів унаслідок вибухових процесів є надзвичайно актуальним у контексті сучасних воєнних конфліктів. Воно дозволяє оцінити екологічні ризики та сформувати рекомендації для відновлення й збереження ґрунтових екосистем, що має стратегічне значення для екологічної безпеки та стійкого розвитку.

Мета дослідження: встановити закономірності трансформації активної, гідролітичної та обмінної кислотності ґрунтових розчинів під впливом вибухових процесів та спрогнозувати їхній вплив на абсорбційну здатність ґрунтових часточок, акумуляцію токсичних компонентів і рухливість біогенних іонів, необхідних для стабільного функціонування фітоценозів.

Завдання дослідження:

1. Визначити показники активної, гідролітичної та обмінної кислотності ґрунтових розчинів у змішаних пробах із зон вибухового впливу.

2. Оцінити вплив трансформації кислотності на абсорбційну здатність ґрунтових часточок та процеси акумуляції токсичних компонентів.

3. Дослідити особливості рухливості біогенних іонів, необхідних для функціонування фітоценозів, у зміненому кислотно-основному середовищі.

4. Спрогнозувати екологічні ризики та наслідки для стійкості ґрунтових екосистем і розробити рекомендації щодо моніторингу та мінімізації негативних впливів.

Матеріал і методи

Для дослідження були відібрані ґрунтові проби у місцях вибухів керованих авіаційних бомб (КАБ), а також контрольні проби з ділянок, які не зазнали техногенного впливу. Контрольні зразки відбиралися на відстані 100–300 м від епіцентру вибуху, з аналогічним типом ґрунту та способом його використання (рілля, луки), без видимих ознак військового чи техногенного навантаження (табл. 1).

Таблиця 1

Опис відібраних проб ґрунтів

№ проби	Місце відбору	Джерело ураження
№ 1	Запорізька обл., с. Роботино	КАБ
№ 2	Запорізька обл., с. Мала Токмачка	КАБ
№ 3	Запорізька обл., с. Біленьке	КАБ
№ 4	Донецька обл., м. Покровськ	КАБ
№ 5	Донецька обл., с. Білецьке	КАБ
№ 6	Херсонська обл., м. Херсон	КАБ
№ 7	Сумська обл., с. Веселівка	КАБ

Примітка: в таблиці не вказані контрольні зразки

Для оцінки кислотно-основного режиму ґрунтів відбиралися змішані проби, сформовані з кількох точок у межах досліджуваної ділянки (центр вирви, прилегла територія на відстані 1–5 м, контрольна зона). Отримані індивідуальні зразки ґрунту об'єднувалися

у єдину інтегровану пробу, яка слугувала усередненим показником для оцінки змін кислотності. Такий підхід дозволяє визначити загальний рівень трансформації кислотно-основних властивостей ґрунтового розчину під впливом вибухових процесів, враховуючи як імпактні, так і периферійні зони забруднення. Проби відібрані поблизу населених пунктів які систематично зазнають обстрілів КАБами.

Визначення активної кислотності (концентрації іонів H^+) у ґрунтовому розчині проводили потенціометричним методом. Наважку 6,00 г повітряно-сухого ґрунту змішували з 25 мл дистильованої води (співвідношення ґрунт : вода = 1 : 4,2). Суспензію перемішували протягом 15 хвилин на шейкері ЛАБ-ПУ-02, після чого вимірювали pH у відстояній суспензії за допомогою електронного pH-метра зі скляним електродом "PH800 Benchtop pH Meter" фірми "Apera" (USA) з попереднім калібруванням буферними розчинами (pH = 4,00 та pH = 7,00). Для кожного зразка виконували три паралельні вимірювання.

Для визначення кислотності, зумовленої обмінними іонами H^+ та Al^{3+}, використовували екстракцію 10,00 г ґрунту 25 мл 1 М розчину KCl (співвідношення 1 : 2,5). Суспензію інтенсивно збовтували протягом 15 хвилин, після чого фільтрували й визначали pH фільтрату потенціометричним методом.

Для визначення кількості іонів H^+ та Al^{3+}, здатних до обміну з буферним розчином, застосовували метод титриметричного аналізу. Наважку 40,00 г ґрунту екстрагували 100 мл 1 М розчину натрій ацетату (pH 8,2). Суміш збовтували протягом 30 хвилин, після чого фільтрували. Аліквоту 50 мл прозорого фільтрату титрували 0,10 М розчином NaOH з фенолфталеїном як індикатором. Кінцеву точку титрування визначали за появою стійкого блідо-рожевого забарвлення.

Гідролітичну кислотність ґрунту $H_{гідр}$ виражали у ммоль еквівалентів H^+ на 1 кг ґрунту та розраховували за наступною формулою:

$$H_{гідр.} = \frac{V_{NaOH} \cdot C_{NaOH} \cdot 1000 \cdot K}{a}$$

де: V_{NaOH} – об'єм розчину NaOH, що пішов на титрування, мл; C_{NaOH} – молярна концентрація еквіваленту розчину NaOH, моль екв/л; a – наважка ґрунту в аліквоті, г; K – коефіцієнт перерахунку на 1 кг ґрунту та на ммоль еквівалентів.

Результати

Порівняльний аналіз показників активної (pH_{H_2O}), обмінної (pH_{KCl}) та гідролітичної кислотності ($H_г$) дозволяє виявити характер впливу вибухових процесів на кислотно-основний режим ґрунтів у досліджуваних зонах. В таблиці 2 представлені результати вимірювання активної, обмінної та гідролітичної кислотності для всіх відібраних змішаних проб.

Аналіз отриманих даних свідчить про диференційований вплив вибухових процесів на кислотно-основні властивості ґрунтів різних типів. Зокрема у пробі № 1 зафіксовано зниження показників pH, що вказує на локальне підкислення ґрунту та порушення його природної буферної здатності. Подібні зміни можуть бути наслідком інтенсивного насичення ґрунтового розчину продуктами детонації.

Ґрунтовий розчин проби № 2 характеризується значеннями pH, нижчими за природну норму, що свідчить про техногенний

Таблиця 2

Порівняння різних видів кислотності з природною

№ проби	Активна pH_{H_2O}	Обмінна pH_{KCl}	Гідролітична $[H^+]$, ммоль/л	Тип ґрунту	Межі pH
№ 1	6,76 ± 0,05	6,52 ± 0,05	0,0026 ± 0,0002	Чорнозем південний	6,5–7,2
№ 2	6,41 ± 0,05	6,46 ± 0,05	0,0037 ± 0,0003	Чорнозем звичайний	6,5–7,2
№ 3	7,13 ± 0,05	7,01 ± 0,05	0,0014 ± 0,0001	Чорнозем звичайний	6,5–7,2
№ 4	7,09 ± 0,05	6,72 ± 0,05	0,0007 ± 0,0001	Чорнозем або темно-каштановий	6,5–7,2
№ 5	7,01 ± 0,05	6,63 ± 0,05	0,0024 ± 0,0002	Чорнозем або дерново-карбонатний	6,5–7,2
№ 6	7,33 ± 0,05	6,74 ± 0,05	0,0013 ± 0,0001	Каштановий або солонцюватий	7,0–7,5
№ 7	6,81 ± 0,05	5,37 ± 0,05	0,0059 ± 0,0004	Дерново-підзолистий, піщаний	5,0–5,5

Примітка: похибки наведено згідно з технічними характеристиками приладу та повторними вимірюваннями (n=3)

вплив вибуху та порушення кислотно-основного балансу. У пробі № 3 показники кислотності залишаються в межах природних значень (pH_{H_2O} = 7,13 та pH_{KCl} = 7,01). Відсутність суттєвих змін може бути зумовлена високою буферною здатністю чорноземів, яка забезпечується значним вмістом гумусу та карбонатів. Ці ґрунти здатні нейтралізувати продукти детонації та підтримувати стабільний кислотно-основний баланс навіть у зоні прямого вибухового впливу. Таким чином, результати дослідження проби № 3 свідчать про відносну стійкість чорноземів до кислотного навантаження та їхню здатність до саморегуляції.

Проба № 4 (чорнозем або темно-каштановий ґрунт) характеризується нейтральною реакцією ґрунтового розчину (pH_{H_2O} = 7,09; pH_{KCl} = 6,72), що відповідає природним межам для даного типу ґрунтів (pH 6,5–7,2). Відсутність значних відхилень від нормативних показників свідчить про збереження буферної здатності ґрунтового вбирного комплексу та обмежений вплив вибухових процесів. Незначне зниження обмінної кислотності може бути інтерпретоване як ознака слабкого техногенного навантаження, яке не призвело до суттєвої трансформації кислотно-основного режиму. У пробі № 5 також зафіксовано нейтральну реакцію, проте спостерігається незначне підкислення, яке може бути пов'язане з локальним забрудненням продуктами вибуху.

Проба № 6 характеризується нормальними показниками кислотності, що відповідають природним межам (pH 7,0–7,5). Водночас бурий фільтрат свідчить про наявність органічного забруднення, яке не відобразилося безпосередньо у значеннях pH, але може мати екологічні наслідки.

Найбільш виражені зміни зафіксовано у пробі № 7 (дерново-підзолистий, піщаний ґрунт). Активна кислотність підвищена до нейтральних значень (pH_{H_2O} = 6,81), тоді як обмінна кислотність знижена (pH_{KCl} = 5,37). Це свідчить про хімічний вплив вибухових процесів, порушення іонного балансу та зниження буферної здатності ґрунту.

Аналіз кислотно-основних властивостей ґрунтів в областях, які зазнають систематичного впливу вибухових процесів показав суттєві відмінності, зумовлені як природними особливостями ґрунтових типів, так і техногенним впливом вибухів авіаційних боєприпасів (КАБ) (Табл. 3). Зокрема в пробах з Запорізької області (№ 1-3), ґрунти чорноземів південного та звичайного типів, зафіксовано зниження активної кислотності порівняно з природними межами (6,5–7,2), що свідчить про вплив вибухових процесів. Гідролітична кислотність у цих зразках є підвищеною (0,0026–0,0037 ммоль/л), що вказує на накопичення іонів H^+ та Al^{3+} у ґрунтовому вбирному комплексі. Обмінна кислотність також має нижчі значення, що може бути ознакою деструкції ґрунтової структури та зниження буферної здатності.

У пробах чорноземів та темно-каштанових ґрунтів з Донецької області (№ 4-5) активна кислотність залишалася в межах природної норми, проте обмінна кислотність визначається як знижена, особливо в пробі № 5. Це може свідчити про локальне порушення іонного обміну. Гідролітична кислотність характеризується низькими значеннями, що вказує на відносну стабільність ґрунтового буферу, але водночас наявний потенційний ризик при повторному забрудненні.

У пробі каштанових ґрунтів з проби № 6 зафіксували активну кислотність, вищу за середні природні значення, що відповідають нейтральній або слабколужній реакції ґрунтового розчину. Водночас бурий фільтрат з проби свідчив про наявність органічних або металовмісних забруднювачів, які не вплинули на pH, але можуть становити токсичну небезпеку для екосистем (табл. 3).

Контрольна проба дерново-підзолистого піщаного ґрунту порівняно з досліджуваною пробою № 7 має низький pH (5,31), що відповідає природній кислотності для ґрунтів Полісся. Проба, відібрана з вирви, характеризується підвищеною активною кислотністю (pH_{H_2O} = 6,81) при одночасному зниженні обмінної кислотності (pH_{KCl} = 5,37). Це свідчить про локальне хімічне насичення продуктами вибуху, які підвищили концентрацію H^+ у ґрунтовому розчині, але порушили здатність ґрунту до іонного обміну (див. табл. 3).

Дослідження змішаних проб з вирв на території Запорізької, Донецької, Херсонської та Сумської областей ілюструють суттєві відмінності у кислотно-основному режимі ґрунтових розчинів залежно від типу ґрунту та техногенного навантаження. У чорноземах Запорізької області (проби № 1 та № 2) зафіксовано зниження активної та обмінної кислотності порівняно з природними межами, величина pH яких становить 6,5–7,2, що свідчить про локальне підкислення та порушення буферної здатності.

У ґрунтах Донецької області (проби № 4 та № 5) активна кислотність залишалася в межах норми, проте обмінна була нижчою, що може свідчити про локальне порушення іонного обміну. У ґрунтових пробах з передмістя м. Херсон показники pH відповідають природним межам каштанових ґрунтів, однак бурий фільтрат свідчив про органічне забруднення. Найбільш виражені зміни зафіксовані у пробі із Сумської області № 7: контрольна проба мала природно кислу реакцію (pH 5,31), тоді як проба з вирви характеризувалася підвищеною активною кислотністю (pH_{H_2O} 6,81) при одночасному зниженні обмінної (pH_{KCl} = 5,37), що свідчить про значне хімічне насичення продуктами вибуху.

Для кількісної оцінки прихованої кислотності розраховано індекс кислотного навантаження (ІКН) як співвідношення гідролітичної кислотності до активної (табл. 4).

Найвищі значення ІКН зафіксовано у дерново-підзолистих ґрунтах Сумської області що свідчить про природну вразливість цих ґрунтів до кислотного навантаження. Проба № 7 з вирви характеризується нижчим ІКН (0,000866) відносно контрольної проби – 0,001713, але все ще порівняно високим, що підтверджує збереження прихованої кислотності після вибуху. У чорноземах Запорізької області (№ 2 – 0,000577; № 1– 0,000384) та Донецької області (№ 5 – 0,000348). Проби № 3 (0,000193), а також ґрунт з передмістя Херсона № 6 (0,000181) та № 4 (0,000095) характеризуються низьким або дуже низьким ІКН, що відповідає нейтральним ґрунтам зі збереженою буферною здатністю.

Отже, на основі аналізу отриманих даних виділено такі рівні екологічного ризику:

– Зона високого ризику: дерново-підзолисті ґрунти Сумської області (проба з вирви). Після вибуху ІКН є досить висо-

Таблиця 3

Порівняльні результати активної та обмінної кислотності

№ проби	Активна кислотність (pH_{H_2O})	Обмінна кислотність (pH_{KCl})	Відхилення від природної норми	Інтерпретація
№ 1	6,76 ± 0,05	6,52 ± 0,05	нижче нейтральної (6,5–7,2)	локальне підкислення, зниження буферної здатності
№ 2	6,41 ± 0,05	6,46 ± 0,05	нижче нейтральної (6,5–7,2)	підкислення, порушення іонного обміну
№ 3	7,13 ± 0,05	7,01 ± 0,05	відповідає нормі	стабільний стан, без впливу
№ 4	7,09 ± 0,05	6,72 ± 0,05	відповідає нормі	нейтральна реакція, слабкий вплив
№ 5	7,33 ± 0,05	6,74 ± 0,05	відповідає нормі (7,0–7,5)	нормальний стан, але бурий фільтрат → органічне забруднення
№ 6	7,01 ± 0,05	6,63 ± 0,05	відповідає нормі	нейтральна реакція, незначне підкислення
№ 7	6,81 ± 0,05	5,37 ± 0,05	активна кислотність вище норми, обмінна нижча	хімічне насичення продуктами вибуху, порушення іонного балансу

Таблиця 4

Індекс кислотного навантаження та порівняння прихованої кислотності

№ проби	Активна кислотність (pH_{H_2O})	Гідролітична [H^+], ммоль/л	ІКН	Ризик
№ 1	6,76 ± 0,05	0,0026 ± 0,0002	0,000384	помірний
№ 2	6,41 ± 0,05	0,0037 ± 0,0003	0,000577	помірно-високий
№ 3	7,13 ± 0,05	0,0014 ± 0,0001	0,000193	низький
№ 4	7,09 ± 0,05	0,0007 ± 0,0001	0,000095	дуже низький
№ 5	7,33 ± 0,05	0,0024 ± 0,0002	0,000348	помірний
№ 6	7,01 ± 0,05	0,0013 ± 0,0001	0,000181	низький
№ 7	6,81 ± 0,05	0,0059 ± 0,0004	0,000866	високий

Примітка: джерело порогів: дуже високий > 0,001; високий 0,0008–0,001; помірно-високий 0,0006–0,0008; помірний 0,0003–0,0006; низький 0,00015–0,0003; дуже низький < 0,00015 (ДСТУ…, 2004)

ким, активна кислотність (pH_{H_2O}) підвищена до нейтральнішої, тоді як гідролітична кислотність залишається значною. Це типовий профіль після вибуху: розчин насичений продуктами детонації, а поглинальний комплекс утримує кислотні форми іонів. Рекомендовані цільові заходи ремедіації (вапнування, внесення органо-мінеральних амендаторів, моніторинг Al^{3+}). Слід зазначити, що в зоні дуже високого ризику знаходяться дерново-підзолисті ґрунти Сумської області. Високий ІКН без техногенного впливу свідчить про природну структурну вразливість до додаткового кислотного навантаження, високий ризик для кореневих систем, зумовлений токсичністю Al^{3+} та вилуговування базових катіонів.

– Зона помірного ризику: чорноземи Запорізької та Донецької областей, Характеризуються підвищеною прихованою кислотністю, що потребує превентивних дій (локальне вапнування, контроль базових катіонів, повторні вимірювання після опадів). Помірні значення ІКН свідчать про підкислення вбирного комплексу чорноземів – нетипове для природно нейтральних ґрунтів.

В таких ґрунтах можливе зниження доступності Ca^{2+}/Mg^{2+} та підвищення рухливості металів у мікрозонах.

– Зона низького ризику: контрольні проби чорноземів Запорізької області, каштанових ґрунтів поблизу Херсона та чорноземиів поблизу м. Покровськ. Отримані результати відповідають природним показникам кислотності, потребують підтримувального моніторингу; додатково слід вивчити супутні забруднювачі (органічні та металеві включення).

Таким чином, інтегрований аналіз кислотно-основних властивостей та індексу кислотного навантаження дозволяє не лише оцінити локальні зміни pH, але й визначити приховану кислотність та потенційні ризики для ґрунтового поглинального комплексу.

Обговорення

Отримані результати дослідження кислотності ґрунтових розчинів проб, які відібрані з вирв поблизу населених пунктів Запорізької, Донецької, Херсонської та Сумської областей свідчать про суттєві зміни кислотно-основних властивостей ґрунтів під впливом вибухових процесів та речовин, зокрема проби № 1 та № 2 характеризуються зниженням активної та обмінної кислотності порівняно з контрольними значеннями характерними для чорноземів, що вказує на локальне підкислення та порушення буферної здатності в результаті техногенного навантаження. Подібні тенденції підтверджуються дослідженнями описаними (Khomiak et al., 2025), які показали, що вибухи спричинені безпілотними літальними апаратами, призводять до підвищення концентрації іонів H^+ у ґрунтовому розчині та зміни напрямків сукцесії рослинності на території Полісся.

У Сумській області контрольні проби дерново-підзолистих ґрунтів мають кислу реакцію (pH ≈ 5,3), що відповідає даним про природну кислотність поліських ґрунтів (Зайцев та ін., 2022). Однак аналіз змішаної проби з вирви № 7 показав підвищення активної кислотності до нейтральних значень (pH_{H_2O} ≈ 6,8) при одночасному зниженні обмінної кислотності. Це свідчить про хімічне насичення ґрунтового розчину продуктами детонації та порушення іонного балансу. Подібні явища описані щодо забруднення ґрунтів Харківської області (Solokha et al., 2025), де зазначено, що військові дії в Україні спричиняють довготривале забруднення ґрунтів вибуховими сполуками, які змінюють кислотно-основний режим і знижують родючість ґрунтів.

Дані з Донецької області (проби № 4 та № 5) та Херсону (проба № 6) показали відносно стабільні значення активної кислотності (pH_{H_2O} = 7,0–7,3), проте обмінна кислотність була нижчою, що свідчить про приховане порушення ґрунтового вбирного комплексу. Це узгоджується з висновками (Krainiuk et al., 2025), які вказують, що воєнні операції призводять до накопичення важких металів та токсичних сполук у ґрунтах, що може не одразу проявлятися у зміні активного pH, але суттєво впливає на буферні властивості ґрунтового розчину та рухливість біогенних іонів.

Важливим показником є співвідношення гідролітичної кислотності до активної (ІКН). Подібні результати наведені у роботі (Hryhoriv et al., 2024), де показано, що зміни буферної здатності ґрунтів під впливом антропогенних факторів призводять до накопичення прихованої кислотності та підвищення токсичності Al^{3+}.

Отримані результати також демонструють тісний взаємозв'язок між змінами кислотності ґрунтів та активністю біогенних та важких металів, Зниження обмінної кислотності створює умови для підвищеної рухливості іонів Ca^{2+}, Mg^{2+} та K^+, що є критично важливими для підтримання життєдіяль-

ності фітоценозів, Водночас підвищення гідролітичної кислотності сприяє мобілізації токсичних форм Al^{3+} та Fe^{2+}, які у високих концентраціях можуть пригнічувати розвиток кореневої системи рослин. Подібні закономірності описані у роботах (Hryhoriv et al., 2024), де показано, що підвищення прихованої кислотності ґрунтів призводить до зростання токсичності алюмінію та зниження доступності базових катіонів.

Важкі метали, такі як Pb, Cd та Zn, накопичуються у верхніх горизонтах ґрунту під впливом вибухових процесів, що посилюється при зниженні pH. Отримані у роботі результати підтверджують цю тенденцію: у пробах № 1 та № 2 зафіксовано зниження обмінної кислотності, що може сприяти підвищеній рухливості важких металів і їхньому переходу у ґрунтовий розчин. Це створює ризики вторинного забруднення ґрунтових вод та довготривалої токсичності для агроекосистем (Kabata-Pendias, 2011; Онищук та ін., 2025).

Здатність ґрунту до акумуляції шкідливих речовин також залежить від його кислотно-основного режиму. Підвищена гідролітична кислотність у пробі № 7 свідчить про накопичення іонів H^+ та Al^{3+} у ґрунтовому поглинальному комплексі, що знижує його буферну здатність і підвищує ризик акумуляції токсичних сполук. Це узгоджується з висновками (Сплодитель та ін., 2023), які зазначають, що вибухові речовини TNT, RDX та HMX здатні тривалий час зберігатися у ґрунтах, утворюючи стійкі комплекси з органічною речовиною та мінеральними часточками (Mystrioti & Papassiopi, 2024).

Щодо потенціалу самовідновлення ґрунтів, результати показують, що чорноземи Запорізької та Донецької областей мають відносно високий рівень буферної здатності, що дозволяє їм частково компенсувати кислотне навантаження. Це підтверджується даними (Mystrioti & Papassiopi, 2024), де зазначено, що чорноземи завдяки високому вмісту гумусу здатні до поступового відновлення кислотно-основного балансу. Водночас дерново-підзолисті ґрунти Сумщини характеризуються низькою буферною здатністю, що обмежує їхню здатність до самовідновлення і потребує застосування ремедіаційних заходів (вапнування, внесення органічних амендаторів).

Таким чином, отримані результати узгоджуються з даними сучасних досліджень і підтверджують, що вибухові процеси призводять до комплексної трансформації кислотно-основних властивостей ґрунтів. Найбільш небезпечні зміни спостерігаються у чорноземах Запорізької області та дерново-підзолистих ґрунтах Сумщини, де фіксується зниження обмінної кислотності та підвищення гідролітичної. Це створює ризики для агроекосистем, знижує доступність біогенних елементів і підвищує токсичність середовища. Потенціал самовідновлення залежить від типу ґрунту: чорноземи мають відносно високі компенсаторні можливості, тоді як дерново-підзолисті ґрунти залишаються найбільш вразливими. Це підкреслює необхідність системного моніторингу та розробки стратегій ремедіації для збереження стійкості ґрунтових екосистем у постконфліктних регіонах.

Висновки

1. Вибухові процеси суттєво трансформують кислотно-основні властивості ґрунтів. У пробах із Запорізької та Сумської областей зафіксовано зниження обмінної кислотності та підвищення гідролітичної, що свідчить про накопичення іонів H^+ та Al^{3+} у ґрунтовому вбирному комплексі та порушення його буферної здатності.

2. Індекс кислотного навантаження (ІКН) підтверджує наявність прихованої кислотності. Найвищі значення ІКН зафіксовано у дерново-підзолистих ґрунтах Сумщини, що вказує на їхню природну вразливість до кислотного навантаження. У чорноземах Запорізької області ІКН є помірним, але перевищує контрольні значення, що свідчить про техногенний вплив вибухів.

3. Зміни кислотності корелюють із рухливістю біогенних та важких металів. Зниження обмінної кислотності сприяє мобілізації токсичних форм Al^{3+} та Fe^{2+}, а також підвищує рухливість Pb, Cd та Zn. Це створює ризики вторинного забруднення ґрунтових вод та зниження доступності Ca^{2+}, Mg^{2+} і K^+ для рослин. Зокрема, активна кислотність у більшості проб залишається близькою до нейтральної, але обмінна кислотність систематично нижча, що є індикатором порушення ґрунтового вбирного комплексу.

4. Здатність ґрунтів до акумуляції шкідливих речовин залежить від їхнього типу. У дерново-підзолистих ґрунтах Сумської області спостерігається висока схильність до накопичення токсичних компонентів через низьку буферну здатність. Чорноземи Запорізької та Донецької областей демонструють відносно вищу стійкість, проте також зазнають локальних змін кислотності.

5. Потенціал самовідновлення ґрунтів є диференційованим. Чорноземи завдяки

високому вмісту гумусу мають здатність частково компенсувати кислотне навантаження та поступово відновлювати кислотно-основний баланс. Дерново-підзолисті ґрунти залишаються найбільш вразливими та потребують застосування ремедіаційних заходів (вапнування, внесення органічних амендаторів).

6. Екологічні ризики мають довготривалий характер. Отримані результати узгоджуються з міжнародними дослідженнями, які показують, що вибухові речовини TNT, RDX та HMX здатні тривалий час зберігатися у ґрунтах, змінюючи їхні кислотно-основні властивості та створюючи загрозу для агроекосистем і ґрунтових вод.

Таким чином, дослідження підтверджує, що трансформація кислотно-основних властивостей ґрунтів унаслідок вибухових процесів є комплексним явищем, яке охоплює зміни буферної здатності, рухливість біогенних та важких металів, акумуляцію токсичних речовин і потенціал самовідновлення. Це підкреслює необхідність системного моніторингу та розробки диференційованих стратегій ремедіації для збереження стійкості ґрунтових екосистем у постконфліктних регіонах.

Список використаної літератури

ДСТУ 4362:2004 «Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів». Наказ від 09.12.2004 № 273. [Електронний ресурс]. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=67099 (дата звернення 22.12.2025)

Зайцев Ю.О., Грищенко О.М., Романова С.А., Зайцева І.О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у грунтах Сумського та Охтирського районів Сумської обл. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 3. С. 136–149. https://doi.org/10.33730/2077-4893.32022.266419

Кучер А. Методика оцінювання збитків, завданих збройною агресією земельному фонду та ґрунтам: проблеми та напрями вдосконалення. *Journal of Innovations and Sustainability*. 2022. Vol. 6(2). P. 10. https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10.

Онищук І. П., Кичкирук О. Ю., Гаврилова А. М. Визначення вмісту іонів важких металів у ґрунтах, трансформованих у результаті вибухів. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 381–393. DOI: https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.36.

Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., Сорокіна Л. Вплив війни Росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. Київ : ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія»», 2023. 154 с. [Електронний ресурс]. URL: https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii2.pdf (дата звернення 22.12.2025).

Bernstein A., Ronen Z. Biodegradation of the Explosives TNT, RDX and HMX. In book: *Microbial Degradation of Xenobiotics*. 2011. P. 135–176. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23789-8_5.

Hryhoriv Y., Butenko A., Solovei H., Filon V., Skydan M., Kravchenko N., Masyk I., Zakharchenko E., Tykhonova O., Polyvanyi A. Study of the Impact of Changes in the Acid-Base Buffering Capacity of Surface Sod-Podzolic Soils. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. 25(6). P. 73–79. https://doi.org/10.12911/22998993/186928.

Hulich M.P., Kharchenko O.O., Yemchenko N.L., Olshevska O.D., Lyubarska L.S. The war in Ukraine: the problem of heavy metal contamination of agricultural land and products. Аналіз літературних даних. *Environment & Health*. 2024. 4(113). P. 38-44. https://doi.org/10.32402/dovkil2024.04.038.

Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 2011. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b10158.

Khomiak I.V., Onyshchuk I.P., Kychkyruk O.Y., Vakerych M.M., Hasynets Y.S., Schwartau V.V. The impact of strike UAV explosions on soil acidity and vegetation dynamics. *Biosystems Diversity*. 2025. Vol. 33 No. 2. https://doi.org/10.15421/012530.

Krainiuk O.V., Buts Y.V., Ponomarenko R.V., Asotskyi V.V., Darmofal E.A., Kalynovskyi A.Y., Maniuk V.V. Environmental consequences of military operations in Ukraine on the example of soil research in the Kharkiv region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2025. 34(2). P. 304–317. https://doi.org/10.15421/112526.

Mystrioti C., Papassiopi N. A comprehensive review of remediation strategies for soil and groundwater contaminated with explosives. *Sustainability*. 2024. 16(3) P. 961. https://doi.org/10.3390/su16030961.

Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*. 2022. 837. P. 155865. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865.

Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N., Sementsova K., Mariychuk R. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. 13(10). P. 1614. https://doi.org/10.3390/land13101614.

Solokha M., Melnyk O., Cannon N., Horton M., Datsko O., O'Connor D. Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of The Total Environment*. 2025. 995. 180105. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180105.

Yakymchuk A., Balanda O., Bzowska-Bakalarz M. Assessment of soil contamination of Ukraine with heavy metals. *Scientific Papers of Silesian University of Technology*. 2024. 196. P. 667–685. http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2024.196.45.

References

DSTU 4362:2004. (2004). *Yiakist gruntu. Pokaznyky rodiuchosti gruntiv* [Soil quality. Indicators of soil fertility]. State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine. [Electronic resource] https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=67099 (access date 22.12.2025) [in Ukrainian].

Zaitsev, Y.O., Hryshchenko, O.M., Romanova, S.A., & Zaitseva, I.O. (2022). Vplyv boiovykh dii na vmist valovykh form vazhkykh metaliv u hruntakh Sumskoho ta Okhtyrskoho raioniv Sumskoi obl [The impact of military actions on the content of total forms of heavy metals in the soils of Sumy and Okhtyrka districts of Sumy region]. *Ahroekolohichnyy zhurnal [Agroecological Journal]*, (3), 136–149. https://doi.org/10.33730/2077-4893.32022.266419 [in Ukrainian].

Kucher, A. (2022). Metodyka otsiniuvannia zbytkiv, zavdanykh zbroinoiu ahresiieiu zemelnomu fondu ta gruntam: problemy ta napriamy vdoskonalennia [Methodology for assessing damage caused by armed aggression to the land fund and soils: problems and directions for improvement]. *Journal of Innovations and Sustainability*, *6*(2), 10. https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.10 [in Ukrainian].

Onyshchuk, I. P., Kychkyruk, O. Y., & Havrylova, A. M. (2025). Vyznachennia vmistu ioniv vazhkykh metaliv u hruntakh, transformovanykh u rezultati vybuchiv [Determination of the content of heavy metal ions in soils transformed as a result of explosions]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, (13), 381–393. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.36 [in Ukrainian].

Splodytel, A., Holubtsov, O., Chumachenko, S., & Sorokina, L. (2023). *Vplyv viiny Rosii proty Ukrainy na stan ukrainskykh gruntiv. Rezultaty analizu* [The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. Analysis results]. NGO "Center for Environmental Initiatives "Ecoaction"". [Electronic resource] https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii2.pdf (access date 22.12.2025) [in Ukrainian].

Bernstein, A., & Ronen, Z. (2011). Biodegradation of the explosives TNT, RDX and HMX. In *Microbial Degradation of Xenobiotics* (pp. 135-176). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23789-8_5 [in English].

Hryhoriv, Y., Butenko, A., Solovei, H., Filon, V., Skydan, M., Kravchenko, N., Masyk, I., Zakharchenko, E., Tykhonova, O., & Polyvanyi, A. (2024). Study of the impact of changes in the acid-base buffering capacity of surface sod-podzolic soils. *Journal of Ecological Engineering*, *25*(6), 73–79. https://doi.org/10.12911/22998993/186928 [in English].

Hulich, M. P., Kharchenko, O. O., Yemchenko, N. L., Olshevska, O. D., & Lyubarska, L. S. (2024). The war in Ukraine: The problem of heavy metal contamination of agricultural land and products. *Environment & Health*, *4*(113), 38-44. https://doi.org/10.32402/dovkil2024.04.038 [in English].

Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace elements in soils and plants*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b10158 [in English].

Khomiak, I.V., Onyshchuk, I.P., Kychkyruk, O.Y., Vakerych, M.M., Hasynets, Y.S., & Schwartau, V.V. (2025). The impact of strike UAV explosions on soil acidity and vegetation dynamics. *Biosystems Diversity*, *33*(2). https://doi.org/10.15421/012530 [in English].

Krainiuk, O.V., Buts, Y.V., Ponomarenko, R.V., Asotskyi, V.V., Darmofal, E.A., Kalynovskyi, A.Y., & Maniuk, V.V. (2025). Environmental consequences of military operations in Ukraine on the example of soil research in the Kharkiv region. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, *34*(2), 304–317. https://doi.org/10.15421/112526 [in English].

Mystrioti, C., & Papassiopi, N. (2024). A comprehensive review of remediation strategies for soil and groundwater contaminated with explosives. *Sustainability*, *16*(3), 961. https://doi.org/10.3390/su16030961 [in English].

Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I., & Barcelo, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*, *837*, 155865. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155865 [in English].

Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, *13*(10), 1614. https://doi.org/10.3390/land13101614 [in English].

Solokha, M., Melnyk, O., Cannon, N., Horton, M., Datsko, O., & O'Connor, D. (2025). Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of The Total Environment*, *995*, 180105. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180105 [in English].

Yakymchuk, A., Balanda, O., & Bzowska-Bakalarz, M. (2024). Assessment of soil contamination of Ukraine with heavy metals. *Scientific Papers of Silesian University of Technology*, 196, 667–685. http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2024.196.45 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 30.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 576.31:591.424:599.742.17
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.8

ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ ЛЕГЕНІВ ЛИСИЦІ ЗВИЧАЙНОЇ *(VULPES LINNAEUS, 1758)*

І. В. Цанько[1], Л. П. Горальський[2]

Найтиповішим розповсюдженим представником хребетних тварин класу Ссавці у фауні дикої природи із родини собачих є лисиця звичайна (Vulpes vulpes Linnaeus, 1758), яка здавна виступає об'єктом промислового, зоологічного та наукового інтересу. Добре пристосовуючись до різних умов, цей вид широко розповсюджений у природних та антропогенних біотопах, зокрема в лісах, на відкритих територіях, у передмістях і навіть урбанізованих зонах.

Тому морфологічні дослідження дикої фауни на органному рівні, особливо органів дихання, набуває особливої актуальності. Це пов'язано з тим, що орган дихання у хребетних тварин є однією з найважливіших функціональних систем організму, забезпечуючи газообмін, терморегуляцію, регуляцію кислотно-лужного балансу, та беруть участь в імунному захисті. При порівняльні видові дослідження апарату дихання має важливе значення для розуміння еволюційних адаптацій, оцінки функціонального стану тощо.

Метою дослідження було з'ясувати морфологічні особливості будови легенів лисиці звичайної на макро- та мікроскопічному рівнях. Макроскопічно встановлено, що міжчасткові вирізки легенів мають значну глибину і досягають головного бронха. Усі частки легенів (правої та лівої) не з'єднані між собою паренхімою, за вийнятком краніальної і середньої часток лівої легені, які поєднані в дорсальній ділянці. За результатами органометрії, загальна довжина легень дорівнює 14,9 ± 0,35 см, ширина – 13,1 ± 0,3 см, товщина – 6,8 ± 0,28 см. За таких показників, індекс розвитку легень становить 114 ± 0,35 %, що відповідає розширено-видовженому типу. Гістоархітектоніка бронхів включає три оболонки: слизову, волокнисто-хрящову та адвентиційну. Згідно морфометрії зовнішній діаметр великих бронхів становить 3478,4 ± 28,92 мкм, внутрішній – 1750,2 ± 12,38 мкм, товщина стінки таких бронхів дорівнює 864,1 ± 9,32 мкм, зокрема: слизової – 367,8 ± 7,78 мкм, волокнисто-хрящової – 404,6 ± 4,83 мкм, адвентиційної – 91,7 ± 1,55 мкм. Гістометричні дослідження виявили статистично достовірне зменшення лінійних параметрів у середніх бронхах ($p \leq 0,01$) та термінальних бронхіолах ($p \leq 0,001$) порівняно з великими бронхами, що відображає закономірності структури бронхіального дерева за ступенем розгалуження. Згідно результатів паренхіми легенів, їх респіраторна частина дорівнює 52,74 ± 0,62 %, сполучнотканинна основа – 47,26 ± 0,75 %. При тім, середній об'єм альвеол становить 90,4 ± 1,55 тис. мкм³.

[1] аспірант кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ivanc9298@gmail.com
ORCID: 0009-0002-8416-5672
[2] доктор ветеринарних наук, професор,
професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: goralsky@ukr.net
ORCID: 0000-0002-4251-614X

Отримані результати морфологічних досліджень легенів лисиці звичайної значно поглиблюють розуміння морфофункціональних особливостей дихальної системи м'ясоїдних та можуть бути використанні при проведенні міжвидових порівняльних аналізів і моделюванні патологічних станів у ветеринарній практиці тощо.

Ключові слова: *хребетні тварини, морфологія, органи дихання, легені, морфотопографія, гістоархітектоніка, морфометрія.*

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LUNGS IN THE RED FOX *(VULPES VULPES LINNAEUS, 1758)*

I. V. Tsanko, L. P. Horalskyi

The red fox (Vulpes vulpes Linnaeus, 1758) is the most common representative of the family Canidae among vertebrate mammals in wild fauna, long serving as an object of industrial, zoological, and scientific interest. Adapting well to various conditions, this species is widely distributed across natural and anthropogenic biotopes, including forests, open areas, suburban regions, and even urbanized zones.

Consequently, morphological studies of wildlife at the organ level, particularly regarding the respiratory system, are of particular relevance. The respiratory system in vertebrates is one of the most critical functional systems, providing gas exchange, thermoregulation, acid-base balance regulation, and participation in immune defense. Furthermore, comparative interspecies studies of the respiratory apparatus are essential for understanding evolutionary adaptations and assessing functional health status.

The study aimed to determine the macro- and microscopic morphological features of the lungs in the red fox. Macroscopically, it was established that the interlobar fissures of the lungs are significantly deep, reaching the main bronchus. All lung lobes (right and left) are not connected by parenchyma, except for the cranial and middle lobes of the left lung, which are joined in the dorsal region. According to organometric data, the total lung length is 14.9 ± 0.35 cm, width is 13.1 ± 0.3 cm, and thickness is 6.8 ± 0.28 cm. Based on these indicators, the lung development index is 114 ± 0.35 %, which corresponds to the expanded-elongated type.

The histoarchitecture of the bronchi includes three layers: mucous, fibro-cartilaginous, and adventitial. Morphometric analysis showed that the outer diameter of the large bronchi is 3478.4 ± 28.92 μm, while the inner diameter is 1750.2 ± 12.38 μm. The wall thickness of such bronchi is 864.1 ± 9.32 μm, specifically: mucous membrane – 367.8 ± 7.78 μm, fibro-cartilaginous layer – 404.6 ± 4.83 μm, and adventitia – 91.7 ± 1.55 μm. Histometric studies revealed a statistically significant decrease in linear parameters in the middle bronchi ($p \leq 0.01$) and terminal bronchioles ($p \leq 0.001$) compared to large bronchi, reflecting the structural patterns of the bronchial tree based on the degree of branching. According to the results for the lung parenchyma, the respiratory portion accounts for 52.74 ± 0.62 %, while the connective tissue framework accounts for 47.26 ± 0.75 %. Furthermore, the average alveolar volume is 90.4 ± 1.55 thousand μm³.

The results obtained from the morphological studies of the red fox lungs significantly deepen the understanding of the morphofunctional characteristics of the respiratory system in carnivores and can be utilized in interspecies comparative analyses and the modeling of pathological conditions in veterinary practice.

Key words: *vertebrates, morphology, respiratory organs, lungs, morphotopography, histoarchitecture, morphometry.*

Вступ

Розуміння організації всього живого ґрунтується на структурно-функціональному підході (Kohl et al., 2010; Franco, 2013), згідно з яким об'єкти живої природи є біологічними системами, де будова та функції – це два взаємопов'язані прояви існування біологічної системи (Forestiero, 2022). При тім, організм людини і тварин, як будь-яка біологічна система, є відкритою системою, оскільки у ньому відбувається неперервна взаємодія з довкіллям, під час якої здійснюється обмін речовин із навколишнім середовищем енергією, інформацією тощо (Sterelny, 2017).

Біологічна система організму, її кожен рівень організації має свою структуру, яка сформована із взаємозалежних та взаємопов'язаних між собою компонентів – клітин, тканин та органів, які виконують певні функції. При тім дослідження особливостей функціональних систем у представників як одомашнених, так і диких тварин має достеменне значення для порівняльної морфології (Turcotte, et al., 2017; Geiger & Sánchez-Villagra, 2018), адже дозволяє вста-

новити адаптивні перебудови в будові органів, зумовлені умовами середовища, способом життя та еволюційною історією виду (Heck et al., 2018; Barash et al., 2023)

Органи та системи організму людини і тварин функціонують як єдина інтегрована мережа (Iliukha, 2022; Horalskyi et al., 2024), завдяки якій забезпечуються адаптивні відповіді організму на зміну зовнішніх чинників, зокрема температури, вологості, освітлення, а також інших фізико-хімічних параметрів довкілля (Buchko et al., 2019; Wishart, 2019). Так, серцево-судинна система організму забезпечує здатність до функціональної перебудови під впливом фізичного навантаження, що виявляється в оптимізації кровотоку та посиленому постачанні кисню до працюючих м'язів (Cooper & Loxham, 2019; Eckhardt & Wu, 2021). Органи дихання чутливо реагують на зміну парціального тиску кисню, адаптуючи процеси вентиляції до нових умов (Horalskyi et al., 2024). Важливу роль у підтриманні внутрішньої рівноваги та тривалих адаптаційних змін відіграє ендокринна система, яка через секрецію гормонів регулює метаболізм, реакції на стрес, водно-сольовий обмін і інші життєво важливі процеси. Нервова система координує усі ці процеси, забезпечуючи швидку передачу сигналів між зовнішнім середовищем і внутрішніми структурами організму, що дозволяє йому оперативно адаптуватися до нових викликів (González et al., 2023; Sokulskyi et al., 2021). Таким чином, біологічна система організму є динамічною структурою, яка постійно взаємодіє з навколишнім середовищем, що є основою її функціонування, адаптації та еволюційного прогресу (Simões-Costa et al., 2005; Buijtendijk et al., 2020).

Важливим біологічним об'єктом досліджень у порівняльній анатомії, є лисиця звичайна (*Vulpes vulpes*), яка може виступати як модель для досліджень серед хижих тварин, що мають специфічну адаптацію до умов дикої природи. При тім, дослідження органів дихання у тому числі легенів, які забезпечують життєдіяльність у змінних умовах, можуть бути корисною моделлю для дослідження механізмів дихання у хребетних тварин, класу Ссавці, адаптованих до різноманітних екологічних чинників.

А відтак, для диких та свійських тварин, зокрема й продуктивних видів, підтримання життєво важливих фізіологічних функцій безпосередньо залежить від ефективності роботи дихальної системи (Davenport et al., 2010; Fröhlich, 2024). Саме дихання забезпечує організм необхідною енергією для росту, репродукції, продуктивності та адаптації до змін середовища (Perry & Burggren, 2007; Hsia et al., 2013). Знання макро- та гістоархітектоніки легенів, їх функціонального стану у нормі та при патологічних змінах є ключовим для розуміння не лише анатомічної організації дихальної системи, але й загальних механізмів життєдіяльності організму. Це дає змогу глибше усвідомити, як відбувається газообмін, як організм реагує на зовнішні та внутрішні подразники, а також як порушення в структурі легень можуть впливати на фізіологічні процеси організму в цілому.

Саме тому, дослідження особливостей дихального апарату різних видів тварин має не лише фундаментальне значення, а й практичну цінність для біології, зоології, ветеринарної медицини та тваринництва. У зв'язку з цим, дослідження морфологічної організації легень як у диких, так і у свійських тварин, є науково обґрунтованим та своєчасним. Воно має суттєве значення для розвитку порівняльної анатомії, ветеринарної морфології, зоології, а також слугує основою для практичних напрямів, зокрема ветеринарної медицини, охорони здоров'я тварин, екології та біорізноманіття. Саме ці чинники визначили актуальність нашого дослідження та обумовили його науковий напрям.

Матеріал і методи

Об'єктом дослідження були легені лисиці звичайної (*Vulpes vulpes Linnaeus,* 1758) у кількості (n = 5), відібрані після планового регулювання чисельності хижаків у межах мисливських угідь одного з лісництв Закарпатської області. Відбір матеріалу здійснювався відповідно до вимог чинного природоохоронного законодавства України (Закон України «Про мисливське господарство та полювання», 2000). Усі процедури виконано відповідно до міжнародних стандартів біоетичної регламентації та правил належної лабораторної практики GLP (1981), а також згідно з положеннями "Загальних етичних принципів експериментів на тваринах", ухвалених І Національним конгресом з біоетики (м. Київ, 2001). Дослідження проводили відповідно до вимог "Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, які використовуються в експерименті та інших наукових цілях" (Страсбург, 1986), (European Convention, 1986), "Про затвердження Порядку проведення науковими установами дослідів, експериментів

на тваринах" (наказ МОЗ України №249 від 01.03.2012 р.) та Закон України "Про захист тварин від жорстокого поводження" (№3447-IV від 21.02.2006 р.) (Закон..., 2006), (Яблонська, 2007; Nichiporuk et al., 2022).

Анатомічному препаруванню піддавали легені досліджуваних тварин. Для морфологічного дослідження визначали його абсолютну та відносну масу. Абсолютну масу (АМ) серця визначали шляхом зважування на лабораторних вагах марки "RADWAG" PS 6000/C/2 (Польша, 2022). Відносну масу (ВМ) визначали за формулою:

$$ВМ = (АМ/МТ)*100,$$

де АМ – абсолютна маса органа; МТ – маса тварини.

Для проведення мікроскопічних досліджень серця, шматочки матеріалу фіксували у 10–12 % охолодженому водному розчині формаліну впродовж 24 годин та більше. Після фіксації шматочки матеріалу заливали у парафін згідно схем, які запропоновані у посібнику Л.П. Горальського, В.Т. Хомича, О. І. Кононського (Горальський та ін., 2019). Парафінові зрізи, товщина яких не перевищувала 10–12 мкм, виготовляли на санному мікротомі МС-2.

Для дослідження цито- та гістоархітектоніки легень, гістозрізи товщиною 8–10 мкм (після депарафінації) забарвлювали гематоксиліном (Diapath, Італія, 2020) та еозином (Leica Geosystems, Німеччина, 2020).

Гістометричні дослідження структурних елементів легеневої тканин проводили методом світлової мікроскопії. На фронтальних гістологічних зрізах кожного блоку (n = 14), за допомогою мікроскопа МБС-10 (Micromed, Китай, 1998) (на одиниці площі, рівній 5,0 мм^2) визначали респіраторну частину та сполучнотканинну основу легень. Середній об'єм альвеол, здійснювали при світловій мікроскопії за допомогою мікроскопа "Micros" (Австрія, 2014) (окуляр 8, об'єктив 20) з постійною довжиною тубуса, згідно з рекомендаціями викладеними у посібнику

Фотографування гістологічних препаратів проводили за допомогою відеокамери-CAM V–200 (Інтер Мед, КНР, 2017).

Анатомічні та гістологічні терміни структурних частин легень подано згідно з Міжнародною ветеринарною гістологічною номенклатурою (термінологічний словник) (Хомич та ін., 2019) та Міжнародною ветеринарною анатомічною номенклатурою, (Хомич та ін., 2005).

Цифровий матеріал обробляли за допомогою варіаційно-статистичних методів на персональному комп'ютері з використанням ліцензованої програми Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

Результати

Топографічно права та ліва легені разом із серцем та іншими органами розатшовані в грудній порожнині, прилягаючи до її стінок і займаючи майже весь її об'єм. Саме тому, легені лисиці, відповідно до форми грудної порожнини, мають зовнішній вигляд усіченого конусу, дещо стиснутого з боків.

Легені у лисиці звичайної, це парний, рожевого кольору паренхіматозний орган. Їх морфологічними складовими є повітряності шляхи, респіраторний відділ легень та кровоносні судини, сполучна тканина яких об'єднує у парний компактний орган – праву та ліву легені.

Увігнута та косо сформована основа легенів, спрямована каудально та прилягає до випуклої поверхні діафрагми. Верхівка легень знаходиться біля першого ребра. Ліва легеня дещо менша ніж права, що пов'язано з морфотопографією серця, яке зміщене ліворуч та знаходиться між обома легенями. Кожна легеня краніальною та каудальною глибокими міжчасточковими вирізками поділена на частки – краніальну, середню та каудальну. На правій легені, зі сторони середостіння виявляється ще й додаткова частка, яка надає легеням асиметрію у їх часточковій будові (рис. 1).

Міжчасткові глибокі вирізки легень лисиці звичайної доходять до головного бронха, а усі частки правої та лівої легенів не поєднанні між собою паренхімою. Особливістю є краніальна та середня частки лівої легені, які поєднанні між собою у дорсальній частині паренхіми.

На легенях розрізняють латеральну (реберну) поверхню, яка прилягає до ребер, медіальну (середостінну), що прилягає до середостіння, каудальну (діафрагмальну), яка прилягає до діафрагми та міжчасткові поверхні, які контактують між частками легень. На середостінній поверхні легень знаходиться аортальне, серцеве і стравохідне втиснення та жолоб для каудальної порожньої вени, як наслідок відбитків відповідних органів, які розміщені між правою та лівою легенями. На легенях знаходиться тупий (дорсальний) та гострий (вентральний) краї (рис. 1).

Краніальна частка лівої легені неправильної трикутної форми, її більша частина знаходиться попереду серця (див. рис. 1). Передня частина краніальної частки лівої

легені витончено-видовженої форми та досягає середини дорсального краю першого ребра. Реберна поверхня цієї частки випукла, середостінна поверхня гладенька і дещо увігнута. Задня частина краніальної лівої частки накриває передню частину середньої частки.

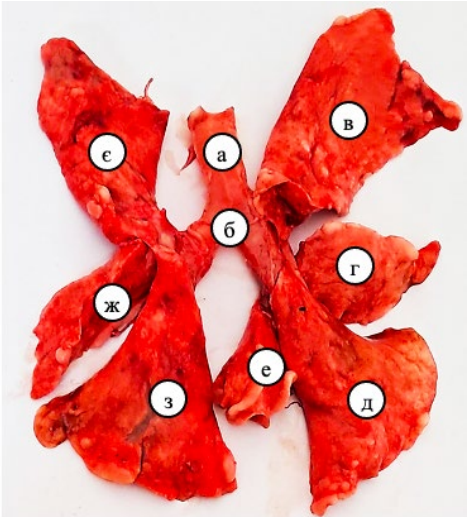


Рис. 1. Макроскопічна будова легень лисиці звичайної (реберна поверхня): а – трахея; б – біфуркація трахеї; в – права краніальна частка; г – права середня частка; д – права каудальна частка; е – додаткова частка; є – ліва краніальна частка; ж – ліва середня частка; з – ліва каудальна частка. Макропрепарат

Середня частка лівої легені має форму неправильного трикутника та увігнута дорсо-вентрально. Передній вентральний її край витончений і має заглибини, які сформовані завдяки прилягання легенів до серця. Вентральний край середньої частки лівої легені гострий. На передньому вентральному куті знаходяться два слабко виражених, соскоподібних відростки. Задня частина середньої частки дугоподібна та налягає на передсердя, її каудо-вентральний кут витончений. Реберна поверхня дещо випукла.

Каудальна частка лівої легені трикутної форми з нерівними краями, вона більшого розміру (див. рис. 1). Передня її ділянка межує з краніальною та середньою частками, а дорсальна ділянка межує з краніальною часткою. Тупий край каудальної частки лівої легені займає простір від шостого до 12–13 ребра. Базальний край гострий і має форму дещо випуклої дуги. Середостінна поверхня у вигляді трикутника, топографічно стикається з грудною аортою та стравоходом, завдяки чого на ній є від них відбитки. Діафрагмальна поверхня, без різких меж переходить у середостінну. Така поверхня на усьому проміжку увігнути та у середині має овальної форми заглиблення від купола діафрагми.

Краніальна частка правої легені, переднім краєм досягає каудальної поверхні першого ребра. Задня дорсальна ділянка цієї частки, у розправленому стані, досягає каудального боку сьомого ребра, і до висоти однієї третини цього ж ребра. Вона покрита передньою дорсальною частиною каудальної частки. Внутрішня поверхня частки має два жолоба – втиснення від краніальної порожньої вени та трахеї з дорсального боку та від серця по усій внутрішній поверхні. Передній край краніальної частки правої легені має два соскоподібних відростки. Вентральна та задня дорсальна ділянка витончені і загострені.

Середня частка правої легені повністю відокремлена від інших часток. Її дорсальний край налягає на краніальну і каудальну частки до висоти однієї третьої 7-го ребра. Поверхня середньої частка правої легені, яка прилягає до серця має неглибокі втиснення. У розправленому стані, середня частка правої легені видовжено-трапецеподібної форми.

Каудальна частка правої легені трикутної форми і, так само як ліва частка, межує з краніальною та середньою частками. Окрім того, ця частка, також межує і з додатковою часткою. Каудальна частка правої легені відділяється від краніальної, середньої та додаткової часток, вирізками, які доходять до часткових бронхів. Передній край каудальної частки прямий, топографічно він торкається верхньої частини краніальної частки. Задній край частки витончений і налягає на купол діафрагми. Дорсальний край цієї частки тупий, потовщений, у каудальному напрямку – витончений. Її вентральний край ущільнений та не доходить до грудини. Реберна поверхня каудальної частки випукла, діафрагмальна увігнута, середостінна поверхня плоска та має втиснення від аорти, стравоходу, а з дорсального боку – втиснення від хребта. На кранео-вентральній ділянці каудальної частки правої легені знаходиться соскоподібний відросток.

Додаткова частка характерна лише для правої легені, вона відносно невеликого розміру і розташована позаду на медіальній її поверхні. Така частка сформувалась шля-

хом відщеплення каудальної частки, з якою пов'язана бронхо-судинним стовбуром. Додаткова частка двостулкова, вона своїм ніжним серцевим відростком не доходить до верхівки серця, розміщуючись між ним та куполом діафрагми. Іншим відростком, дещо меншим за розміром, частка охоплює стравохід та витончуючись, тягнеться каудально до діафрагми. Додаткова частка не зростається з каудальною часткою.

За результатами органометрії, загальна довжина легенів лисиці звичайної дорівнює 14,9 ± 0,35 см, ширина 13,1 ± 0,3, товщина – 6,8 ± 0,28 см. Відповідно довжина правої легені становить 14,9 ± 0,65 см, ширина – 5,8 ± 0,2, товщина – 6,8 ± 0,23 см, а лівої легені – 13,2 ± 0,25 см, 5,4 ± 0,28 см та 5,9 ± 0,43 см. При тім, індекс розвитку легенів у лисиці звичайної становить 114± 0,35%, тому легені у них відносяться до розширено-видовженого типу.

Абсолютна маса легенів лисиці становить 83,2 ± 1,35 г, відносна – 1,01 ± 0,03 %. За таких морфометричних показників, АМ лівої легені становить 35,6±1,13 г, правої – 47,6±2,13 г, що у 1,34 рази ($p \leq 0,05$) більше ніж лівої, при тім КА легень дорівнює 1:1,33 (табл. 1).

Відносна маса каудальних часток легенів до їх АМ, є найбільшою: лівої легені – 24,82 ± 0,95 %, правої – 21,83 ± 0,52%, відповідно ВМ краніальних часток є меншою: лівої легені – 10,36 ± 0,64 %, правої – 17,87 ± 0,7 %, ВМ середніх часток є найменшою: лівої легені – 7,41 ± 0,48 %, правої – 9,38 ± 0,48 %, відповідно ВМ додаткової частки правої легені дорівнює 8,01 ± 0,65 % (табл. 1).

Повітроносні шляхи легенів лисиці звичайної сформовані множинними розгалуженнями бронхів – бронхіальним деревом, а їх респіраторний відділ – множинними розгалуженнями дихальних бронхіол, альвеолярних протоків, мішечків та альвеол – альвеолярним деревом.

При тім, бронхіальне дерево легенів, сформоване правим та лівим головними бронхами, які переходять у позалегеневі часткові бронхи, котрі потім галузяться на великі бронхи. Відповідно великі бронхи у свою чергу діляться на сегментарні легеневі бронхи, потім на середні, які галузяться на малі бронхи. Останні галузяться у термінальні бронхіоли, після чого починається респіраторний відділ легень.

Формування бронхіального дерева легенів лисиці починається у ділянці біфуркації трахеї, яка розгалужується в правий та лівий головні бронхи, які потрапляючи відповідно у праву та ліву легені, дають початок легеневим часточковим бронхам. При цьому, головний бронх правої легені під кутом 30° нижче першого та другого трахейного кільця від біфуркації, віддає гілку у краніальну частку правої легені, потім нижче 3–4-го кільця від галуження бронха у краніальну частку, він шляхом біфуркації роздвоюється на дві гілки – одна відходить у середню частку, інша у каудальну та додаткову частки. Відповідно лівий бронх після четверного бронхіального кільця ділиться на два бронхи, один із яких входить у каудальну частку, інший у краніальну та середню частки. Потім, бронх середньої частки, через два бронхіальних кільця від попереднього роздвоєння, знову розгалужується. При тім, краніальна та середня частки лівої легені, повністю не розділені, вони поєднані між собою трапецеподібним зрощенням. При цьому задня частина краніальної частки, яка не зростається з середньою часткою, покриває її передню частину, а в свою чергу задня частина

Таблиця 1

Абсолютна та відносна маса часточок лисиці звичайної, (M ± м)

Частки легенів	Ліва легеня		Права легеня		Обидві легені	
	АМ (г)	ВМ часток до АМ легенів (%)	АМ (г)	ВМ часток до АМ легенів (%)	АМ (г)	ВМ часток до АМ легенів (%)
1. Краніальна	8,7±0,85	10,36±0,64	14,9±0,85**	17,87±0,7	23,6±1,7	28,23±0,84
2. Середня	6,2±0,73	7,41±0,48	7,8±0,7	9,38±0,48	14,0±1,38	16,78±0,96
3. Каудальна	20,7±1,1	24,82±0,95	18,2±1,1	21,83±0,52	38,9±1,96	46,64±0,69
4. Додаткова	–	–	6,7±0,85	8,01±0,65	6,7±0,85	8,01±0,65
5. Загалом	35,6±1,13	42,79±0,89	47,6±2,13*	57,12±1,67	83,2±1,35	100
6. Абсолютна маса легенів лисиці (г)					83,2±1,35	
7. Відносна маса легенів до маси тіла тварини (%)					1,01±0,03	
8. Коефіцієнт асиметрії легень (АМ правої / АМ лівої)					1:1,33	

*Примітка: *p≤0,05; **p≤0,01; ***p≤0,001 по відношенню до лівої частки.*

середньої частки по усій висоті покриває передню частину каудальної частки.

Гістологічна будова головних та часткових бронхів подібна до такої, як у трахеї. Мікроскопічно, гістоархітектоніка бронхів, сформована слизовою, волокнисто-хрящовою та адвентаційною оболонками.

Найбільший діаметр на поперечному зрізі, мають головні бронхи, їх внутрішня вистилка (епітеліальна пластинка) утворена простим багаторядним війчастим епітелієм. М'язова пластинка слизової оболонки, сформована пучками гладких м'язових клітин і знаходиться на межі з підслизовою основою бронхів. Пучки гладких міоцитів м'язової пластинки, за своїм напрямком розташуванням, формують внутрішній циркулярний та зовнішній поздовжній шари. Волокнисто-хрящова оболонка головних бронхів є суцільною і формує окремі кільця бронхіальних хрящів.

Стінка великих бронхів так само, як і головних, сформована трьома оболонками – слизовою, волокнисто-хрящовою та адвентицією (рис. 2). Їх м'язова пластинка слизової оболонки чітко розвинута. Вона утворена гладкими м'язовими клітинами, які мають циркулярно-косий напрямок, займаючи увесь периметр усього бронху. Завдяки такій унікальній будові м'язової пластинки, а саме скороченню м'язових клітин, слизова оболонка таких бронхів зібрана у поздовжні складки, які не характерні для головних бронхів. У власній пластинці слизової оболонки, містяться різної форми та величини, скупчення лімфоїдної тканини. У стінці великих бронхів, кільця хрящів волокнисто-хрящової оболонки не суцільні, вони сформовані окремими видовженої форми хрящовими пластинками (див. рис. 2).

Епітеліальна пластинка стінка слизової оболонки бронхів середнього калібру сформована одношаровим багаторядним епітелієм, її м'язова пластинка утворена гладкими міоцитами. У середній оболонці стінки таких бронхів, у вигляді окремих хрящових острівців виявляються хрящові пластинки (рис. 3).

Стінка малих бронхів та термінальних бронхіол легенів лисиці звичайної утворена тільки слизовою оболонкою та адвентицією. Епітеліальна пластинка слизової оболонки, малих бронхів вкрита дворядним війчастим епітелієм, м'язова пластинка слизової оболонки таких бронхів добре розвинена, вона утворена гладкими міоцитами (рис. 4).

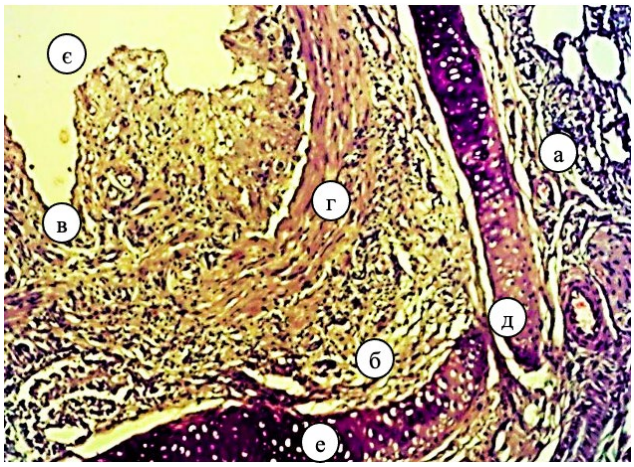


Рис. 2. Фрагмент мікроскопічної будови великого бронха легені лисиці звичайної: а – паренхіма легень; б – стінка бронха; в – епітеліальна пластинка; г – м'язова пластинка слизової оболонки; д – волокнисто-хрящова оболонка; е – хрящова пластинка; є – просвіт бронха. Гематоксилін та еозин. Х 280

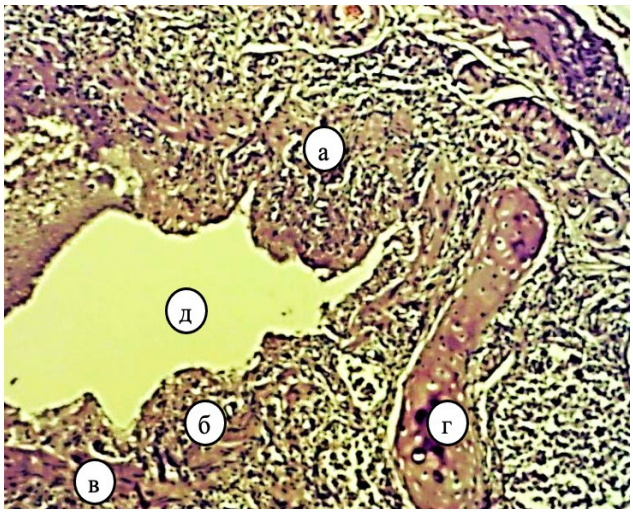


Рис. 3. Фрагмент мікроскопічної будови середнього великого бронха легені лисиці звичайної: а – слизова оболонка бронха; б – складки слизової оболонки; в – м'язова пластинка слизової оболонки; г – хрящові острівці; д – просвіт бронха. Гематоксилін та еозин. Х 280

Слизова оболонка стінка кінцевих (термінальних) бронхіол вистелена одношаровим кубічним війчастим епітелієм, епітеліоцити якого розташовані на базальній мембрані. У власній пластинці слизової оболонки виявляються поздовжні еластичні волокна, між якими розміщені окремі пучки гладких міоцитів (рис. 5).

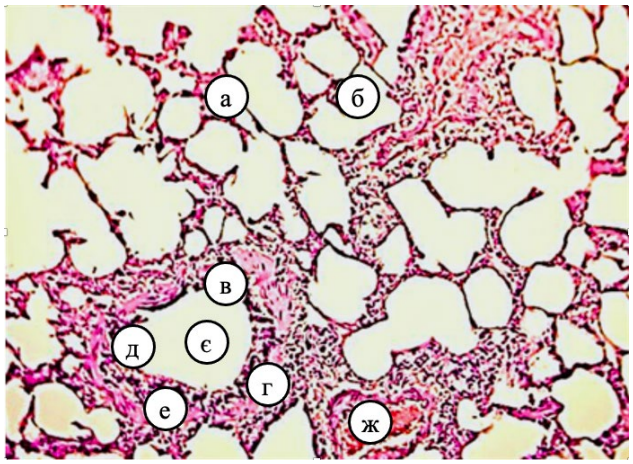


Рис. 4. Фрагмент мікроскопічної будови легені лисиці звичайної: а – паренхіма легень; б – альвеоли; в – малий бронх; г – слизова оболонка бронха; д – епітеліальна пластинка; е – м'язова пластинка слизової оболонки; є – просвіт бронха; ж – судина. Гематоксилін та еозин. Х 280

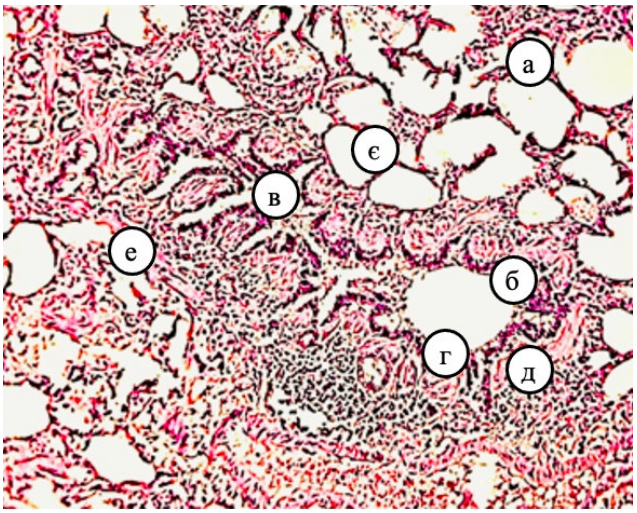


Рис. 5. Фрагмент мікроскопічної будови легені лисиці звичайної: а – паренхіма легень; б – термінальна бронхіола (поперечний зріз); в – термінальна бронхіола (поздовжній зріз); г – епітеліальна пластинка; д – пучки гладких міоцитів; е – еластичні волокна; є – альвеоли. Гематоксилін та еозин. Х 150

За результатами морфометричних досліджень зовнішній діаметр великих бронхів становить 3478,4 ± 28,92 мкм, відповідно внутрішній діаметр – 1750,2 ± 12,38 мкм. Товщина стінки таких бронхів дорівнює 864,1 ± 9,32 мкм: слизової оболонки – 367,8 ± 7,78 мкм, волокнисто-хрящової – 404,6 ± 4,83 мкм, адвинтиційної – 91,7 ±1,55 мкм (табл. 2).

Вірогідно менші морфометричні лінійні параметрами, порівняно з такими у великих бронхів, характерні для середніх ($p \leq 0,01$) бронхів та термінальних ($p \leq 0,001$) бронхіол. Так, зовнішній діаметр середніх бронхів дорівнює 1233,4 ± 13,44 мкм, внутрішній діаметр – 618,4 ± 9,85 мкм. За таких морфометричних даних, товщина стінки середніх бронхів становить 307,4 ± 8,55 мкм, при тім товщина її слизової оболонки дорівнює 136,9 ± 3,71 мкм, волокристо-хрящової оболонки – 140,2 ± 3,25 мкм і, адвентиційної оболонки – 30,3± 0,82 мкм (див. табл. 2).

Значно вірогідно меншими є лінійні величині для малих бронхів та термінальних бронхіол, у зв'язку з відсутністю у їх стінках волокнисто-хрящових оболонок. Так, зовнішній діаметр малих бронхів становить 604,1 ± 9,94 мкм, внутрішній діаметр – 306,7 ± 7,48 мкм, товщина стінки таких бронхів дорівнює 148,7 ± 3,6 мкм: товщина слизової оболонки – 129,6 ± 1,33 мкм, товщина адветиційної оболонки – 19,1 ± 0,61 мкм. Зовнішній діаметр термінальних бронхіол має 424,9 ± 9,06 мкм, внутрішній діаметр – 275,3 ± 4,85 мкм. При тім товщина стінки термінальної бронхіоли дорівнює 74,8 ± 0,88 мкм, причому товщина слизової оболонки становить 68,3 ± 1,52 мкм, адвентиційної оболонки – 6,5 ± 0,26 мкм (табл. 2).

Легеневі часточки легенів, як складові їх респіраторного відділу, мають пірамідальну або ж конусоподібну форми. За мікроскопічної будови, часточки утворені легеневими ацинусами, останні розмежовані між собою сполучнотканинними перегородками сполучнотканинної строми. За фарбування гістологічних препаратів за методом Ван-Гізон сполучнотканинна строма легенів утворена пухкою сполучною тканиною, між якими знаходяться кровоносні і лімфатичні судини.

Легеневі ацинуси легень беруть початок від кінцевих термінальних бронхіол, потім дитохомічно розгалуджуються на респіраторні бронхіоли, альвеолярні ходи та альвеолярні мішечки, формуючи таким чином альвеолярне дерево. Такі розгалуження супроводжують судини, нерви та ніжні прошарки пухкої сполучної тканини.

Слизова оболонка стінка респіраторних бронхіол вистелена одношаровим кубічним епітелієм, який знаходиться на базальній мембрані, війчасті клітини трапляються рідко. М'язова пластинка витончена і розчленовується на окремі, у циркулярному напрямку пучки гладких

Таблиця 2

Гістометрія складових бронхіального дерева легень лисиці звичайної, M ± м

Показники	**Структури бронхіального дерева**			
	Великі бронхи	**Середні бронхи**	**Малі бронхи**	**Термінальні бронхіоли**
Зовнішній діаметр (мкм)	3478,4±28,92	1233,4±13,44**	604,1±9,94**	424,9±9,*06**
Внутрішній діаметр (мкм)	1750,2±12,38	618,4±9,85**	306,7±7,48**	275,3±4,85
Товщина стінки бронхів (мкм)	864,1±9,32	307,4±8,55**	148,7±3,6**	74,8±0,88**
Товщина слизової оболонки (мкм)	367,8±7,78	136,9±3,71**	129,6±1,33*	68,3±1,52**
Товщина волокнисто-хрящової оболонки (мкм)	404,6 ±4,83	140,2±3,25**	–	–
Товщина адвинтиційної оболонки (мкм)	91,7±1,55	30,3±0,82***	1 9,1±0,61*	6,5± 0,26**

*Примітка: *p ≤ 0,05, **p ≤ 0,01, ***p ≤ 0,001 (відносно до величини попередніх бронхів).*

міоцитів. Сполучнотканинні волокна зовнішньої адвентиційної оболонки переходять у інтерстиціальну сполучну тканину.

Стінки альвеолярних ходів та альвеолярних мішечків утворені кількома десятками альвеол, які мають форму міхурців. Вони розподілені між собою тонкими міжальвеолярними сполучнотканинними перетинками, які сформовані ніжними прошарками пухкої сполучної тканини у якій виявляються судини гемомікроциркуляторного русла.

Стінка альвеол з середини вистелена одношаровим плоским епітелієм, що знаходиться на базальній мембрані. Вона утворена альвеолоцитами, до складу яких входять респіраторні, секреторні клітини та альвеолярні макрофаги. Виявляються альвеоли різних розмірів – великі, середні, малі (рис. 6).

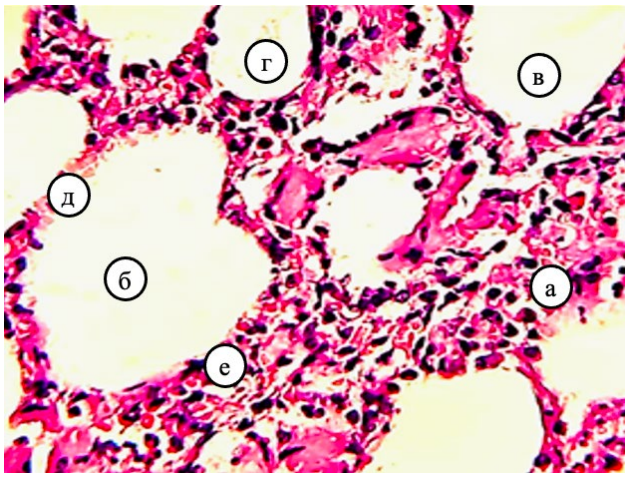


Рис. 6. Фрагмент мікроскопічної будови легені лисиці звичайної: а – респіраторна частина легень; б – велика альвеола; в – середня альвеола; г – мала альвеола; д – міжальвеолярні перетинки; е – альвеоцити. Гематоксилін та еозин. Х 600

За результатами гістометрії, респіраторна частина легенів лисиці звичайної займає 52,74 ± 0,62%, сполучнотканинна основа – 47,26 ±0,75%, а середній об'єм альвеол становить 90,4 ± 1,55 тис. мкм^3 (табл. 3).

Таблиця 3

Гістометричні характеристики легень лисиці звичайної, (M ± м)

Показники	**Цифрові дані**
Респіраторна частина легень (%)	52,74 ±0,62
Сполучнотканинна основа легень (%)	47,26 ±0,75
Середній об'єм альвеол (тис. мкм^3)	90,4 ±1,55

Обговорення

Дослідження морфофункціонального стану організму тварин є та завжди залишається найважливішим морфологічним напрямком у біології (Richter & Wirkner, 2014; Ribitsch et al., 2020). При тім, особливе значення відводиться комплексному дослідженню органів дихання, у тому числі і легень, які виконують в організмі хребетних тварин надзвичайно життєво важливі функції (De Backer et al., 2009), основною яких є газообмін (Bide et al., 2000; Fröhlich, 2024).

Упродовж останніх десятиліть, з'являється велика кількість публікацій у наукових виданнях, що стосуються дослідженню морфології легень у свійських та лабораторних тварин в нормі та в експерименті (Gehr et al., 1981; Hyde et al., 2009; Meeusen et al., 2009; López & Martinson, 2017). Втім, макро- та мікроскопічна будова легень, їх органно- та гістометричні характеристики у диких тварин класу Ссавці майже відсутні.

Тому, проведені нами дослідження, щодо морфотопографії, макроскопічної та мікроскопічної будови легень у лисиці звичайної є актуальними для порівняльної морфології. Це дасть змогу біологам, зооло-

гам з'ясувати будову тіла, окремих органів та їхніх систем різних систематичних груп тварин, шляхом порівняння закономірностей змін, що зазнають органи та їх системи у процесі еволюції організмів.

За результатами наших досліджень, будова, форма, морфотопографія легень, має пряму залежність щодо розташування у грудній порожнині кровоносних судин, м'язів та величини купола діафрагми.

Так, легені лисиці звичайної, відповідно до форми її грудної порожнини, мають вигляд конуса, дещо стиснутого з боків. Така морфологія легень описана також іншими науковцями, які вважають, що форма легень у ссавців, яка подібна до зрізаного конуса та дещо здавлена зі сторін, пов'язана із розміщенням їх у грудній порожнині, яка надає правій та лівій легені в цілому таку форму (Krause & Leeson, 1973; Hsia et al., 2013; Hsia et al., 2016; Blagojević et al., 2018). Саме тому, форма легень у природному стані разом із серцем та іншими органами грудної порожнини (аорта, стравохід, тимус тощо) в цілому відтворюють форму грудної порожнини (Weibel, 2001; Neagu et al., 2019). Деякі зарубіжні морфологи вважають, що у ссавців часточкова будова легень є закономірною та не має видових особливостей (Krause & Leeson, 1973; Duncker, 2004). Наукові дослідження інших науковців (Palchyk et al., 2023) свідчать про наявність індивідуальних морфологічних особливостей, щодо часткової будови легень що підтверджено результатами наших досліджень. Так, за результатами наших досліджень поділ правої та лівої легені у лисиці звичайної на окремі виражені частки, є прямо залежним від самої структури грудної порожнини та індивідуальних фізіологічних ознак характерних для тварин класу Ссавці, а відповідно фізіологічного навантаження на відповідний орган під час дихання.

При тім, у лисиці права та ліва легені краніальною та каудальною глибокими міжчасточковими вирізками поділені на частки: краніальну, середню та каудальну. На правій легені, знаходиться ще й четверта, додаткова частка, яка надає легеням – асиметрію у їх часточковій будові правої. Характерною особливістю у будові легенів лисиці звичайної є те, що міжчасткові глибокі вирізки легень доходять до головного бронха, а від так, усі частки правої та лівої легені не поєднанні між собою паренхімою. Винятком є лише краніальна та середня частки лівої легені, які поєднанні між собою у дорсальній частині паренхіми.

Окрім того у лисиці на правій та лівій легенях дорсальний їх край впродовж перших 4–5-ти грудних хребців не тупий, як прийнято вважати, а гострий. Це пояснюється тим, що бокові стінки грудної клітки здавлені з боків і проміжок між ребрами та тілами цих хребців, на яких кріпиться найдовший м'яз спини, дуже вузький. Саме тому дорсальний край легенів, вклинюючись сюди, обмежується вузьким простором та набуває вигляду відносно гостро гребеня.

Передній та вентральний краї краніальних часток мають нерівні контури, а права краніальна частка має два соскоподібних відростки, які заповнюють при вході вільні простори між серцем, стравоходом, трахеєю та великими кровоносними судинами (аортою, плечеголовним стовбуром, краніальною та каудальною венами).

Вентральний та базальний краї легень загострені та відповідають формі проміжків, відповідно між внутрішніми органами грудної порожнини, ребрами та куполом діафрагми. Легенева тканина, так як є більш еластичною, вклинюючись у ці ж вільні простори, не може потовщуватися і саме тому названі краї стають гострими. Краніальна частка лівої легені своєю задньою частиною налягає на передню частину середньої частки, а задній край середньої частки налягає на передню частину каудальної частки.

Морфологічним критерієм розвитку та морфофункціонального стану органів та систем організму тварин є органометричні дослідження, які дають можливість з'ясувати та встановити кількісні характеристики організму на органному, тканинному рівнях у процесі онто- та філогенетичного розвитку тварин та за дії на організм тварин різних чинників довкілля тощо (Horalskyi et al., 2024). При тім основним критерієм розвитку того чи іншого органа, що безпосередньо вказує на його морфофункціональну зрілість, є абсолютна та відносна маса органа (Lee et al., 2007). Проведений нами аналіз органометричних досліджень свідчить, що АМ легенів у лисиці звичайної дорівнює дорівнює 83,2 ± 1,35 г, ВМ – 1,01 ± 0,03 %. У порівняльному значенні АМ лівої легені складає 35,6 ± 1,13 г, правої 47,6 ± 2,13 г, що у 1,34 рази більше ніж лівої. Найбільша АМ характерна для каудальних часток правої та лівої легенів, потім краніальних, середніх та додаткової часток. За таких показників коефіцієнт асиметрії правої легені до лівої становить 1:1,33.

Морфоархітектоніка легенів ссавців, порівняно з такою у інших класів хребетних тварин – амфібії, плазуни, птахи, є більш досконалою у забезпеченні організму тварин киснем і виділенні з організму вуглекислого газу (Ramchandani et al., 2001; Oizumi et al., 2017). У процесі еволюційного розвитку тварин, у ссавців надзвичайно стабільними ознаками є часткова будова легень та типи галуження бронхіального дерева (Monteiro & Smith, 2014; Hsia et al., 2016; Han et al., 2022). У той же час, основними відмінностями морфологічної будови легенів тварин класу Ссавці, порівняно з іншими хребетними тваринами, є диференціація тканин легень у ссавців на повітроносні шляхи – бронхіальне дерево (головні, великі, середні, малі бронхи). У ссавців, галуження бронхіального дерева у дослідних тварин, майже всіх його структурних компонентів, аж до часточкових бронхів, відбувається по магістральному типу, лише часточкові бронхи галузяться по дихотомічному типу (Patra, 1986; Nakakuki, 1994; Mouton et al., 1999; Einstein et al., 2008; Monteiro & Smith, 2014).

Згідно наших досліджень, бронхи легенів лисиці мають різні розміри та відповідну будову, вони поділяються на позалегеневі (головні та міжчасточкові) та легеневі, які входять до складу легень, де вони там розгалужуються, формуючи саме таким чином, бронхіальне дерево. Від часточкових бронхів відходять сегментарні бронхи, різного розміру, вони розділяються залежно від напрямку на дорсальні та вентральні сегментарні бронхи. У кожній легені розгалуження головного бронха на великі, середні та малі бронхи, а також на термінальні бронхіоли відбувається в основі їхніх тупих країв у каудальному напрямку.

Перебуваючи між собою у тісному взаємопов'язаному контакті, бронхіальне та альвеолярне дерево, їх структурні компоненти забезпечують зовнішнє дихання організму – газообмін між повітрям і кров'ю (Wang & Kraman, 2004). для чого у легенях формується тісний контакт між легеневою тканиною та кровоносними судинами (Valerius, 1996; Lindstedt & Schaeffer, 2002). При тім, залежно від видових особливостей тварин, представників класу Ссавці у процесі їх філогенетичного розвиту, макро- та мікроструктура легень набуває різної ступені диференціювання (Maina & Gils, 2001; Majumdar et al., 2005).

За результатами наших досліджень, мікроскопічна будова бронхів легень у лисиці звичайної, неоднакова впродовж бронхіального дерева, проте має загальні характеристики будови.

Внутрішня оболонка бронхів (слизова), подібно до трахеї, вистелена багаторядним війчастим епітелієм, товщина якого поступово зменшується за рахунок клітин від високих призматичних до низьких кубічних.

Власна пластинка слизової оболонки сформована великою кількістю у поздовжньому напрямку еластичними волокнами, які забезпечують розширення просвіту бронхів при вдихання повітря і повернення їх у вихідне становище при видиху.

Слизова оболонка бронхів має поздовжні складки, унаслідок скороченням косо-циркулярних пучків гладких міоцитів м'язової пластинки слизової оболонки, яка відділяє слизову оболонку від підслизової основи.

У підслизовій основі виявляються кінцеві відділи слизово-білкоки залоз, які знаходяться групами, особливо у місцях, де відсутня хрящова тканина, їхні вивідні протоки проникають у слизову оболонку і сприяють прилипанню та обволіканню частинок пилу та інших, які згодом виводяться назовні. У малих бронхах залози відсутні.

Волокнисто-хрящова оболонка по мірі зменшення величини бронхів характеризується послідовною заміною замкнутих хрящових кілець (у головних бронхах) на хрящові пластинки (часточкові, зональні, сегментарні бронхи) та острівці хрящової тканини (середні бронхи).

У бронхах середнього калібру, замість гіалінового хряща, появляється еластичний хрящ. У бронхах малого калібру волокнисто-хрящова оболонка відсутня.

Зовнішня адвентиційна оболонка побудована з волокнисто-сполучної тканини, яка переходить у міжчасточкову сполучну тканину паренхіми легень.

Важливе значення для визначення процесів розвитку та морфофункціонального стану лененів мають гістометричні дослідження. Саме вони дають можливість встановити кількісні характеристики органу тварин на тканинному рівні (Гоpальський та ін., 2019). Згідно результатів проведеної нами гістометрії, зовнішній діаметр великих бронхів складає 3478,4 ± 28,92мкм, відповідно внутрішній – 1750,2 ± 12,38 мкм. За таких параметрів, товщина стінки бронхів становить 864,1 ± 9,32 мкм. Значно менші лінійні параметрами характерні для середніх, малих бронхів та термінальних бронхіол: зовнішній діаметр середніх брон-

хів становить 1233,4 ± 13,44 мкм, внутрішній – 618,4 ± 9,85 мкм, товщина стінки – 307,4 ±8,55 мкм, відповідно для малих бронхів – 604,1 ± 9,94 мкм, 306,7 ± 7,48 мкм, 148,7 ± 3,6 мкм та для термінальних бронхіол – 424,9 ± 9,06 мкм, 275,3 ± 4,85мкм та 74,8 ± 0,88 мкм.

Структурно-функціональною одиницею дихального апарату ссавців є легеневі ацинуси (Haberthür et al., 2021). Ацинус – це система альвеол, які знаходяться у стінках респіраторних бронхіол, альвеолярних ходів та альвеолярних мішечків, у яких відбувається газообмін між кров'ю та повітрям, яке знаходиться у альвеолах (Vasilescu et al., 2012; Haberthür et al., 2021; Knudsen et al., 2023).

Легеневі ацинуси у лисиці звичайної, як і у інших тварин класу Ссавці, беруть початок від кінцевої бронхіоли, яка в свою чергу розгалужуються на дихальні (респіраторні) бронхіоли першого порядку. Останні дитохомічно галузяться на респіраторні бронхіоли другого порядку, які, також дитохомічно розгалужуються на респіраторні бронхіоли третього порядку. Стінка респіраторних бронхіол вистелена одношаровим призматичним епітелієм. Респіраторні бронхіоли третього порядку, вже формують генерації альвеолярних ходів, які розгалужуються на альвеолярні мішечки, стінки яких складаються з альвеол, формуючи таким чином альвеолярне дерево. За мікроскопічної будови, такі розгалуження супроводжують судини, нерви та ніжні прошарки пухкої сполучної тканини.

Згідно проведеної нами гістометрії середній показник об'єму легеневих альвеол у Лисиці звичайної дорівнює 90,4 ± 1,55 тис. мкм^3. При тім респіраторна частина легенів становить 52,74 ± 0,62 %, сполучнотканинна основа – 47,26 ± 0,75%.

Висновки

1. Будова легенів Лисиці звичайної характеризується частковою будовою: ліва легеня сформована трьома частками – краніальною, середньою та каудальною, права чотирма – краніальною, середньою, каудальною та додатковою.

2. Абсолютна маса легенів Лисиці звичайної дорівнює 83,2±1,35 г, відносна – 1,01±0,03 %. Ліва легеня незначно менша, ніж права: абсолютна маса лівої легені – 35,6±1,13 г, правої – 47,6±2,13 г. Коефіцієнт асиметрії легенів (АМ правої / АМ лівої) дорівнює 1:1,33.

3. Загальна довжина легенів Лисиці звичайної складає 14,9 ± 0,35 см, ширина 13,1 ± 0,3, товщина – 6,8 ± 0,28 см. При тім індекс розвитку легенів дорівнює 114± 0,35%, що характеризує їх, як розширено-видовженого типу.

4. Бронхіальне дерево легенів Лисиці звичайної, сформоване правим і лівим головними бронхами, які переходять у позалегеневі часткові бронхи, які потім галузяться на великі бронхи. Великі бронхи в свою чергу діляться на сегментарні легеневі бронхи, потім на середні бронхи, які галузяться на малі бронхи. Останні галузяться у термінальні бронхіоли, після чого починається респіраторний відділ легень.

5. Внутрішня гістоархітектоніка легенів сформована легеневими, пірамідальної або ж конусоподібної форми частками, що розмежовані сполучнотканинними перегородками, формуючи сполучнотканинну строму (47,26 ±0,75 %), яка утворена пухкою сполучною тканиною, у якій виявляються еластичні волокна, кровоносні та лімфатичні судини.

Респіраторна паренхіма легенів (52,74 ± 0,62%) утворена дихальними бронхіолами, альвеолярними ходами та альвеолярними мішечками, у стінках яких знаходяться альвеоли, середній об'єм яких складає 90,4 ±1,55 тис. мкм^3.

Список використаної літератури

Горальський Л.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології : навчальний посібник. Житомир : Полісся, 2019. 288 с.

Закон України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 21.02.2006 № 3447-IV [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text (дата звернення: 07.06.2025).

Закон України «Про мисливське господарство та полювання» від 22.02.2000 № 1478-III [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1478-14#Text (дата звернення: 07.06.2025).

Хомич В.Т., Левчук В.С., Горальський Л.П., Ших Ю. С., Калиновська І.Г. Міжнародна ветеринарна анатомічна номенклатура - Nomina anatomica veterinaria : латинською, українською і англійською мовами / ред.: В. Т. Хомич, В. С. Левчук. Київ. 2005. 389 с.

Хомич В.Т., Мазуркевич Т.А., Дишлюк Н.В., Стегней Ж.Г., Усенко С.І. Міжнародна ветеринарна гістологічна номенклатура : термінологічний словник - Nomina histologica veterinaria / за ред. В. Т. Хомича. Київ. 2019. 273 с.

Яблонська О.В. Використання лабораторних тварин у експериментах: метод. вказівки. Вид. центр НАУ, 2007. С. 316.

Barash A., Preiss-Bloom S., Machluf Y., Fabbri E., Malkinson D., Velli E., Mucci N., Barash A., Caniglia R., Dayan T. Dekel Y. Possible origins and implications of atypical morphologies and domestication-like traits in wild golden jackals (*Canis aureus*). *Scientific reports.* 2023. Vol. 13 №1, 7388. https://doi.org/10.1038/s41598-023-34533-w.

Bide R.W., Armour S.J., Yee E. Allometric respiration/body mass data for animals to be used for estimates of inhalation toxicity to young adult humans. *Journal of applied toxicology: JAT*. 2000. Vol. 20 №4, P. 273-290. https://doi.org/10.1002/1099-1263(200007/08)20:4<273::aid-jat657>3.0.co;2-x

Blagojević M., Božičković I., Ušćebrka G., Lozanče O., Đorđević M., Zorić Z., Nešić I. Anatomical and histological characteristics of the lungs in the ground squirrel (Spermophilus citellus). *Acta veterinaria Hungarica*. 2018. Vol. 66. Issue 2, 165-176. https://doi.org/10.1556/004.2018.016

Buchko O., Havryliak V., Yaremkevych O., Konechna R., Ohorodnyk N. Metabolic processes in the organism of animals under the action of plant extract. *Regulatory Mechanisms in Biosystems.* 2019. Vol. 10. №2. P. 149-158. https://doi.org/10.15421/021922

Buijtendijk M.F.J., Barnett P., van den Hoff M.J. B. Development of the human heart. American journal of medical genetics. Part C, Seminars in medical genetics. 2020. Vol. 184. № 1. P. 7–22. https://doi.org/10.1002/ajmg.c.31778

Cooper D.M., Loxham M. Particulate matter and the airway epithelium: the special case of the underground? *European respiratory review: an official journal of the European Respiratory Society*. 2019. Vol. 28. №153, 190066. https://doi.org/10.1183/16000617.0066-2019

Davenport P.W., von Leupoldt A., Wheeler-Hegland K., Colrain I.M. Frontiers in respiratory physiology - grand challenge. *Frontiers in physiology*. 2010. Vol. 1, 139. https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00139

De Backer J. W., Vos W.G., Burnell P., Verhulst S.L., Salmon P., De Clerck N. De Backer W. Study of the variability in upper and lower airway morphology in Sprague-Dawley rats using modern micro-CT scan-based segmentation techniques. *Anatomical record* (Hoboken N.J.: 2007). 2009. Vol. 292. №5. P. 720–727. https://doi.org/10.1002/ar.20877

Duncker H.R. Vertebrate lungs: structure, topography and mechanics. A comparative perspective of the progressive integration of respiratory system, locomotor apparatus and ontogenetic development. *Respiratory physiology & neurobiology*. 2004. Vol. 144. № 2–3, P. 111–124. https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.07.020

Eckhardt C.M., Wu H. Environmental Exposures and Lung Aging: Molecular Mechanisms and Implications for Improving Respiratory Health. *Current environmental health reports.* 2021. Vol. 8. №4, P. 281–293. https://doi.org/10.1007/s40572-021-00328-2.

Einstein D.R., Neradilak B., Pollisar N., Minard K.R., Wallis C., Fanucchi M., Carson J.P., Kuprat A.P., Kabilan S., Jacob R. E., Corley R.A. An automated self-similarity analysis of the pulmonary tree of the Sprague-Dawley rat. *Anatomical record* (Hoboken N.J.: 2007). 2008. Vol. 291. №12. P. 1628–1648. https://doi.org/10.1002/ar.20771

European Convention for the protection of vertebrate animals used for research and other scientific purposes. (1986, March). Retrieved from [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text (access date 30.12.2025)

Forestiero S. The historical nature of biological complexity and the ineffectiveness of the mathematical approach to it. Theory in biosciences. *Theorie in den Biowissenschaften*. 2022. Vol. 141. №2. P. 213–231. https://doi.org/10.1007/s12064-022-00369-7

Franco N.H. Animal Experiments in Biomedical Research: A Historical Perspective. *Animals: an open access journal from MDPI.* 2013. Vol. 3. №1. P. 238–273. https://doi.org/10.3390/ani3010238

Fröhlich E. Animals in Respiratory Research. *International journal of molecular sciences*. 2024. Vol. 25. № 5, 2903. https://doi.org/10.3390/ijms25052903

Gehr P., Mwangi D.K., Ammann A., Maloiy G.M., Taylor C.R., Weibel E.R. Design of the mammalian respiratory system. V. Scaling morphometric pulmonary diffusing capacity to body mass: wild and domestic mammals. *Respiration physiology*. 1981. Vol. 44. №1. P. 61–86. https://doi.org/10.1016/0034-5687(81)90077-3

Geiger M., Sánchez-Villagra M. R. Similar rates of morphological evolution in domesticated and wild pigs and dogs. 2018. *Frontiers in zoology,* Vol. 15. №23. https://doi.org/10.1186/s12983-018-0265-x

González M.L., Pividori S.M., Fosser G., Pontecorvo A.A., Franco-Riveros V.B., Tubbs R.S., Boezaart A.P., Reina M.A., Buchholz B. Innervation of the heart: Anatomical study with application to better understanding pathologies of the cardiac autonomics. *Clinical anatomy* (New York, N.Y.). 2023. Vol. 36. №3. P. 550–562. https://doi.org/10.1002/ca.24017

Haberthür D., Yao E., Barré S.F., Cremona T.P., Tschanz S.A., Schittny J. C. Pulmonary acini exhibit complex changes during postnatal rat lung development. *PloS one*. 2021. Vol. 16. №11. P. 1–20 https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257349

Han M.N., Kim J.H., Choi S.H. Evaluation of Biomechanical Properties and Morphometric Structures of the Trachea in Pigs and Rabbits. *In vivo* (Athens, Greece). 2022. Vol. 36. №4. P. 1718–1725. https://doi.org/10.21873/invivo.12884

Heck L., Wilson L.A.B., Evin A., Stange M., Sánchez-Villagra M.R. Shape variation and modularity of skull and teeth in domesticated horses and wild equids. *Frontiers in zoology*. 2018. Vol. 15. №14. https://doi.org/10.1186/s12983-018-0258-9

Horalskyi L.P., Ragulya M.R., Kolesnik N.L., Sokulskyi I.M., Gutyj B.V. Peculiarities of macro- and cytometric assessment of morphological structures of the domestic pig heart. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. №1. P. 55–61. https://doi.org/10.15421/022408

Hsia C.C., Hyde D.M., Weibel E.R. Lung Structure and the Intrinsic Challenges of Gas Exchange. *Comprehensive Physiology*. 2016. Vol. 6. №2. P. 827–895. https://doi.org/10.1002/cphy.c150028

Hsia C.C., Schmitz A., Lambertz M., Perry S. F., Maina J. N. Evolution of air breathing: oxygen homeostasis and the transitions from water to land and sky. *Comprehensive Physiology*. 2013. Vol. 3. №2. P. 849–915. https://doi.org/10.1002/cphy.c120003

Hyde D.M., Hamid Q., Irvin C.G. Anatomy, pathology, and physiology of the tracheobronchial tree: emphasis on the distal airways. *The Journal of allergy and clinical immunology*. 2009. Vol. 124 (6 Suppl), P. 72–77. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.048

Iliukha L.M. Systems biology and systems regulation of physiological processes. *Cherkasy university bulletin: biological sciences series*. 2022. Vol. 2. P. 32–37. https://10.31651/2076-5835-2018-1-2022-2-32-37/

Knudsen L., Hummel B., Wrede C., Zimmermann R., Perlman C.E., Smith B.J. Acinar micromechanics in health and lung injury: what we have learned from quantitative morphology. *Frontiers in physiology*. 2023. Vol. 14. P.1142221. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1142221

Kohl P., Crampin E.J., Quinn T.A., Noble D. Systems biology: an approach. *Clinical pharmacology and therapeutics*. 2010. Vol. 88. №1. P. 25–33. https://doi.org/10.1038/clpt.2010.92

Krause W.J., Leeson C.R. The postnatal development of the respiratory system of the opossum. I. Light and scanning electron microscopy. The *American journal of anatomy*. 1973. Vol. 137. №3. P. 337–355. https://doi.org/10.1002/aja.1001370306

Lee J.W., Kang M.Y., Yang H.J., Lee E. Fluid-dynamic optimality in the generation-averaged length-to-diameter ratio of the human bronchial tree. *Medical & biological engineering & computing*. 2007. Vol. 45. №11. P. 1071–1078. https://doi.org/10.1007/s11517-007-0232-8

Lindstedt S.L., Schaeffer P.J. Use of allometry in predicting anatomical and physiological parameters of mammals. *Laboratory animals*. 2002. Vol. 36. №1. P. 1–19. https://doi.org/10.1258/0023677021911731

López A., Martinson S.A. Respiratory System, Mediastinum, and Pleurae. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. 2017. P. 471–560. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35775-3.00009-6

Maina J.N., Gils V.P. Morphometric characterization of the airway and vascular systems of the lung of the domestic pig, Sus scrofa: comparison of the airway, arterial and venous systems. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*. 2001. Vol. 130. №4. P. 781–798. https://doi.org/10.1016/s1095-6433(01)00411-1

Majumdar A., Alencar A.M., Buldyrev S.V., Hantos Z., Lutchen K.R., Stanley H.E., Suki B. Relating airway diameter distributions to regular branching asymmetry in the lung. *Physical review letters*. 2005. Vol. 95. №16. 168101. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.168101

Meeusen E.N., Snibson K.J., Hirst S.J., Bischo R.J. Sheep as a model species for the study and treatment of human asthma and other respiratory diseases. *Drug Discovery Today: Disease Models*. 2009. Vol. 60. №4. P. 101–106. https://doi.org/10.1016/j.ddmod.2009.12.002

Monteiro A., Smith R. Bronchial tree Architecture in Mammals of Diverse Body Mass. of Diverse Body. *International Journal of Morphology*. 2014. Vol. 32. №1. P. 312–316. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000100050

Mouton W.G., Pfitzner J., Bessell J.R. Maddern G.J. Bronchial anatomy and single-lung ventilation in the pig. Canadian journal of anaesthesia. *Journal canadien d'anesthesie.* 1999. Vol. 46. №7. P. 701–703. https://doi.org/10.1007/BF03013963

Nakakuki S. Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung. *The Journal of veterinary medical science.* 1994. Vol. 56. №4. P. 685–689. https://doi.org/10.1292/jvms.56.685

Neagu A., Săvescu M., Angeli G., Tudor N., Vlăgioiu C. Radiographic retrospective study of thoracic cavity alterations in dogs and cats with respiratory diseases. *Scientific Works. Series C. Veterinary Medicine.* 2019. LXV(1). P. 66–69.

Nichiporuk S., Radzykhovskyi M., Gutyj B. Overview: eutanasia and methods of antanasia of animals. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 2022. Vol. 24. №105. P. 141–148. https://doi.org/10.32718/nvlvet10520

Oizumi H., Kato H., Endoh M., Suzuki J., Watarai H., Hamada A., Suzuki K., Nakahashi K., Sadahiro M. Swine model for training surgeons in minimally invasive anatomic lung segmentectomy. *Journal of visualized surgery.* 2017. Vol. 3. №72. https://doi.org/10.21037/jovs.2017.03.24

Palchyk V.V., Kabaliei A.V., Shynkevych V.I., Shlykova O.A. Morphological characteristics of lungs in laboratory balb/c mice. *The Medical and Ecological Problems.* 2023. Vol 27. №1–2. P. 7–24. https://doi.org/10.31718/mep.2023.27.1-2.05

Patra A.L. Comparative anatomy of mammalian respiratory tracts: the nasopharyngeal region and the tracheobronchial region. *Journal of toxicology and environmental health.* 1986. Vol. 17. №2–3. P. 163–174. https://doi.org/10.1080/15287398609530813

Perry S.F., Burggren W.W. Why respiratory biology? The meaning and significance of respiration and its integrative study. *Integrative and comparative biology.* 2007. Vol 47. №4. P.506–509. https://doi.org/10.1093/icb/icm033

Ramchandani R., Bates J.H., Shen X., Suki B., Tepper R.S. Airway branching morphology of mature and immature rabbit lungs. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985). 2001. Vol. 90. №4. P. 1584–1592. https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.4.1584

Ribitsch I., Baptista P.M., Lange-Consiglio A., Melotti L., Patruno M., Jenner F., Schnabl-Feichter E., Dutton L.C., Connolly D. J., van Steenbeek F. G., Dudhia J., Penning L.C. Large Animal Models in Regenerative Medicine and Tissue Engineering: To Do or Not to Do. *Frontiers in bioengineering and biotechnology.* 2020. Vol. 8. P. 972. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00972

Richter S., Wirkner C. A research program for Evolutionary Morphology. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research.* 2014. Vol. 52. №4. P.338-350. https://doi.org/10.1111/jzs.12061

Simões-Costa M.S., Vasconcelos M., Sampaio A. C., Cravo R.M., Linhares V. L., Hochgreb T., Yan C.Y., Davidson B., Xavier-Neto J. The evolutionary origin of cardiac chambers. *Developmental biology.* 2005. Vol. 277. №1. P. 1–15. https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.09.026

Sokulskyi I.M., Goralskyi L.P., Kolesnik N.L., Dunaievska O.F., Radzikhovsky N.L. Histostructure of the gray matter of the spinal cord in cattle (Bos Taurus). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences.* 2021. Vol. 4. №3. P. 11–15. https://doi.org/10.32718/ujvas4-3.02

Sterelny K. Humans as model organisms. Proceedings. *Biological sciences.* 2017. Vol. 284. №1869. P. 2115. https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2115

Turcotte M.M., Araki H., Karp D.S., Poveda K., Whitehead S.R. The eco-evolutionary impacts of domestication and agricultural practices on wild species. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences.* 2017. Vol. 372. №1712. P. 20160033. https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0033

Valerius K.P. Size-dependent morphology of the conductive bronchial tree in four species of myomorph rodents. *Journal of morphology.* 1996. Vol 230. №3. P. 291–297.

Vasilescu D.M., Gao Z., Saha P.K., Yin L., Wan, G., Haefeli-Bleuer B., Ochs M., Weibel E.R., Hoffman E.A. Assessment of morphometry of pulmonary acini in mouse lungs by nondestructive imaging using multiscale microcomputed tomography. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2012. Vol. 109. №42. P. 17105–17110.

Wang P.M., Kraman S.S. Fractal branching pattern of the monopodial canine airway. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985). 2004. Vol. 96. №6. P. 2194–2199. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00604.2003

Weibel E.R. Why measure lung structure? *American journal of respiratory and critical care medicine.* 2001. Vol. 163. №2. P. 314–315. https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.2.hh12-00

Wishart D.S. Metabolomics for Investigating Physiological and Pathophysiological Processes. *Physiological reviews.* 2019. Vol. 99. №4. P. 1819–1875. https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2018

References

Horalskyi, L.P., Khomych, V.T., & Kononskyi, O.I. (2019). Osnovy histolohichnoyi tekhniky ta morfofunktsionalnykh metodiv doslidzhennia v normi ta patolohiyi [Fundamentals of histological technique and morphofunctional research methods in normal and pathology]. Polissia, Zhytomyr. 288 p. [in Ukrainian]

Zakon Ukrainy № 3447-IV «Pro zakhyst tvaryn vid zhorstokoho povodzhennia» vid 21.02.2006 № 3447-IV. [Law of Ukraine № 3447-IV "About protection of animals from cruelty". dated 21.02. 2006, February]. [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15#Text (access date 07.06.2025) [in Ukrainian].

Zakon Ukrainy «Pro myslyvske hospodarstvo ta poliuvannia» vid 22.02.2000 № 1478-III. [Law of Ukraine About game management and hunting dated 22.02.2000 №. 1478-III]. [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1478-14#Text (access date: 07.06.2025) [in Ukrainian].

Khomych V.T., Levchuk V.S., Horalskyi L.P., Shykh Yu.S., & Kalynovska I.H. (2005). Mizhnarodna veterynarna anatomichna nomenklatura = Nomina anatomica veterinaria: latynskoiu, ukrainskoiu i anhliiskoiu. [International Veterinary Anatomical Nomenclature = Nomina anatomica veterinaria: in Latin, Ukrainian and English]. Kyiv. 389 [in Ukrainian].

Khomych V.T., Mazurkevych T.A., Dyshliuk N.V., Stehnei Zh.H., & Usenko S.I. (2019). Mizhnarodna veterynarna histolohichna nomenklatura: terminolohichnyi slovnyk - Nomina histologica veterinaria. [International Veterinary Histological Nomenclature: Terminological Dictionary - Nomina histologica veterinaria]. Kyiv. 273 [in Ukrainian].

Yablons'ka, O.V. (2007). Vikoristannya laboratornih tvarin u eksperimentah: metod. Vkazivki. K.: Vid. centr NAU, 3-6. [in Ukrainian]

Barash, A., Preiss-Bloom, S., Machluf, Y., Fabbri, E., Malkinson, D., Velli, E., Mucci, N., Barash, A., Caniglia, R., Dayan, T., & Dekel, Y. (2023). Possible origins and implications of atypical morphologies and domestication-like traits in wild golden jackals (Canis aureus). *Scientific reports*, 13(1), 7388. https://doi.org/10.1038/s41598-023-34533-w [in English].

Bide, R.W., Armour, S.J., & Yee, E. (2000). Allometric respiration/body mass data for animals to be used for estimates of inhalation toxicity to young adult humans. *Journal of applied toxicology: JAT*, 20(4), 273–290. https://doi.org/10.1002/1099-1263(200007/08)20:4<273::aid-jat657>3.0.co;2-x [in English].

Blagojević, M., Božičković, I., Uščebrka, G., Lozanče, O., Đorđević, M., Zorić, Z., & Nešić, I. (2018). Anatomical and histological characteristics of the lungs in the ground squirrel (Spermophilus citellus). *Acta veterinaria Hungarica*, 66(2), 165–176. https://doi.org/10.1556/004.2018.016 [in English].

Buchko, O., Havryliak, V., Yaremkevych, O., Konechna, R., & Ohorodnyk, N. (2019). Metabolic processes in the organism of animals under the action of plant extract. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 10(2), 149–158. https://doi.org/10.15421/021922 [in English].

Buijtendijk, M.F.J., Barnett, P., & van den Hoff, M.J.B. (2020). Development of the human heart. *American journal of medical genetics. Part C, Seminars in medical genetics*, 184(1), 7–22. https://doi.org/10.1002/ajmg.c.31778 [in English].

Cooper, D.M., & Loxham, M. (2019). Particulate matter and the airway epithelium: the special case of the underground?. *European respiratory review : an official journal of the European Respiratory Society*, 28(153), 190066. https://doi.org/10.1183/16000617.0066-2019 [in English].

Davenport, P.W., von Leupoldt, A., Wheeler-Hegland, K., & Colrain, I.M. (2010). Frontiers in respiratory physiology - grand challenge. *Frontiers in physiology*, 1, 139. https://doi.org/10.3389/fphys.2010.00139 [in English].

De Backer, J.W., Vos, W.G., Burnell, P., Verhulst, S. L., Salmon, P., De Clerck, N., & De Backer, W. (2009). Study of the variability in upper and lower airway morphology in Sprague-Dawley rats using modern micro-CT scan-based segmentation techniques. *Anatomical record* (Hoboken, N.J.: 2007), 292(5), 720–727. https://doi.org/10.1002/ar.20877 [in English].

Duncker H.R. (2004). Vertebrate lungs: structure, topography and mechanics. A comparative perspective of the progressive integration of respiratory system, locomotor apparatus and ontogenetic development. *Respiratory physiology & neurobiology,* 144(2-3), 111–124. https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.07.020 [in English].

Eckhardt, C.M., & Wu, H. (2021). Environmental Exposures and Lung Aging: Molecular Mechanisms and Implications for Improving Respiratory Health. *Current environmental health reports,* 8(4), 281–293. https://doi.org/10.1007/s40572-021-00328-2 [in English].

Einstein, D.R., Neradilak, B., Pollisar, N., Minard, K.R., Wallis, C., Fanucchi, M., Carson, J.P., Kuprat, A.P., Kabilan, S., Jacob, R.E., & Corley, R.A. (2008). An automated self-similarity analysis of the pulmonary tree of the Sprague-Dawley rat. *Anatomical record* (Hoboken, N.J.: 2007), 291(12), 1628–1648. https://doi.org/10.1002/ar.20771 [in English].

European Convention for the protection of vertebrate animals used for research and other scientific purposes. (1986, March). Retrieved from [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text (access date 30.12.2025) [in English].

Forestiero, S. (2022). The historical nature of biological complexity and the ineffectiveness of the mathematical approach to it. Theory in biosciences. *Theorie in den Biowissenschaften*, 141(2), 213–231. https://doi.org/10.1007/s12064-022-00369-7 [in English].

Franco, N.H. (2013). Animal Experiments in Biomedical Research: A Historical Perspective. *Animals: an open access journal from MDPI,* 3(1), 238–273. https://doi.org/10.3390/ani3010238 [in English].

Fröhlich E. (2024). Animals in Respiratory Research. *International journal of molecular sciences,* 25(5), 2903. https://doi.org/10.3390/ijms25052903 [in English].

Gehr, P., Mwangi, D.K., Ammann, A., Maloiy, G.M., Taylor, C.R., & Weibel, E.R. (1981). Design of the mammalian respiratory system. V. Scaling morphometric pulmonary diffusing capacity to body mass: wild and domestic mammals. *Respiration physiology,* 44(1), 61–86. https://doi.org/10.1016/0034-5687(81)90077-3 [in English].

Geiger, M., & Sánchez-Villagra, M.R. (2018). Similar rates of morphological evolution in domesticated and wild pigs and dogs. *Frontiers in zoology*, 15, 23. https://doi.org/10.1186/s12983-018-0265-x [in English].

González, M.L., Pividori, S.M., Fosser, G., Pontecorvo, A.A., Franco-Riveros, V. B., Tubbs, R. S., Boezaart, A. P., Reina, M. A., & Buchholz, B. (2023). Innervation of the heart: Anatomical study with application to better understanding pathologies of the cardiac autonomics. *Clinical anatomy* (New York, N.Y.), 36(3), 550–562. https://doi.org/10.1002/ca.24017 [in English].

Haberthür, D., Yao, E., Barré, S.F., Cremona, T.P., Tschanz, S.A., & Schittny, J.C. (2021). Pulmonary acini exhibit complex changes during postnatal rat lung development. *PloS one*, 16(11), e0257349. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257349 [in English].

Han, M.N., Kim, J.H., & Choi, S. H. (2022). Evaluation of Biomechanical Properties and Morphometric Structures of the Trachea in Pigs and Rabbits. *In vivo* (Athens, Greece), 36(4), 1718–1725. https://doi.org/10.21873/invivo.12884 [in English].

Heck, L., Wilson, L.A.B., Evin, A., Stange, M., & Sánchez-Villagra, M.R. (2018). Shape variation and modularity of skull and teeth in domesticated horses and wild equids. *Frontiers in zoology*, 15, 14. https://doi.org/10.1186/s12983-018-0258-9 [in English].

Horalskyi, L.P., Ragulya, M.R., Kolesnik, N.L., Sokulskyi, I.M., & Gutyj, B.V. (2024). Peculiarities of macro- and cytometric assessment of morphological structures of the domestic pig heart. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(1), 55–61. https://doi.org/10.15421/022408 [in English].

Hsia, C.C., Hyde, D.M., & Weibel, E.R. (2016). Lung Structure and the Intrinsic Challenges of Gas Exchange. *Comprehensive Physiology*, 6(2), 827–895. https://doi.org/10.1002/cphy.c150028 [in English].

Hsia, C.C., Schmitz, A., Lambertz, M., Perry, S.F., & Maina, J.N. (2013). Evolution of air breathing: oxygen homeostasis and the transitions from water to land and sky. *Comprehensive Physiology*, 3(2), 849–915. https://doi.org/10.1002/cphy.c120003 [in English].

Hyde, D.M., Hamid, Q., & Irvin, CG. (2009). Anatomy, pathology, and physiology of the tracheobronchial tree: emphasis on the distal airways. *The Journal of allergy and clinical immunology,* 124 (6 Suppl), S72–S77. https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.08.048 [in English].

Iliukha, L.M. (2022) Systems biology and systems regulation of physiological processes. *Cherkasy university bulletin: biological sciences series*, 2, 32–37. https://10.31651/2076-5835-2018-1-2022-2-32-37 [in English].

Knudsen, L., Hummel, B., Wrede, C., Zimmermann, R., Perlman, C.E., & Smith, B.J. (2023). Acinar micromechanics in health and lung injury: what we have learned from quantitative morphology. *Frontiers in physiology*, 14, 1142221. https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1142221 [in English].

Kohl, P., Crampin, E.J., Quinn, T.A., & Noble, D. (2010). Systems biology: an approach. *Clinical pharmacology and therapeutics,* 88(1), 25–33. https://doi.org/10.1038/clpt.2010.92 [in English].

Krause, W.J., & Leeson, C.R. (1973). The postnatal development of the respiratory system of the opossum. I. Light and scanning electron microscopy. The *American journal of anatomy*, 137(3), 337–355. https://doi.org/10.1002/aja.1001370306 [in English].

Lee, J.W., Kang, M.Y., Yang, H.J., & Lee, E. (2007). Fluid-dynamic optimality in the generation-averaged length-to-diameter ratio of the human bronchial tree. *Medical & biological engineering & computing,* 45(11), 1071–1078. https://doi.org/10.1007/s11517-007-0232-8 [in English].

Lindstedt, S.L., & Schaeffer, P.J. (2002). Use of allometry in predicting anatomical and physiological parameters of mammals. *Laboratory animals*, 36(1), 1–19. https://doi.org/10.1258/0023677021911731 [in English].

López, A., & Martinson, S.A. (2017). Respiratory System, Mediastinum, and Pleurae. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*, 471–560.e1. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35775-3.00009-6 [in English].

Maina, J.N., & Gils, V.P. (2001). Morphometric characterization of the airway and vascular systems of the lung of the domestic pig, Sus scrofa: comparison of the airway, arterial and venous systems. Comparative biochemistry and physiology. *Part A, Molecular & integrative physiology,* 130(4), 781–798. https://doi.org/10.1016/s1095-6433(01)00411-1 [in English].

Majumdar, A., Alencar, A.M., Buldyrev, S.V., Hantos, Z., Lutchen, K.R., Stanley, H. E., & Suki, B. (2005). Relating airway diameter distributions to regular branching asymmetry in the lung. *Physical review letters*, 95(16), 168101. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.168101 [in English].

Meeusen, E.N., Snibson, K.J., Hirst, S.J., Bischo,f R.J. (2009). Sheep as a model species for the study and treatment of human asthma and other respiratory diseases. *Drug Discovery Today: Disease Models.* 60 (4), 101–106. https://doi.org/10.1016/j.ddmod.2009.12.002 [in English].

Monteiro, A., & Smith, R. (2014). Bronchial tree Architecture in Mammals of Diverse Body Mass. of Diverse Body. *International Journal of Morphology*. 32(1), 312–316. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000100050 [in English].

Mouton, W.G., Pfitzner, J., Bessell, J.R., & Maddern, G.J. (1999). Bronchial anatomy and single-lung ventilation in the pig. Canadian journal of anaesthesia. *Journal canadien d'anesthesie*, 46(7), 701–703. https://doi.org/10.1007/BF03013963 [in English].

Nakakuki, S. (1994). Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung. *The Journal of veterinary medical science,* 56(4), 685-689. https://doi.org/10.1292/jvms.56.685 [in English].

Nanglu, K., de Carle, D., Cullen, T. M., Anderson, E. B., Arif, S., Castañeda, R. A., Chang, L. M., Iwama, R. E., Fellin, E., Manglicmot, R. C., Massey, M. D., & Astudillo-Clavijo, V. (2023). The nature of science: The fundamental role of natural history in ecology, evolution, conservation, and education. *Ecology and evolution,* 13(10), e10621. https://doi.org/10.1002/ece3.10621 [in English].

Neagu, A., Săvescu, M., Angeli, G., Tudor, N., Vlăgioiu, C. (2019). Radiographic retrospective study of thoracic cavity alterations in dogs and cats with respiratory diseases. *Scientific Works. Series C. Veterinary Medicine.* LXV(1), 66–69 [in English].

Nichiporuk, S., Radzykhovskyi, M., & Gutyj, B. (2022). Overview: eutanasia and methods of antanasia of animals. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences,* 24(105), 141–148. https://doi.org/10.32718/nvlvet10520 [in English].

Oizumi, H., Kato, H., Endoh, M., Suzuki, J., Watarai, H., Hamada, A., Suzuki, K., Nakahashi, K., & Sadahiro, M. (2017). Swine model for training surgeons in minimally invasive anatomic lung segmentectomy. *Journal of visualized surgery*, 3, 72. https://doi.org/10.21037/jovs.2017.03.24 [in English].

Palchyk, V.V., Kabaliei, A.V., ShynkevychV.I., & Shlykova, O.A. (2023). Morphological characteristics of lungs in laboratory balb/c mice. *The Medical and Ecological Problems,* 27(1–2), 17–24. https://doi.org/10.31718/mep.2023.27.1-2.05 [in English].

Patra, A.L. (1986). Comparative anatomy of mammalian respiratory tracts: the nasopharyngeal region and the tracheobronchial region. *Journal of toxicology and environmental health*, 17(2–3), 163–174. https://doi.org/10.1080/15287398609530813 [in English].

Perry, S.F., & Burggren, W.W. (2007). Why respiratory biology? The meaning and significance of respiration and its integrative study. *Integrative and comparative biology*, 47(4), 506–509. https://doi.org/10.1093/icb/icm033 [in English].

Ramchandani, R., Bates, J.H., Shen, X., Suki, B., & Tepper, R.S. (2001). Airway branching morphology of mature and immature rabbit lungs. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 90(4), 1584–1592. https://doi.org/10.1152/jappl.2001.90.4.1584 [in English].

Ribitsch, I., Baptista, P.M., Lange-Consiglio, A., Melotti, L., Patruno, M., Jenner, F., Schnabl-Feichter, E., Dutton, L. C., Connolly, D.J., van Steenbeek, F.G., Dudhia, J., & Penning, L.C. (2020). Large Animal Models in Regenerative Medicine and Tissue Engineering: To Do or Not to Do. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 8, 972. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00972 [in English].

Richter, S., & Wirkner, C. (2014). A research program for Evolutionary Morphology. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 52(4), 338–350. https://doi.org/10.1111/jzs.12061 [in English].

Simões-Costa, M. S., Vasconcelos, M., Sampaio, A. C., Cravo, R. M., Linhares, V. L., Hochgreb, T., Yan, C. Y., Davidson, B., & Xavier-Neto, J. (2005). The evolutionary origin of cardiac chambers. *Developmental biology*, 277(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.09.026 [in English].

Sokulskyi, I.M., Goralskyi, L.P., Kolesnik, N.L., Dunaievska, O.F., & Radzikhovsky, N.L. (2021). Histostructure of the gray matter of the spinal cord in cattle (Bos Taurus). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 4(3), 11–15. https://10.32718/ujvas4-3.02 [in English].

Sterelny, K. (2017). Humans as model organisms. Proceedings. *Biological sciences*, 284(1869), 20172115. https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2115 [in English].

Turcotte, M.M., Araki, H., Karp, D.S., Poveda, K., & Whitehead, S.R. (2017). The eco-evolutionary impacts of domestication and agricultural practices on wild species. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences,* 372(1712). [in English].

Valerius, K.P. (1996). Size-dependent morphology of the conductive bronchial tree in four species of myomorph rodents. *Journal of morphology*, 230(3), 291–297. [in English].

Vasilescu, D.M., Gao, Z., Saha, P. K., Yin, L., Wang, G., Haefeli-Bleuer, B., Ochs, M., Weibel, E.R., & Hoffman, E.A. (2012). Assessment of morphometry of pulmonary acini in mouse lungs by nondestructive imaging using multiscale microcomputed tomography. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(42), 17105–17110. [in English].

Wang, P.M., & Kraman, S.S. (2004). Fractal branching pattern of the monopodial canine airway. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 96(6), 2194–2199. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00604.2003 [in English].

Weibel, E.R. (2001). Why measure lung structure?. *American journal of respiratory and critical care medicine,* 163(2), 314–315. https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.2.hh12-00 [in English].

Wishart, D.S. (2019). Metabolomics for Investigating Physiological and Pathophysiological Processes. *Physiological reviews*, 99(4), 1819–1875. https://doi.org/10.1152/physrev.00035.2018 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 01.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 582.26/.27:504.61:355.01](282)(477.41)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.9

ФІТОПЛАНКТОН Р. ДУБОВЕЦЬ (БАСЕЙН ДНІПРА) ЯК ІНДИКАТОР ЯКОСТІ ВОДИ МАЛОЇ РІЧКИ

Ю. С. Шелюк[1], І. В. Роговський[2], О. П. Житова[3], Л. А. Константиненко[4]

У роботі обговорюються результати дослідження фітопланктону притоки Тетерева – р. Дубовець, отримані впродовж експедиційних досліджень упродовж 2025 р. (квітень, липень і жовтень). Загалом у річковому фітопланктоні виявлено 94 види водоростей, представлених 104 внутрішньовидовими таксонами з номенклатурним типом виду включно з 7 відділів: Chlorophyta 37 видів (40 в.в.т.), Bacillariophyta – 28 (31), Euglenozoa – 11 (13), Cyanobacteria – 9 (10), Ochrophyta – 5 (6), Miozoa і Cryptophyta – по 2 (2) відповідно. Структуроутворюючими відділами в усі сезони були зелені і діатомові водорості, також найбільшу частоту трапляння мали діатомові, зелені і евгленові. Найбільше насичення родів видами та внутрішньовидовими таксонами у відділів Euglenozoa і Ochrophyta, що вказує на найвищий адаптаційний потенціал цих груп водоростей на сучасному етапі функціонування річкової екосистеми.

Середнє значення біомаси фітопланктону р. Дубовець склало 2,65±0,12 мг/дм^3, чисельності – 5,54±2,59 млн. кл/дм^3. Отже, за біомасою фітопланктону якість річової води належить до ІІІ класу якості вод «забруднені» категорії «слабко забруднені». Проте підвищення рівня біомаси спостерігалося у літній період (4,38±0,99 мг/дм^3) переважно за рахунок інтенсивної вегетації синьозелених (їх частка у структурі біомаси влітку склала 51%, чисельності – 92%). У цей період спостерігали й зниження індексу Шеннона, а отже, перехід від полідомінантної структури фітопланктону упродовж весни і осені до олігодомінантної влітку. На здатність автотрофної ланки річкової екосистеми до самовідновлення вказує значна частка видів-домінантів у складі домінуючого комплексу, які, маючи високий продукційний потенціал, визначають компенсаторний механізм підтримання сталого балансу органічної речовини.

[1] доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Shelyuk_Yulya@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6429-1028
[2] здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: kursy123@ukr.net
ORCID: 0009-0002-1425-3087
[3] доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри екології
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: elmi1969@meta.ua
ORCID: 0000-0003-2572-4163
[4] кандидат біологічних наук, доцент,
завідувачка кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: lkonstantynenko@ukr.net
ORCID: 0000-0002-9959-777X

У структурі фітопланктону р. Дубовець провідна роль належала планктонно-бентосним формам. За географічним поширенням водоростевий планктон річки є гетерогенним, проте, основу його флористичного складу формують види-космополіти. За відношенням до pH водорості здебільшого належать до індиферентів та до алкаліфілів; за галобністю – індиферентів і галофілів; за реофільністю – індиферентами; за температурною приуроченістю – евритермами. У фітопланктоні водотоку переважають β-мезосапроби, індекс сапробності, розрахований за біомасою фітопланктону, сягав 1,9±0,06 (клас якості вод «чисті» категорія «досить чисті»).

Ключові слова: *фітопланктон, річка Дубовець, таксономічний склад, біомаса, домінантний комплекс, індикаторні види, сапробність.*

PHYTOPLANKTON OF THE DUBOVETS RIVER (DNIPRO BASIN) AS AN INDICATOR OF THE STATE OF THE WATER ECOSYSTEM OF A SMALL RESERVOIR

Y. S. Shelyk, I. V. Rogovsky, O. P. Zhytova, L. A. Konstantynenko

The paper discusses the results of phytoplankton research in the Teterev tributary, the Dubovets River, obtained during expeditionary studies in 2025 (April, July, and October). In total, 94 species of algae were found in the river phytoplankton, represented by 104 intraspecific taxa with a nomenclatural species type, including 7 divisions: Chlorophyta – 37 видів (40 в.в.т.), Bacillariophyta – 28 (31), Euglenozoa – 11 (13), Cyanobacteria – 9 (10), Ochrophyta – 5 (6), Miozoa and Cryptophyta – no 2 (2) each. Green and diatom algae were the structure-forming divisions in all seasons, with diatom, green, and euglenoid algae having the highest frequency of occurrence. The highest saturation of genera with species and intraspecific taxa was found in the Euglenozoa and Ochrophyta divisions, indicating the highest adaptive potential of these groups of algae at the current stage of river ecosystem functioning.

The average value of phytoplankton biomass in the Dubovets River was 2.65 ± 0.12 mg/dm^3, and the abundance was 5.54 ± 2.59 million cells/dm^3. Therefore, based on phytoplankton biomass, the water quality belongs to class III, "polluted," category "slightly polluted." However, an increase in biomass was observed in the summer period (4.38 ± 0.99 mg/dm^3), mainly due to the intensive vegetation of blue-green algae (their share in the biomass structure in summer was 51%, and their abundance was 92%). During this period, a decrease in the Shannon index was also observed, and thus a transition from a polydominant phytoplankton structure during spring and autumn to an oligodominant one in summer. The ability of the autotrophic link of the river ecosystem to self-regenerate is indicated by a significant proportion of dominant species in the dominant complex, which, having a high production potential, determine the compensatory mechanism for maintaining a stable balance of organic matter. Plankton-benthic forms played a leading role in the phytoplankton structure of the Dubovets River. In terms of geographical distribution, the river's algal plankton is heterogeneous, but its floristic composition is dominated by cosmopolitan species. In terms of pH, algae are mostly indifferent and alkaliphilic; in terms of halophility, they are indifferent and halophytic; in terms of rheophility, they are indifferent; in terms of temperature preference, they are eurythermic. β-mesosaprobic species predominate in the phytoplankton of the watercourse, and the saprobity index, calculated based on phytoplankton biomass, reached 1.9±0.06 (water quality class "clean," category "fairly clean").

Key words: *phytoplankton, Dubovets River, taxonomic composition, biomass, dominant complex, indicator species, saprobity.*

Вступ

Річкові екосистеми є динамічними і чутливими природними екосистемами, у функціонуванні яких провідну роль відіграє автотрофна ланка. Фітопланктон, як первинна ланка водних трофічних мереж, оперативно реагує на зміни умов середовища, тому є ключовим об'єктом біомоніторингу та джерелом об'єктивної інформації для оцінки якості води. Дослідження видового складу, структурно-функціональних характеристик та екологічних особливостей водоростей планктону водотоків забезпечує розкриття основних механізмів функціонування та саморегуляції водних екосистем (Odum, 1959; Shelyuk& Shcherbak, 2018).

Як об'єкт дослідження для вивчення структури фітопланктону малих річок була обрана р. Дубовець притока Тетерева, басейн Дніпра). Останні відомості щодо автотрофної ланки цього водотоку були наведені за результатами досліджень 2004–2005 р. (Кузьмінчук, 2005). Дослідження фітопланктону цієї річки на сучасному етапі функціонування її гідроекосистеми дозволяє не лише оцінювати його кількісні та якісні показники, але й виявляти закономірності сукцесії автотрофної ланки, адаптаційні

механізми водоростевих угруповань, зміни трофічного статусу водотоку і якості води.

Метою роботи було дослідження фітопланктону річки Дубовець, зокрема таксономічного складу, сезонної динаміки біомаси та чисельності, домінуючого комплексу та еколого-географічної характеристики фітопланктону, а також оцінка якості води за індикаторними видами водоростей.

Матеріал і методи

Річка Дубовець (Вилія) протікає у Коростишівському та Радомишльському районах Житомирської області, права притока Тетерева. Довжина водотоку становить 34 км, площа його басейну 255 км^2. Бере початок на лісистій місцині на півдні Коростишівського району, далі протікає через ряд сіл району і впадає в районі села Рудня-Городецька у річку Тетерів (Каталог …, 1957).

Альгологічні дослідження здійснювали упродовж вегетаційного сезону 2025 р. експедиційним методом з використанням стандартних методик (Методи …, 2006). Загалом було відібрано 36 альгологічних проб у межах верхньої, середньої і верхньої течії (квітень, липень і жовтень). Їх камеральне опрацювання проводили за допомогою камери Нажотта об'ємом 0,05 см^3. Систематичний склад водоростей встановлювали відповідно до загальноприйнятих таксономічних підходів із урахуванням праць (Tsarenko et al., 2006, 2009, 2011) та згідно з міжнародним електронним каталогом AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2025).

Індекс різноманіття Шеннона (Ignatiades, 2020), домінантний комплекс та індекс сапробності розраховували за біомасою фітопланктону, яка відображає рівень реалізованої первинної продукції автотрофної ланки (Ліщук, 2007; Shelyuk, 2019, 2024). До домінантних відносили види, біомаса яких складала не менше 10 % від загальної біомаси проб. Біоіндикаційний аналіз виконували з урахуванням індикаторних властивостей водоростей, наведених у монографії Софії Баринової (Barynova et al., 2006), а також відомостей, поданих у роботі (Cupertino et al., 2019).

Результати

За час досліджень у планктоні р. Дубовець виявлено 94 види водоростей, представлених 104 внутрішньовидовими таксонами, з номенклатурним типом виду включно з 7 відділів: Chlorophyta – 37 видів (40 в.в.т.), Bacillariophyta – 28 (31), Euglenozoa – 11 (13), Cyanobacteria – 9 (10), Ochrophyta – 5 (6), Miozoa і Cryptophyta – по 2 (2) відповідно (табл. 1).

Порівняння значень родового коефіцієнта і відношення кількості таксонів рангом нижче роду до кількості видів, розрахованих для різних відділів водоростей, вказує на найбільше насичення родів видами та внутрішньовидовими таксонами у відділів Euglenozoa і Ochrophyta, що вказує на найвищий адаптаційний потенціал цих груп водоростей.

Провідними родами впродовж усіх сезонів були *Nitzschia* (Kütz.) Hant. in Rabenh *Trachelomomas* Ehrenb., *Cyclotella* Kutz., *Navicula* Bory., *Chlamydomomas* Snow.

Найбільшим числом видів і внутрішньовидових таксонів характеризувався відділ *Chlorophyta і Bacillariophyta.* У сезонному розподілі водоростей річкового планктону спостерігалося зростання числа видів від весни до літа та його зменшення від літа до осені. Навесні у фітопланктоні ідентифіковано 19 видів водоростей (20 в.в.т). Структуроутворюючими відділами були зелені та діатомові водорості – по 6 видів, меншу представленість мали евгленові – 4, ціанобактерії 2, охрофітові – 1 вид.

Улітку у фітопланктоні річки визначено 75 видів (82 в. в. т.). У цей період водоростеві угруповання формували водорості з відділів: Chlorophyta – 27 видів (28 в.в.т.), Bacillariophyta – 24 (27), Cyanobacteria – 9 (10), Euglenozoa – 7 (8), Ochrophyta – 4 (5), Cryptophyta та Miozoa – по 2 (2) відповідно.

Таблиця 1

Таксономічний спектр фітопланктону р. Дубовець
(за даними оригінальних досліджень 2025 р.)

Відділи	Число таксонів, одиниць				Родовий коефіцієнт
	клас	порядок	рід	вид (в.в.т.)	
Cyanobacteria	2	3	5	9 (10)	1,8
Euglenozoa	1	1	4	11 (13)	2,8
Miozoa	1	1	1	2 (2)	2,0
Cryptophyta	1	1	1	2 (2)	2,0
Ochrophyta	1	2	2	5 (6)	2,5
Bacillariophyta	2	6	12	28 (31)	2,3
Chlorophyta	3	4	18	37 (40)	2,1
Усього	11	18	43	94(104)	2,2

Примітка: в.в.т. – внутрішньовидові таксони (включно з тими, які містять номенклатурний тип виду); родовий коефіцієнт – відношення числа видів до числа родів.

В осінній період визначено 56 видів (61 в. в. т.) із відділів: Bacillariophyta – 24 (26), Chlorophyta – 20 (22), Euglenophyta – 8 (9), Cryptophyta – 2 (2) – 4%, Ochrophyta та Miozoa – відповідно по одному виду.

У всі сезони провідна роль у формуванні видового та внутрішньовидового різноманіття належала відділам Chlorophyta та Bacillariophyta. Третю позицію за кількістю видів займали евгленові, що зумовлено порівняно високим вмістом органічних речовин у річках Українського Полісся (Shelyuk, 2019).

Для об'єктивної оцінки різноманіття фітопланктону окрім оцінки таксономічного складу фітопланктону р. Дубовець було розраховано частоту трапляння видів, у тому числі флористичний індекс F_{spp}, оскільки це значно стійкіший у часі показник у порівнянні видовим різноманіття, що використовується для оцінки значущості видів в альгоугрупованнях (Shelyuk, 2019).

За частотою трапляння *P* у фітопланктоні р. Дубовець переважали діатомові, зелені та охрофітові водорості (табл. 2). За величиною флористичного індексу F_{spp} домінували діатомові та зелені водорості (ці відділи характеризуються і найбільшою кількістю видових та внутрішньовидових таксонів).

Таблиця 2

Флористичний індекс F_{spp} та середня частота трапляння (%) (за результатами досліджень 2025 р.)

Відділи	F_{spp}	*P*
Cyanobacteria	10,5	13,0
Euglenozoa	9,0	19,7
Ochrophyta	2,7	5,0
Bacillariophyta	37,0	27,4
Chlorophyta	37,4	22,6
Miozoa	1,9	5,6
Cryptophyta	1,5	6,7

Також установлено, що в річці переважали види що зустрічалися «часто» (21–50%) – 68% та «нечасто» (5–20% проб) – 19%. Значно меншою була частка водоростей із частотою трапляння «зрідка» (1–4% проб) – 7% і «досить часто» (51–80% проб) – 6%. Видів, що відносяться до класів частоти трапляння «дуже часто» (понад 80% проб) та «поодиноко» (до 1% проб), взагалі не виявлено. Найбільшу частоту трапляння мали: *Chlamydomonas globosa* J.W.Snow *i* Oscillatoria amphibia C.Agardh ex Gomont *(no 56%), Monoraphidium arcuatum (Korsch.) Hind. (47%), Cyclotella stelligera* (Cleve & Grunow) Van Heurck *(50%), Cyclotella stelligera* (Cleve & Grunow) Van Heurck *(46%), Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg *(40%) і Cyclotella meneghiniana* Kützing *(37%).*

У структурі фітопланктону р. Дубовець провідна роль належала планктонно-бентосним формам (38% від числа таксонів видового та внутрішньовидового рангу, для яких знайдено літературні відомості). Друге місце у структурі фітопланктонану належало планктонним формам 35 %. Частка беносних форм склала 18 %. Незначна частина ідентифікованих водоростей (8 %) представлена ґрунтовими формами.

За географічним поширенням водоростевий планктон річки є гетерогенним, проте, основу його флористичного складу формують види-космополіти (53 види та внутрішньовидові таксони, для яких знайдено літературні відомості, що складає 85 %). Незначна частка планктонних водоростей представлена голарктичними формами – 10 %, бореальними – 3 % і лише 2 % приурочені ірано-туранській флорі.

За відношенням до pH у річці водорості здебільшого належать до індиферентів – 19 видів та внутрішньовидових таксонів, для яких знайдено літературні відомості, та до алкалофілів − 11 видів та внутрішньовидових таксонів, також визначено 1 вид-ацидофіл.

За галобністю більшість видів (41) є індиферентами, до галофілів відносяться 7, до олігогалобів – 2, до мезогалофобів та галофобів – по одному виду. Тенденція до зростання у водотоках Українського Полісся солонолюбних видів є наслідком зростання загальної мінералізації вод через забруднення та кліматичні зміни – посилене випаровування через зростання температури води у природних водах за останні 10 років у середньому на 1 градус. За реофільністю більшість видів водоростей є індиферентами (31 вид та внутрішньовидових таксон), ще 13 видів – форми, поширені до стоячих вод і 10 видів приурочені до текучих вод.

За температурною приуроченістю переважна більшість ідентифікованих видів водоростей є евритермами – 60%, на частку індиферентів припадало 33%, холодолюбів – 7%.

Сапробіологічна характеристика якості води р. Дубовець представлена на основі співвідношення видів-індикаторів органічного забруднення водної товщі. У фітопланктоні водотоку переважають *β*-мезосапроби – 14 видів та внутрішньовидових таксонів, при цьому досить різноманітними є індикатори проміжного рівня забруднення: *α-β-* та *β*-олігосапробним – по 6, оліго- *α*-мезосапроби та *x*-олігосапроби – по 4, оліго-*x*-сапробіонти – 3 види, *x-β*-мезосапроби та *x*-олігосапроби – по 1 (рис. 1).

Усього 39 видів і внутрішньовидових таксонів були індикаторами органічного забруднення водної екосистеми.

Індекс сапробності, розрахований за чисельністю водоростевих клітин, становить 1,7, за біомасою – 1,8 (клас якості вод «досить чисті»).

Кількісні показники фітопланктону р. Дубовець упродовж 2025 р. коливалися в широких межах: біомаса (*B*) змінювалася від 0,17 до 17,73 г/м^3, чисельність (*N*) була у межах 0,30–94,63 млн. кл/дм^3. Середня біомаса упродовж досліджуваного періоду становила 2,65±0,12 мг/дм^3, чисельність – 5,54±2,59 млн. кл/дм^3. При цьому середня біомаса весняного фітопланктону становила 2,12±0,33 г/м, чисельність – 4,95±0,19; улітку – 4,38±0,99 та 7,03±14,11, восени – 1,82±0,20, та 3,38±0,64 відповідно.

Провідними відділами у формуванні біомаси навесні були: Euglenozoa – 40% від загальної біомаси проб, Bacillariophyta – 36%, Cyanobacteria – 20%, частка відділу Chlorophyta склала близько 4%. Влітку провідними відділами за біомасою були: Cyanobacteria – 51%, Chlorophyta – 22%, Bacillariophyta – 15%, Euglenozoa – 9%, роль відділів Miozoa, Ochrophyta і Cryptophyta у формуванні біомаси фітопланктону була незначною – у сумі близько 3%. Восени провідними відділами були Bacillariophyta – 56%, Cyanobacteria – 23%, Chlorophyta – 15%, Euglenozoa – 4%, Ochrophyta та Miozoa в сумі 2%.

У формуванні чисельності фітопланктону навесні основна роль належала відділам Cyanobacteria – 80%, значно меншу чисельність водоростевих клітин мали Chlorophyta – 12%, Bacillariophyta – 6% та Euglenozoa – 2%. Улітку за чисельністю клітин водоростей планктону домінували Cyanobacteria – 92%, значно меншу частку в її формуванні мали Chlorophyta – 4%, Bacillariophyta – 2%, Euglenozoa – 1%, чисельність водоростевих клітин Ochrophyta, Miozoa та Cryptophyta у сумі складала близько 1%. В осінній період у структурі чисельності провідними відділами були: Cyanobacteria – 86%, значно меншу частку становили відділи Bacillariophyta – 8% та Chlorophyta – 5%, чисельність водоростевих клітин відділів Euglenozoa, Ochrophyta і Miozoa становила близько 1%.

Коефіцієнт варіації, розрахований для чисельності фітопланктону р. Дубовець упродовж вегетаційного сезону впродовж досліджуваного періоду склав 303%, біомаса є стабільнішим показником – σ=161%.

Індекс Шеннона, розрахований за біомасою (H_B) фітопланктону, склав відповідно 2,36±0,10 біт/г, що вказує на переважання полідомінінтної структури фітопланктону впродовж вегетаційного сезону. Середні значення індексу за сезонами становили: навесні – 3,14 біт/г, влітку – 1,89 біт/г, восени – 2,20 біт/г. Зниження індексу Шеннона влітку обумовлено інтенсивною вегетацією синьозелених водоростей, переважно за рахунок родів *Oscillatoria* та *Aphanizomenon.*

Домінантний комплекс фітопланктону р. Дубовець упродовж вегетаційного сезону формувався 24 видами і в.в.т. водоростей (табл. 3) із відділів Cyanobacteria – 3 (4), Euglenozoa – 3 (3), Bacillariophyta – 6 (7), Chlorophyta – 9 (9), Ochrophyta – 1 (1). Тобто майже чверть від усього видового складу фітопланктону виступала в ролі структурних організаторів альгоугруповань. У всі сезони у складі домінантного комплексу траплялися Oscillatoria amphibian, Aphanizomenon

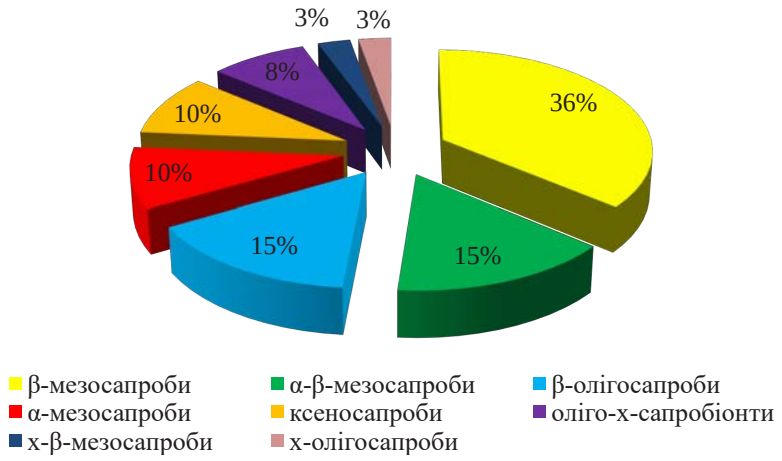


Рис. 1. Розподіл водоростей планктону р. Дубовець за сапробністю (за результатами досліджень 2025 р.)

flos-aquae, *Cyclotella meneghiniana, Cyclotella stelligera, Stephanodiscus hantzschii.*

Таблиця 3

Домінантний комплекс фітопланктону р. Дубовець (2025 р.)

№	Вид	Весна	Літо	Осінь
1	*Oscillatoria amphibia* C. Agardh ex Gomont	+	+	+
2	*Oscillatoria planctonica* Wołoszyńska	+	+	–
3	*Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault	+	+	+
4	*Aphanizomenon flos-aquae* var. *gracile* Lemmermann	–	+	–
5	*Euglena acus* (O.F.Müller) Ehrenberg	+	–	–
6	*Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg	+	–	–
7	*Trachelomonas planctonica* Svirenk	+	+	–
8	*Cyclotella bodanica* Eulenstein ex Grunow	+	+	–
9	*Cyclotella meneghiniana* Kützing	+	+	+
10	*Cyclotella stelligera* (Cleve & Grunow) Van Heurck	+	+	+
11	*Stephanodiscus hantzschii* Grunow	+	+	+
12	*Navicula hungarica* var *capitata* (Ehrenberg) Cleve	–	–	+
13	*Nitzschia linearis* W.Smith	+	+	–
14	*Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch	–	–	+
15	*Chromulina rosanoffii* (Woronin) Blochmann	–	–	+
16	*Acutodesmus acuminatus* Lagerh	–	+	–
17	*Chlamydomonas globosa* J.W.Snow	+	–	–
18	*Chlamydomonas monadina* (Ehrenberg) F.Stein	+	–	+
19	*Crucigenia quadrata* Morren	–	+	–
20	*Crucigenia tetrapedia* (Kirchner) Kuntze	–	+	–
21	*Crucigenia fenestrata* (Schmidle) Schmidle	–	+	–
22	*Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald	+	–	–
23	*Monoraphidium arcuatum* (Korshikov) Hindák	–	+	+
24	*Pseudodidymocystis planctonica* (Korshikov) E.Hegewald & Deason	–	+	–

Обговорення

Порівняння отриманих результатів із наведеними раніше за результатами досліджень 2005 р. (Кузьмінчук, 2005) засвідчує незначні зміни структури фітопланктону за двадцятирічний період. Зміни пов'язані зі збільшенням загального числа видів (в.в.т.) із 83 (90) до 94 (104), а також частки зелених водоростей та незначним зниженням діатомових у складі альгофлори, появою двох представників Cryptophyta. Водночас значення родового коефіцієнта та відношення числа видів до числа внутрішньовидових таксонів практично не змінилося, що вказує на стабільне функціонування річкової екосистеми і виражені механізми саморегуляції. Підтвердженням цього є й відносно стабільний склад домінантного комплексу із домінуванням зелених, діатомових і евгленових водоростей. У 2005 р. чисельність фітопланктону сягала 2,1±0,14 млн. кл./дм^3, біомаса – 3,1±0,12 мг/дм^3. Середня біомаса упродовж досліджуваного періоду 2025 р. становила 2,65±0,12 мг/дм^3, чисельність – 5,54±2,59 млн. кл/дм^3. Збільшення чисельності за зниження біомаси фітопланктону є свідченням тенденції до переважанням дрібнорозмірних видів водоростей, що пов'язано з їх високими темпами росту та швидким відтворенням, вказує на переважання r-стратегії видів, адаптованих до нестабільних умов середовища та швидкої реалізації первинної продукції (Щербак та ін., 2025).

Висновки

1. У фітопланктоні р. Дубовець упродовж 2025 р. виявлено 94 види водоростей, представлених 104 внутрішньовидовими таксонами з номенклатурним типом виду включно з 7 відділів: Chlorophyta – 32 види, Bacillariophyta – 28, Euglenozoa – 11, Cyanobacteria – 9, Ochrophyta – 5, Miozoa і Cryptophyta – по 2 відповідно. Структуроутворюючими відділами в усі сезони були зелені і діатомові водорості, також найбільшу частоту трапляння мали діатомові, зелені і евгленові. Найбільше насичення родів видами та внутрішньовидовими таксонами у відділів Euglenozoa і Ochrophyta, що вказує на найвищий адаптаційний потенціал цих груп водоростей на сучасному етапі функціонування річкової екосистеми.

2. Середнє значення біомаси фітопланктону р. Дубовець склало 2,65±0,12 мг/дм^3, чисельності – 5,54±2,59 млн. кл/дм^3. Отже, за біомасою фітопланктону якість води належить до III класу якості вод «забруднені» категорії «слабко забруднені». Проте підвищення рівня біомаси спостерігалося у літній період (4,38±0,99 мг/дм^3)

переважно за рахунок інтенсивної вегетації синьозелених (їх частка у структурі біомаси влітку склала 51%, чисельності – 92%). У цей період спостерігали й зниження індексу Шеннона, а отже, перехід від полідомінантної структури фітопланктону упродовж весни і осені до олігодомінантної влітку.

3. На здатність автотрофної ланки річкової екосистеми до самовідновлення вказує значна частка видів-домінантів у складі домінуючого комплексу (23 %), які, маючи високий продукційний потенціал, визначають компенсаторний механізм підтримання сталого енергетичного балансу органічної речовини.

4. У структурі фітопланктону р. Дубовець провідна роль належала планктонно-бентосним формам. За географічним поширенням водоростевий планктон річки є гетерогенним, проте, основу його флористичного складу формують види-космополіти. За відношенням до pH водорості здебільшого належать до індиферентів та до алкаліфілів; за галобністю – індиферентів і галофілів; за реофільністю – індиферентами; за температурною приуроченістю – евритермами. У фітопланктоні водотоку переважають *β*-мезосапроби, індекс сапробності, розрахований за біомасою фітопланктону, сягав 1,9±0,06 (клас якості вод «чисті» категорія «досить чисті»).

5. Аналіз літературних відомостей та порівняння із отриманими даними дозволив засвідчити, що на сучасному етапі сукцесії автотрофної ланки відбувається переважання r-стратегії видів, адаптованих до нестабільних умов середовища та швидкої реалізації первинної продукції.

Список використаної літератури

Каталог річок України / за ред. В. І. Мокляк. Київ : Вид-во АН УРСР, 1957. 198 с.

Кузьмінчук Ю.С. Фітопланктон приток р. Тетерів. *Вісник державного агроекологічного університету*. 2005. Вип. 1 (14). С. 262–269.

Ліщук А.В. Еколого-фізіологічні основи формування фітопланктону прісноводних екосистем: автореф. дис. … докт. біол. наук. Київ, 2007. 38 с.

Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.

Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Особливості біотопічної приуроченості водоростей водної товщі прісноводних гідроекосистем різного типу. *Альгологія.* 2025. Т. 35, № 2. С. 104–127. https://doi.org/10.15407/alg35.02.104.

Barynova S.S., Medvedeva L.A., Anisymova O.V. Biodiversity of algae-indicators of the environment. Tel Aviv : Piles Studio, 2006. 498 c.

Cupertino A., Gücker B., Rückert G., Figueredo C. C. Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. *Ecological Indicators.* 2019. № 101. P. 522–532. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.054

Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020 [Electronic resource] URL: http://www.algaebase.org (access date 30.12.2025).

Ignatiades L. Taxonomic Diversity, Size-Functional Diversity, and Species Dominance Interrelations in Phytoplankton Communities: a Critical Analysis of Data Interpretation. *Marine Biodivers.* 2020. № 50 (4). P. 1–9. https://doi.org/10.1007/s12526-020-01086-4

Odum E.P. *Fundamental of Ecology*. Sec. ed. Philadelphia, London: W.B. Saunders Company, 1959. 546 p.

Shelyuk Yu.S., Shcherbak V.I. Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev Basins. *Hydrobiological Journal.* 2018. Vol. 54. № 3. P. 10–23. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i3.

Shelyuk Yu.S. Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Hydrobiological Journal.* 2019. Vol. 55. № 4. P. 38–54. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.40.

Shelyuk Yu.S. Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae.* 2024. № 26 (3). P. 273-284. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Cyanoprocaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta. Eds.* Ruggell : Ganter Verlag, 2006. Vol. 1. 713 p.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Bacillariophyta. Eds.* Ruggell : Ganter Verlag, 2009. Vol. 2. 413 p.

Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Chlorophyta. Eds.* Ruggell : Ganter Verlag, 2011. Vol. 3. 511 p.

References

Kataloh richok Ukrayiny (1957). [Catalogue of rivers of Ukraine] / ed. Moklyak V. I. Kyyiv : Vyd-vo AN URSR [in Ukrainian].

Kuz′minchuk, Yu.S. (2005). Fitoplankton prytok r. Teteriv. [Phytoplankton of the tributaries of the Teteriv River]. *Visnyk derzhavnoho ahroekolohchnoho universytetu [Bulletin of the State Agroecological University],* 1(14), 262–269 [in Ukrainian].

Lishchuk, A.V. (2007). *Ekologho-fiziologhichni osnovy formuvannja fitoplanktonu prisnovodnykh ekosystem [Ecological and physiological fundamentals of phytoplankton development in freshwater ecosystems]*: Dr. Sci. (Biol.) Abstract [in Ukrainian].

Metody hidroekolohichnykh doslidzhen′ poverkhnevykh vod (2006). [Methods of hydroecological research of surface waters] / ed. Romanenko, V.D. Kyjiv : LOHOS [in Ukrainian].

Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Koziychuk, E.Sh. (2025). Osoblyvosti biotopichnoji pryurochenosti vodorostej vodnoji tovshhi prisnovodnykh ghidroekosystem riznogho typu [Specifics of biotopic preferences of algae in the water column in the freshwater ecosystems of different types]. *Algologia [Algology],* 35(2), 104–127. https://doi.org/10.15407/alg35.02.104 [in Ukrainian].

Barynova, S.S., Medvedeva, L.A., & Anisymova, O.V. (2006). Biodiversity of algae-indicators of the environment. Tel Aviv : Piles Studio [in English].

Cupertino, A., Gücker, B., Rückert, G., & Figueredo, C. (2019). Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. *Ecological Indicators*, 101, 522–532. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.054 [in English].

Guiry M.D., & Guiry G.M. (2020). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Electronic resource] URL: http://www.algaebase.org (access date 30.12.2025) [in English].

Ignatiades, L. (2020). Taxonomic Diversity, Size-Functional Diversity, and Species Dominance Interrelations in Phytoplankton Communities: a Critical Analysis of Data Interpretation. *Marine Biodivers*, 50 (4), 1–9. https://doi.org/10.1007/s12526-020-01086-4 [in English].

Odum, E. P. (1959). *Fundamental of Ecology*. W.B. Saunders Company [in English].

Shelyuk, Yu.S., & Shcherbak, V.I. (2018). Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev Basins. *Hydrobiological Journal*, 54(3), 10–23. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i3 [in English].

Shelyuk, Yu.S. (2019). Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Hydrobiological Journal*, 55(4), 38–54. https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i4.40 [in English].

Shelyuk, Yu.S. (2024). Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae*, 26 (3), 273–284. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50 [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2006). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Cyanoprocaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta. Eds.* Ruggell : Ganter Verlag, 1 [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2009). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Bacillariophyta. Eds.* Ruggell : Ganter Verlag, 2 [in English].

Tsarenko, P.M., Wasser, S.P., & Nevo, E. (2011). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. *Chlorophyta. Eds.* Ruggell : Ganter Verlag. 3 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 02.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ГЕОГРАФІЯ

УДК 911.3:332.1(477.51)+004.9
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.10

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ТИПИ ТЕРИТОРІЙ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ: ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТА КРИТЕРІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

М. О. Барановський[1]

Нещодавно уряд України затвердив методологічні підходи, показники та критерії ідентифікації функціональних типів територій. Потреба в такій ідентифікації стала актуальною після оновлення Державної стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки. Попри затвердження показників і критеріїв, їх практичне застосування на рівні громад ще не реалізоване спеціальною комісією. Це стало підґрунтям для дослідження, у якому проведено тестування методологічних підходів ідентифікації функціональних типів територій на прикладі прикордонної Чернігівської області, вибраної як пілотний регіон. Дослідження базується на офіційних статистичних даних, нормативних документах, що регулюють політику регіонального розвитку, а візуалізація його результатів – на програмному середовищі QGIS 3.30. У статті вперше на регіональному рівні виокремлені функціональні типи територій на основі нової національної методології. Полюсами зростання визначено Чернігів, Ніжин і Прилуки. Мена й Корюківка розглядаються лише як потенційний біцентричний полюс другого порядку. Підтверджено, що реальні полюси зростання можуть формуватися лише навколо середніх і великих міст, а критерії їхньої ідентифікації потребують уточнення. З-поміж територій з особливими умовами для розвитку ідентифіковано три групи – техногенних катастроф, сільські території та громади з низьким рівнем соціально-економічного розвитку. Найчисленнішими є сільські території, що охоплюють майже три чверті області. Визначення територій сталого розвитку залишається складним завданням через специфічність підходів та обмежену інформацію щодо окремих показників. Встановлено, що частина громад належить до кількох категорій проблемних територій одночасно. Це демонструє комплексність викликів, потребу в інтегрованих інструментах регіональної політики та в обґрунтуванні пріоритетності державної підтримки. Затверджена національна система функціональних типів територій, показники та критерії їхньої ідентифікації потребують удосконалення. У прикордонних і прифронтових регіонах доцільно виділити території з безпековими обмеженнями, а в регіонах із низьким рівнем заселеності й недостатньою мережею міст – адаптувати порогові значення окремих критеріїв. Результати проведеного дослідження можуть стати підґрунтям для вдосконалення чинної в Україні системи ідентифікації функціональних типів територій.

Ключові слова: *територіальні громади, Чернігівська область, функціональні типи територій, регіональна політика, регіональні полюси зростання.*

[1] доктор географічних наук, професор,
професор кафедри географії, туризму та спорту
(Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)
e-mail: Brnm@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0771-1126

FUNCTIONAL TYPES OF TERRITORIES IN CHERNIHIV REGION: APPROACHES TO DEFINITION AND IDENTIFICATION CRITERIA

M. O. Baranovskyi

The Government of Ukraine has recently approved methodological approaches, indicators, and criteria for identifying functional types of territories. The need for such identification became particularly urgent following the update of the State Regional Development Strategy for 2021–2027. Despite the formal approval of indicators and criteria, their practical application at the community level has not yet been implemented by a special commission. This created the basis for a study, which conducted testing of the methodological approaches for identifying functional types of territories, using the border Chernihiv region as a pilot case. The research relies on official statistical data and regulatory documents governing regional development policy, while the visualisation of results was carried out in the QGIS 3.30 environment.

For the first time at the regional level, functional types of territories were delineated according to the new national methodology. Chernihiv, Nizhyn, and Pryluky were identified as growth poles. Mena and Koriukivka are considered only as a potential bi-centric, second-order growth pole. The study confirms that genuine growth poles can emerge only around medium-sized and large cities, and that the criteria for their identification require further clarification.

Among the territories with specific development conditions, three groups were identified: those affected by technogenic disasters, rural territories, and communities with low socio-economic development. Rural territories constitute the largest group, covering nearly three-quarters of the region. Identifying sustainable development territories remains challenging due to the specificity of methodological approaches and limited availability of data for several indicators. It was established that some communities simultaneously fall into multiple categories of problem territories. This illustrates the complexity of regional challenges, the need for integrated regional policy tools, and the importance of justifying the prioritisation of state support.

The approved national system of functional types of territories, along with the indicators and identification criteria, requires further improvement. In border and frontline regions, it is advisable to distinguish territories with security restrictions, while in sparsely populated regions with an insufficient urban network, threshold values for selected criteria should be adapted. The findings of this study may serve as a basis for refining the existing national system for identifying functional types of territories.

Key words: *territorial communities, Chernihiv region, functional types of territories, regional policy, regional growth poles.*

Вступ

Регіональна політика України після 2014 року активно трансформується: проведено децентралізацію, сформовано нові адміністративні одиниці базового та районного рівнів, замінено критерії визначення типів населених пунктів. Державні стратегії регіонального розвитку України (ДСРР) на період до 2020 та до 2027 років синхронізовано за часом реалізації з політикою згуртованості ЄС. Держава прагне інтегрувати європейські підходи й інструменти для реалізації завдань регіональної політики в Україні. Однак реальні успіхи поєднуються з низкою проблем і традиційних помилок, яких не вдалося уникнути через різні причини, зокрема повномасштабну агресію Росії.

У Законі України «Про засади державної регіональної політики» та в оновленій Державній стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки визначено чотири функціональні типи територій. Саме вони мають стати головними об'єктами регіональної політики в середньостроковій перспективі. До них належать: території відновлення, регіональні полюси зростання, території з особливими умовами для розвитку та території сталого розвитку. Належність територіальних громад до цих типів має визначати спеціально створена комісія.

Підходи європейських країн до визначення територій, які потребують особливої підтримки, відомі ще з 90-х років XX ст. Перелік цих територій, критерії їхньої ідентифікації поступово змінюються, вони відображені в низці наукових публікацій та аналітичних досліджень (Yan et al., 2023; Methodological toolkit…, 2024), у нормативних документах Європейської комісії (Consolidated version…, 2012; European Perspective…, 2013) та Євростату (Methodological manual…, 2018; Territorial typology…, 2024). Дослідження українських науковців у попередні роки фокусувалися переважно на процесах формування територіальних громад (Udovychenko et al., 2017), визначенні їхньої спроможності

(Остапенко, 2020; Запотоцький і Телешман, 2022; Барановський, 2023; Vlakh et al., 2023;), порівняльному аналізі децентралізації в Україні та в країнах ЄС (Євченко і Тереняк, 2024).

Питання ідентифікації функціональних типів територій постали в Україні лише після затвердження ДСРР-2027, насамперед після оновлення цього нормативного документа у 2024 році. Відсутність методики та критеріїв ідентифікації територій за кожним функціональним типом було однією з головних вад першої редакції ДСРР-2027 (Функціональні..., 2022; Сиромолот, 2024), зокрема щодо виокремлення сільських територій (Сторонянська та ін., 2021; Барановський і Барановська, 2021).

В оновленій редакції ДСРР-2027 виняткову увагу привертала категорія «територій з особливими умовами для розвитку». Дискусія стосувалася не лише їхнього переліку, а й показників і критеріїв ідентифікації (Регіональний ..., 2023). Тривалий час не було єдності в експертів і практиків і щодо виокремлення регіональних полюсів зростання. Масштабне аналітичне дослідження з цієї тематики, проведене у 2024 році (Полюси ..., 2024), не дало на той момент однозначної відповіді на наявні методичні проблеми ідентифікації цього функціонального типу територій.

Підходи та критерії ідентифікації функціональних типів територій, зокрема регіональних полюсів зростання та територій з особливими умовами для розвитку, обговорювалися на Національному форумі регіональної політики в лютому 2025 року. Наслідком цього обговорення стало нещодавнє затвердження Кабінетом Міністрів України переліку функціональних типів територій та показників для їхньої ідентифікації (Про визначення..., 2025). Критерії для визначення територій відновлення були розроблені раніше й викладені в окремому документі (Порядок ..., 2023), однак зараз їх теж уточнено. Попри затвердження переліку показників, спеціальна комісія досі не провела роботу з ідентифікації функціональних типів територій на рівні громад України, що унеможливлює формування адресних інструментів їхньої підтримки.

Головною метою цього дослідження є тестування на прикладі Чернігівської області методики, показників і критеріїв ідентифікації різних функціональних типів територій, які мають стати головними об'єктами державної регіональної політики. Використовуючи наявні підходи та власні ідеї, автор у статті зробив спробу дати відповіді на такі дослідницькі питання: 1) наскільки релевантними є показники й обґрунтованими критерії ідентифікації різних функціональних типів територій; 2) які групи територій з особливими умовами для розвитку можна додатково виділити в прикордонних регіонах; 3) які вади містить офіційно затверджена методика ідентифікації різних функціональних типів територій; 4) як визначені функціональні типи територій інтегруватимуться у стратегічні та програмні документи регіонального розвитку?

Матеріал і методи

Підходи та критерії визначення різних функціональних типів територій протестовано на прикладі Чернігівської області – прикордонного регіону, що характеризується виразними демографічними, економічними й безпековими проблемами.

Емпірична база дослідження сформована на основі офіційних статистичних даних Міністерства фінансів України, Головного управління статистики у Чернігівській області, «Інформаційно-аналітичної системи моніторингу статистичних та адміністративних показників територіальних громад», а також інформації, оприлюдненої на вебсайтах територіальних громад регіону.

До територій відновлення були віднесені територіальні громади, які відповідали критеріям щонайменше двом із чотирьох показників, затверджених КМ України.

Ідентифікацію регіональних полюсів зростання здійснено на основі трьох головних показників, зокрема: 1) індексу податкоспроможності, який за останні три роки не менший ніж 1,1; 2) чисельності населення, яка має перевищувати 30 тис. осіб; 3) вигідного географічного положення – через центр громади проходить автомобільна дорога державного значення. До цієї групи включені територіальні громади, які відповідають двом із трьох зазначених критеріїв. Орієнтовні зони впливу полюсів зростання визначалися методом побудови полігонів Вороного в середовищі QGIS 3.30, що забезпечило просторово узгоджену оцінку потенціалу їхнього тяжіння. При цьому не було враховано демографічну «вагу» міст-претендентів, що частково деформує просторовий малюнок імовірних зон їхнього впливу.

З-поміж широкого переліку територій з особливими умовами для розвитку в Чернігівській області ідентифіковано

три категорії (групи): 1) з низьким рівнем соціально-економічного розвитку; 2) сільські території; 3) території техногенних катастроф.

До територій із низьким рівнем соціально-економічного розвитку належать громади, у яких індекс податкоспроможності за останні три роки становить менше ніж 0,45. Це вдвічі менше за мінімальну величину рівня дотаційності / самодостатності територіальних громад, який становить 0,9. Сільські території визначалися відповідно до трьох критеріїв, які охоплюють демографічні, просторові та функціональні характеристики. Ідентифікація територій техногенних катастроф базувалася на положеннях Закону України «Про правовий режим територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи». До цієї групи увійшли громади, у яких є населені пункти, що зазнали радіоактивного забруднення різного рівня.

Питання виокремлення територій сталого розвитку були дискусійними (Ткачук, 2024) ще на стадії обговорення переліку функціональних типів територій. Для їхньої ідентифікації пропонують використовувати аж п'ять показників, які одночасно мають відповідати всім заявленим критеріям. У цьому дослідженні до них були включені ті територіальні громади, які не увійшли до жодної з раніше визначених груп.

Результати

Регіональні полюси зростання – це мікрорегіони, територіальні громади, що мають кращі порівняно з іншими показники розвитку. Їхньою функцією є формування позитивних ефектів для сусідніх територій і периферійних зон. Аналіз ключових показників розвитку територіальних громад та їхніх центрів засвідчив, що в Чернігівській області такими полюсами вже сьогодні є міста Чернігів, Ніжин і Прилуки. Вони відповідають чинним критеріям, мають достатній демографічний, інфраструктурний та економічний потенціал для впливу на суміжні територіальні громади. На площі, яка становить 0,8 % від території області, проживає майже 42 % населення регіону. На північному сході області відсутні міста й територіальні громади, які вже зараз могли б претендувати на статус регіональних полюсів зростання. Міста Корюківка, Мена, Новгород-Сіверський і Бахмач мають майже подібний соціально-економічний потенціал. Враховуючи особливості їхнього географічного положення, економічний потенціал, індекс податкоспроможності, найбільш перспективними кандидатами на роль регіональних полюсів зростання можна вважати Мену та Корюківку. В цих містах успішно функціонує кілька підприємств, у Мені зареєстровано єдиний в області промисловий парк, є залізничне сполучення, проходить дорога державного значення. Корюківка нині є районним центром із відповідним набором адміністративних функцій. Однак соціально-економічний потенціал Мени та Корюківки поки що недостатній для виконання ними функцій регіональних полюсів зростання. З огляду на їхнє географічне положення доцільним видається формування двополюсного регіонального центру. Нині ці міста можна розглядати лише як регіональні полюси зростання другого порядку.

Орієнтовні зони впливу регіональних полюсів, визначені за допомогою полігонів Вороного, подано на рис. 1. Очевидно, що зона впливу регіонального полюса Корюківка – Мена охоплюватиме переважно малозаселені території на північному сході області, які характеризуються низьким економічним потенціалом. Недостатньо обґрунтованим видається віднесення Новгород-Сіверського до категорії регіональних полюсів зростання (Регіональний …, 2023). Місто має непересічне історичне минуле, однак сучасні умови та близькість до державного кордону з країною-агресором істотно обмежують його здатність виконувати функції регіонального полюса зростання.

Території відновлення – новий функціональний тип територій, запроваджений в оновленій редакції ДСРР-2027. Його виокремлення пов'язане з необхідністю визначення територій, що зазнали значних руйнувань унаслідок збройної агресії Росії. Усі територіальні громади Чернігівщини офіційно визнані такими, що перебували в тимчасовій окупації або на їхній території велися бойові дії (Про затвердження …, 2025). Чотири громади – Новгород-Сіверська, Семенівська, Корюківська та Сновська – належать до територій, де ймовірні бойові дії можливі на цей момент. У Семенівській громаді спостерігається також різке зниження рівня соціально-економічного розвитку та значний міграційний відтік населення. Отже, критеріям ідентифікації територій відновлення в Чернігівській області відповідають чотири зазначені громади, які займають майже 18 % площі регіону.

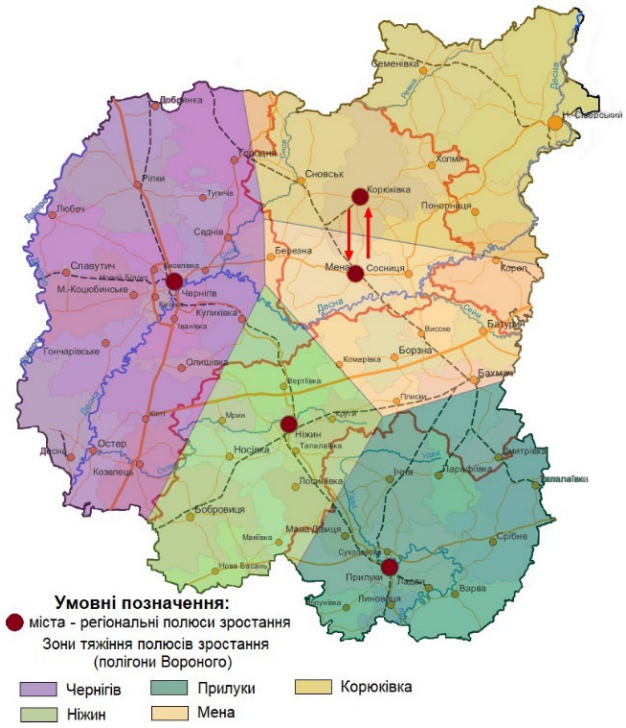


Рис. 1. Регіональні полюси зростання Чернігівської області та зони їхнього ймовірного впливу

Джерело: побудовано автором на основі первинних даних



Рис. 2. Функціональні типи територій Чернігівської області

Джерело: побудовано автором за первинними даними та критеріями (Про визначення переліку…, 2025)

До територій техногенних катастроф увійшли громади, на території яких є населені пункти, що належать до зони радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС. Загалом з урахуванням сучасного адміністративно-територіального устрою цю групу сформували десять територіальних громад північної та західної частин Чернігівської області (рис. 2). Вони займають майже третину області й характеризуються найнижчою щільністю населення.

Територій із низьким рівнем соціально-економічного розвитку в області небагато – лише вісім громад. Це сільські територіальні громади, що розміщуються як поряд із регіональними полюсами зростання (Чернігів, Ніжин), так і в периферійній, північно-східній частині області. Загалом у них проживає лише 5 % населення області (табл. 1).

Найчисельнішою групою у складі територій з особливими умовами для розвитку є сільські території. Це цілком закономірно, зважаючи на особливості перебігу демографічних процесів у Чернігівській області впродовж останніх десятиліть і низьку заселеність регіону. Ця група охоплює 42 територіальні громади (майже 74 %) і займає 76 % площі області. У сільських територіях проживає 42 % населення регіону. Варто зазначити, що до цієї групи належать не лише суто сільські громади (38 %), а й ті з них, адміністративними центрами яких є міста (22 %) та селища (40 %). Основним осередком концентрації сільських територій є поліська частина Чернігівської області.

Території сталого розвитку – найпроблемніший для ідентифікації функціональний тип територій. Деякі експерти пропонували взагалі відмовитися від виділення цієї категорії територій, оскільки йдеться про самодостатні громади з відносно збалансованими демографічними, економічними та соціальними характеристиками, для яких немає потреби в запровадженні спеціальних інструментів регіональної політики (Ткачук, 2024). У чинному переліку (Про затвердження…, 2025) кількість показників для їхньої делімітації є надто великою, а вимога відповідності цих показників усім умовам одночасно – надмірно забюрократизованою. У цьому дослідженні до групи

Таблиця 1

Основні параметри функціональних типів територій Чернігівської області

Функціональні типи територій	**Територіальні громади**		**Площа**		**Населення**	
	од.	**%**	**км²**	**%**	**осіб**	**%**
Території відновлення	4	7,0	5658,2	17,8	81 720	8,6
Регіональні полюси зростання	5	8,8	287	0,9	424 157	44,5
Території з особливими умовами для розвитку, зокрема:						
техногенних катастроф	10	17,5	9368,7	29,4	127 660	13,4
з низьким рівнем соціально-економічного розвитку	8	14,0	2847,7	8,9	49 350	5,2
сільські території	42	73,7	24 229,9	76,0	401 060	42,1
Території сталого розвитку	8	14,0	4758,4	14,9	116 100	12,2
Усього	57	100,0	31 865	100	952 370	100,0

Джерело: складено автором за первинними даними.

таких територій були включені громади, які не потрапили до кожної із попередніх груп. Загалом виявилося лише вісім таких громад, які охоплюють 14,9 % території області.

Попри те що ідентифікація функціональних типів територій у Чернігівській області здійснювалася на основі різних критеріїв, низка територіальних громад була віднесена одночасно до кількох категорій. Зокрема, Семенівська громада відповідає критеріям трьох функціональних типів – територій відновлення, техногенних катастроф і сільських територій. Ціла низка громад належить до групи сільських територій, що одночасно мають низький рівень соціально-економічного розвитку. «Перекривання» груп свідчить про комплексний характер викликів, з якими стикаються ці території, а також про доцільність інтегрованого підходу до формування інструментів регіональної політики.

Обговорення

Офіційно затверджені підходи до ідентифікації функціональних типів територій мають свої переваги, проблемні аспекти та дискусійні питання. Щодо позитивних моментів, то важливо відзначити запровадження варіативності використання показників, на чому неодноразово наголошували науковці й експерти. Так, до територій відновлення належать громади, які відповідають не менше ніж двом критеріям із чотирьох. Це спрощує процедуру визначення окремих типів територій, робить її більш прозорою та результативною. Позитивною рисою є також використання невеликої кількості показників і чітко визначені джерела інформації, на основі яких визначатиметься належність громад до відповідних категорій. До того ж перевагою цього підходу порівняно з нормативними документами попередніх років є запровадження чітких кількісних критеріїв для окремих показників.

Водночас затверджені в постанові КМ України підходи та критерії визначення функціональних типів територій мають низку недоліків, які вдалося виявити під час їх апробації в Чернігівській області. Попри те що в цьому документі уточнено перелік показників і критеріїв ідентифікації територій відновлення, деякі з них є надто загальними, що не дає змоги провести належну диференціацію громад. До територій, де відбувалися бойові дії та/або були частково окуповані, належать всі 57 громад Чернігівської області. Однак є суттєва різниця між громадами, на території яких велися дуже активні бойові, і тими громадами, які не зазнали руйнувань і тимчасової окупації.

Деякі дискусійні питання виникли й щодо визначення регіональних полюсів зростання. У нормативних документах регіональними полюсами зростання вважаються територіальні громади, а не їхні центри. У малозаселених територіях із недостатньо сформованою мережею міст територіальні громади мають значні внутрішні диспропорції, де реальний вплив на розвиток сусідніх територій мають лише міста. Наприклад, Мена та Корюківка можуть претендувати на статус регіональних полюсів зростання, а от очолювані ними громади – радше ні. Інша ситуація із Черніговом, Ніжином і Прилуками, громади яких охоплюють лише ці міста і кілька сільських поселень (у випадку Ніжинської громади). Диференційованого підходу потребує

і критерій чисельності населення у громаді, яка є претендентом на статус регіонального полюса зростання. Мінімальний поріг, який становить 30 тис. осіб, є завищеним для територій із тривалою депопуляцією та низькою щільністю населення. У Чернігівській області цьому критерію відповідають лише чотири громади. Критерій «вигідне географічне положення», який оцінюється за наявністю в центрі громади автомобільної дороги державного значення, також є суперечливим. Приклад Чернігівської області демонструє, що ідентифікація регіональних полюсів зростання може бути проблемою для багатьох регіонів України. Практика «призначення» окремих міст на цю роль без належного фінансування й заходів із посилення їхньої спроможності не забезпечить очікуваного позитивного впливу на розвиток регіонів.

Найбільше нарікань мають підходи та критерії ідентифікації територій сталого розвитку. Сутність проблеми – вимога, що громада може вважатися територією сталого розвитку лише за умови, що вона відповідає усім п'яти критеріям одночасно. Зважаючи на специфічність показників у межах України, буде важко ідентифікувати території сталого розвитку, що й підтвердив приклад Чернігівської області.

Не знайшли належної підтримки на рівні КМ України пропозиції експертного середовища щодо виділення територій, які мають безпекові обмеження, зокрема спільний кордон із країною-агресором, розміщуються максимально близько до кордону чи до зони бойових дій (прикордонні території в несприятливих умовах). Розробники «Програми комплексного відновлення Чернігівської області» (Програма..., 2025, с. 90–91) пропонували виділити в регіоні території стабілізації (до 20 км від кордону), відносно безпечні (до 40 км) та умовно безпечні (понад 40 км) території. У кожній із цих зон мали б реалізуватися відповідні заходи регіональної політики. Такий функціональний тип територій був би цілком доречним для прикордонних регіонів. Його можна було б запровадити замість територій, які постраждали від аварії на ЧАЕС.

Висновки

Запровадження в Україні системи функціональних типів територій стало наслідком імплементації в національну модель регіональної політики кращих європейських практик та уніфікованих підходів до ідентифікації територій, які потребують першочергової підтримки. Через різні причини лише наприкінці 2025 року КМ України затвердив розширений перелік функціональних типів територій, однак спеціальна комісія ще не провела роботу з їх ідентифікації. Тестування офіційних підходів до визначення функціональних типів територій на емпіричних матеріалах Чернігівської області показало наявність як позитивних моментів, так і дискусійних питань. Запровадження варіативності (або/або) використання показників і критеріїв, відносно невелика кількість показників, за якими ідентифікують функціональні типи територій, є головними позитивними рисами офіційної методики. Водночас не вдалося уникнути традиційних помилок, зокрема щодо обов'язкової умови відповідності територіальних громад багатьом критеріям ідентифікації одночасно. Зважаючи на значний період часу після аварії на ЧАЕС, дискусійним видається виділення функціонального типу територій, пов'язаних із цією подією. Натомість украй актуальним, зокрема для прикордонних і прифронтових регіонів, є виділення територіальних громад із безпековими обмеженнями. Цим типом територій потрібно доповнити перелік територій з особливими умовами для розвитку, що особливо важливо в контексті ймовірної трансформації їхнього економічного ландшафту, систем розселення та логістики.

Аналіз показав, що реальні полюси зростання можуть формуватися лише навколо середніх і великих міст, насамперед обласних центрів. Типові центри громад, навіть колишні районні міста, не мають належного економічного й демографічного потенціалу, щоб позитивно впливати на розвиток сусідній територій. «Перекриття» громад, коли ті самі території належать відразу до кількох функціональних типів, також потребує пошуку пріоритетності механізмів їхньої підтримки. Ця частина загальної проблеми потребує окремого наукового дослідження.

Подальше вдосконалення методики має охоплювати зміни як у переліку функціональних типів територій, так і в критеріях їхньої ідентифікації та узгоджуватися з кращими європейськими практиками в цій царині.

Список використаної літератури

Барановський М.О., Барановська О.В. Сільські території України в несприятливих умовах: підходи до делімітації, особливості розвитку. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Географічні науки.* 2021. Вип. 15. С. 9–16. https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2021-15-1.

Барановський М. Спроможність територіальних громад України: підходи до оцінки, регіональні відмінності, типізація. *Науковий вісник Чернівецького державного університету: Серія: Географія.* 2023. Вип. 845. С. 77–87. https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.77-87.

Запотоцький С.П., Телешман В.І. Фінансова спроможність територіальних громад Чернівецької області. *Економічна та соціальна географія.* 2022. Вип. 87. С. 4–25. https://doi.org/10.17721/2413-7154/2022.87.14-25.

Євченко В., Тереняк Л. Децентралізація як фактор розвитку територіальних громад в Україні: досвід країн ЄС. *Державне управління та регіональний розвиток.* 2024. Вип. 3. С. 52–71. https://doi.org/10.34132/pard2024.23.03.

Остапенко П. Критерії спроможності громади: досвід України. *Децентралізація.* [Електронний ресурс]. URL: https://decentralization.gov.ua/news/13922 (дата звернення: 04.11.2025).

Полюси зростання: шлях до економічного відновлення та євроінтеграції. Аналітичне дослідження. EASY Business, 2024. 200 с. [Електронний ресурс]. URL: https://umaef.org/wp-content/uploads/2024/12/polyusi-zrostannya-shlyah-do-ekonomichnogo-vidnovlennya-ta-%D1%94vrointegraczi%D1%97-ukra%D1%97ni.pdf (дата звернення: 18.10.2025).

Порядок визнання територій відновлення : постанова КМ України від 18 липня 2023 року № 731. [Електронний ресурс]. URL: https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-poriadkiv-z-pytan-vidnovlennia-ta-rozvytku-rehioniv-i-terytorialnykh-s731-180723 (дата звернення: 05.11.2025).

Про визначення переліку функціональних типів територій та вимог до показників для віднесення територій до різних функціональних типів : постанова КМ України від 19 листопада 2025 р. № 1493. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1493-2025-%D0%BF#Text (дата звернення: 21.11.2025).

Програма комплексного відновлення Чернігівської області. Чернігів, 2025. 177 с. [Електронний ресурс]. URL: https://chor.gov.ua/images/Razdely/Norm_docum/Rishennia/8_sklykannia/23/Dodatok_2.pdf (дата звернення: 02.11.2025).

Про затвердження Переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією : наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 28.02.2025 № 376. [Електронний ресурс]. URL: https://storage.kadroland.com/files/Document/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA376.pdf?_gl=1*1bxkm9n*_gcl_au*OTk1NDIyNTQ3LjE3NjQwODc1MzQ (дата звернення: 15.10.2025).

Регіональний розвиток: функціональні типи територій. Інтерактивний ГІС-довідник. 2023. [Електронний ресурс]. URL: https://region.development.tdukr.com/ (дата звернення: 18.10.2025).

Сиромолот Е. Особливості ідентифікації функціональних типів територій: український та європейський підходи. *Аспекти публічного управління.* 2025. Вип. 13 (1). С. 53–60. https://doi.org/10.15421/152506.

Сторонянська І.З., Залуцький І.Р., Патицька Х.О. Критерії виокремлення та інструменти розвитку проблемних сільських територій. *Регіональна економіка.* 2021. Вип. 101 (3). С. 73–90. https://doi.org/10.36818/1562-0905-2021-3-8.

Ткачук А.Ф. Функціональні типи територій: що це таке, для чого і як вони вплинуть на довоєнний розвиток? [Електронний ресурс]. URL: https://www.csi.org.ua/news/funkczionalni-typy-terytorij-shho-cze-take-dlya-chogo-i-yak-vony-vplynut-na-povoyennyj-rozvytok/ (дата звернення: 16.10.2025).

Функціональні типи територій як об'єкт державної регіональної політики: методологія ідентифікації та інструментарій стимулювання розвитку : монографія / за наук. ред. Сторонянської І.З. Львів : ІРД, 2022. 494 с.

Consolidated version of the treaty on the functioning of the European Union. *Official Journal of the European Union.* 2012. P. 47–390 (127). [Електронний ресурс]. URL: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:12012E/TXT:en:PDF (дата звернення 08.10.2025).

European Perspective on Specific Types of Territories. Geographic specificities and development potential in Europe. Applied research 2013/1/12. [Електронний ресурс]. URL: https://sspa-network.eu/wp-content/uploads/2018/02/2013-1-12_-_Inception_Report_xGEOSPECSx.pdf (дата звернення 17.10.2025).

Methodological manual on territorial typologies (2018, 2024). Eurostat. [Електронний ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/9507230/KS-GQ-18-008-EN-N.pdf/a275fd66-b56b-4ace-8666-f39754ede66b?t=1573550953000 (дата звернення 02.11.2025).

Metodological toolkit to improve governance, coordination, planning, and implementation processes across jurisdictional boundaries. Functional areas in the EU. 2024. [Електронний

ресурс]. URL: https://functionalareas.eu/wp-content/uploads/2024/07/FA-Toolkit_11.07.2024_pages.pdf (дата звернення 25.09.2025).

Territorial typologies manual – metropolitan regions. Eurostat, 2024. [Електронний ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Territorial_typologies_manual_-_metropolitan_regions&action=statexp-seat&lang=uk (дата звернення 18.10.2025).

Udovychenko V., Melnychuk A., Gnatiuk O., Ostapenko P. Decentralization reform in Ukraine: assessment of the chosen transformation model. *European Spatial Research and Policy*. 2017. Vol. 24 (1). P. 23–40. https://doi.org/10.1515/esrp-2017-0002.

Vlakh M., Vanda I., Kotyk L. On the problem of financial capacities of administrative districts of Lviv Oblast. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2023. Vol. 31 (4). P. 761–772.

Yan J., Feng P., Jia F., Su F., Wang J., Wang N. Identification of secondary functional areas and functional structure analysis based on multisource geographic data. *Geocarto International.* 2023. Vol. 38 (1). P. 1–18. https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2191995.

References

Baranovskyj, M.O., & Baranovsjka, O.V. (2021). Siljsjki terytoriji Ukrajiny v nespryjatlyvykh umovakh: pidkhody do delimitaciji, osoblyvosti rozvytku [Rural areas of ukraine in unfavourable conditions: approaches to delimitation, features of development]. *Naukovyj visnyk Khersonsjkogho derzhavnogho universytetu. Serija Gheoghrafichni nauky [Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Geographical Sciences"],* 15, 9–16. https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2021-15-1 [in Ukrainian].

Baranovskyj, M. (2023). Spromozhnistj terytorialjnykh ghromad Ukrajiny: pidkhody do ocinky, reghionaljni vidminnosti, typizacija [The capacity of territorial communities of Ukraine: approaches to assessment, regional differences, typification]. *Naukovyj visnyk Chernivecjkogho derzhavnogho universytetu: Gheoghrafija [Scientific Herald of Chernivtsi University: Geography],* 845, 77–87. https://doi.org/10.31861/geo.2023.845.77-87 [in Ukrainian].

Zapototskyi, S.P., & Teleshman, V.I. (2022). Finansova spromozhnist terytorialnykh hromad Chernivetskoi oblasti [Financial capacity of territorial communities in chernivtsi region]. *Ekonomichna ta sotsialna heohrafiia [Ekonomichna ta Sotsialna Geografiya]*, 87, 14–25. https://doi.org/10.17721/2413-7154/2022.87.14-25 [in Ukrainian].

Jevchenko, V., & Terenjak, L. (2024). Decentralizacija jak faktor rozvytku terytorialjnykh ghromad v Ukrajini: dosvid krajin JeS [Decentralization as a factor in the development of territorial communities in ukraine: experience of the eu countries]. *Derzhavne upravlinnja ta reghionaljnyj rozvytok [Public Administration and Regional Development],* 23, 52–71. https://doi.org/10.34132/pard2024.23.03 [in Ukrainian].

Ostapenko, P. (2020). Kryteriji spromozhnosti ghromady: dosvid Ukrajiny [Community capacity criteria: the experience of Ukraine]. [Electronic resource] URL: https://decentralization.gov.ua/news/13922 (access date 04.11.2025) [in Ukrainian].

Poljusy zrostannja: shljakh do ekonomichnogho vidnovlennja ta jevrointeghraciji. Analitychne doslidzhennja (2024). [Poles of growth: the path to economic recovery and European integration. Analytical study]. EASY Business, 200 p. [Electronic resource] URL: https://umaef.org/wp-content/uploads/2024/12/polyusi-zrostannya-shlyah-do-ekonomichnogo-vidnovlennya-ta-%D1%94vrointegraczi%D1%97-ukra%D1%97ni.pdf (access date 18.10.2025) [in Ukrainian].

Porjadok vyznannja terytorij vidnovlennja [Order of recognition of the territory of restoration. *Postanova KM Ukrajiny vid 18 lypnja 2023 roku № 731 [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine].* [Electronic resource] URL: https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-poriadkiv-z-pytan-vidnovlennia-ta-rozvytku-rehioniv-i-terytorialnykh-s731-180723 (access date 05.11.2025) [in Ukrainian].

Pro vyznachennja pereliku funkcionaljnykh typiv terytorij ta vymogh do pokaznykiv dlja vidnesennja terytorij do riznykh funkcionaljnykh typiv [For the designation of functional types of territories and requirements for indicators for classifying territories into different functional types]. *Postanova KM Ukrajiny vid 19 lystopada 2025 r. № 1493 [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine].* [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1493-2025-%D0%BF#Text (access date 21.11.2025) [in Ukrainian].

Proghrama kompleksnogho vidnovlennja Chernighivsjkoji oblasti [Comprehensive Recovery Programme for Chernihiv Region]. Chernighiv, 2025, 177 p. [Electronic resource] URL: https://chor.gov.ua/images/Razdely/Norm_docum/Rishennia/8_sklykannia/23/Dodatok_2.pdf (access date 02.11.2025) [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennja Pereliku terytorij, na jakykh vedutjsja (velysja) bojovi diji abo tymchasovo okupovanykh Rosijsjkoju Federacijeju [On approval of the List of territories where hostilities are (were) conducted or temporarily occupied by the Russian Federation Order of the Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine]. *Nakaz Ministerstva rozvytku ghromad ta*

*terytorij Ukrajiny vid 28.02.2025 № 376 [Order of the Ministry of Development of Communities and Territories of Ukrain*e]. [Electronic resource] URL: https://storage.kadroland.com/files/Document/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA376.pdf?_gl=1*1bxkm9n*_gcl_au*OTk1NDIyNTQ3LjE3NjQwODc1MzQ (access date 15.10.2025) [in Ukrainian].

Peghionaljnyj rozvytok: funkcionaljni typy terytorij. Interaktyvnyj GhIS-dovidnyk (2023). [Regional development: functional types of territories. Interactive GIS reference book]. [Electronic resource] URL: https://region.development.tdukr.com/ (access date 18.10.2025) [in Ukrainian].

Syromolo, E. (2025). Osoblyvosti identyfikaciji funkcionaljnykh typiv terytorij: ukrajinsjkyj ta jevropejsjkyj pidkhody [The peculiarities of identification of functional types of territories: Ukrainian and European approaches]. *Aspekty publichnogho upravlinnja [Public administration aspects],* 13 (1), 53–60. https://doi.org/10.15421/152506 [in Ukrainian].

Storonjansjka, I.Z., Zalucjkyj, I.R., & Patycjka, Kh.O. (2021). Kryteriji vyokremlennja ta instrumenty rozvytku problemnykh siljsjkykh terytorij [Criteria for isolation and tools for the development of problem rural territories]. *Reghionaljna ekonomika [Regional economy],* 101 (3), 73–90. https://doi.org/10.36818/1562-0905-2021-3-8 [in Ukrainian].

Tkachuk, A.F. (2024). Funkcionaljni typy terytorij: shho ce take, dlja chogho i jak vony vplynutj na dovojennyj rozvytok? [Functional types of territories: what are they, what are they for, and how will they affect pre-war development?]. [Electronic resource] URL: https://www.csi.org.ua/news/funkczionalni-typy-terytorij-shho-cze-take-dlya-chogo-i-yak-vony-vplynut-na-povoyennyj-rozvytok/ (access date 16.10.2025) [in Ukrainian].

Funkcionaljni typy terytorij jak objekt derzhavnoji reghionaljnoji polityky: metodologhija identyfikaciji ta instrumentarij stymuljuvannja rozvytku: monoghrafija / Za nauk. redak. Storonjansjkoji I.Z. [Functional types of territories as an object of state regional policy: methodology for identification and tools for stimulating development: monograph]. Lviv: IRD NASU, 494 p. [in Ukrainian].

Consolidated version of the treaty on the functioning of the European Union (2012). *Official Journal of the European Union*, 47–390. [Electronic resource] URL: https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:12012E/TXT:en:PDF (access date 08.10.2025) [in English].

European Perspective on Specific Types of Territories. Geographic specificities and development potential in Europe. *Applied research 2013/ 1/ 12.* [Electronic resource] URL: https://sspa-network.eu/wp-content/uploads/2018/02/2013-1-12_-_Inception_Report_xGEOSPECSx.pdf (access date 17.10.2025) [in English].

Methodological manual on territorial typologies (2018, 2024). Eurostat. [Electronic resource] URL: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/9507230/KS-GQ-18-008-EN-N.pdf/a275fd66-b56b-4ace-8666-f39754ede66b?t=1573550953000 (access date 02.11.2025) [in English].

Metodological toolkit to improve governance, coordination, planning, and implementation processes across jurisdictional boundaries. Functional areas in the EU (2024). [Electronic resource] URL: https://functionalareas.eu/wp-content/uploads/2024/07/FA-Toolkit_11.07.2024_pages.pdf (access date 25.09.2025).

Territorial typologies manual – metropolitan regions. Eurostat (2024). [Electronic resource] URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Territorial_typologies_manual_-_metropolitan_regions&action=statexp-seat&lang=uk (access date: 18.10.2025) [in English].

Udovychenko, V., Melnychuk, A., Gnatiuk, O., & Ostapenko, P. (2017). Decentralization reform in Ukraine: assessment of the chosen transformation model. *European Spatial Research and Policy*, 24 (1), 23–40. https://doi.org/10.1515/esrp-2017-0002 [in English].

Vlakh, M., Vanda, I., & Kotyk, L. (2023). On the problem of financial capacities of administrative districts of Lviv Oblast. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 31 (4), 761–772. https://doi.org/10.15421/112271 [in English].

Yan, J., Feng, P., Jia, F., Su, F., Wang, J., & Wang, N. (2023). Identification of secondary functional areas and functional structure analysis based on multisource geographic data. *Geocarto International,* 38 (1), 1–18. https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2191995 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 08.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 911.2:556.5+004.94
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.11

МІЖНАРОДНІ МЕТОДОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ РІЧКОВИХ МЕРЕЖ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД ТА АДАПТАЦІЯ ДЛЯ УКРАЇНИ

Д. І. Ігонькін[1], В. Ю. Ющенко[2]

У статті проаналізовано міжнародний досвід створення та підтримки картографічних і геоінформаційних даних річкових систем у провідних країнах і наднаціональних структурах, зокрема у Сполученому Королівстві, Сполучених Штатах Америки та Європейському Союзі. Розглянуто підходи, що застосовуються для просторової ідентифікації водотоків. Розглянуто набір даних та алгоритми, які використовуються в цих державах (на основі публічної інформацій). Показано особливості організації національних і пан'європейських гідрографічних баз даних, а також їхні методологічні та просторові обмеження.

Метою дослідження є розробка методики ідентифікації річок низьких порядків на основі аналізу наукового досвіду розвинутих країн і результатів власного моделювання річкової мережі. Цю методику доцільно використовувати в Україні в сучасних умовах.

У роботі запропоновано використовувати дані дистанційного зондування Землі ALOS PALSAR та формувати річкову мережу за допомогою інструментів Geomorphons, flow accumulation і black top-hat у геоінформаційній системі QGIS.

Запропонована методика розглядається як інструмент формування більш повної та обґрунтованої моделі річкової мережі, що створює передумови для визначення порядкової структури річкових систем і виділення річкових басейнових систем хоричного рівня. Отримані результати можуть бути використані в задачах інтегрованого управління річковими басейнами та ландшафтно-басейнового планування в Україні.

Ключові слова: *геоінформаційна система, гідрологічні дані, управління річковими басейнами, порядкова структура річкових систем, хоричний рівень, регіональний рівень, річкові ландшафти, закономірності взаємодії суспільства і природи.*

[1] аспірант кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: ihonkin.dmytro@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0009-6829-6091
[2] аспірант кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: yushchenko.vasyl@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0002-7533-0859

INTERNATIONAL METHODOLOGIES FOR RIVER NETWORK MODELING: A COMPARATIVE REVIEW AND ADAPTATION FOR UKRAINE

D. I. Igonkin, V. Yu. Yushchenko

The article analyzes international experience in the creation and maintenance river system maps in leading countries, including the United Kingdom, the United States, and the European Union. Approaches used for the spatial identification of watercourses are reviewed, along with the datasets and algorithms applied in these countries based on publicly available information. The study highlights the organizational features of national and pan-European hydrographic databases, as well as their limitations.
The aim of the article is to analyze international approaches to river network identification and, based on the synthesis of global experience and taking into account the current natural conditions of Ukraine, to develop a methodological approach for identifying rivers, including low-order streams.
The study proposes the use of ALOS PALSAR Earth observation data and the construction of river networks using Geomorphons, flow accumulation, and black top-hat tools within the QGIS geographic information system.
The proposed methodology is considered as a tool for constructing a more comprehensive and scientifically grounded model of the river network, creating a basis for determining the hierarchical structure of river systems and delineating river basin systems at the local level. The results can be applied to integrated river basin management and landscape–basin planning in Ukraine.

Key words: *Geographic information system (GIS), hydrological data, river basin management, hierarchical structure of river systems, local level, regional level, river landscapes, patterns of interaction between society and nature.*

Вступ

Знання порядкової структури річкових систем є важливими як з природничо-гідрологічного погляду, так і з сучасного прикладного, екологічного, геоекологічного (Forman, 1995; Ковальчук, 1997; Гродзинський, 2005; Пилипович, 2017; Ющенко та ін., 2017). Зокрема, це стосується питань планування управління річковими басейновими системами (РБС). Такі дослідження вже тривалий час виконуються в Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (Ющенко та ін., 2012; Ющенко та ін., 2017; Yushchenko et al., 2022; Заячук та ін., 2025; Pasichnyk et al., 2025). Важливою проблемою є інтеграція різних видів планування для оптимізації управління річками. Зокрема, це інтеграція ландшафтного та басейнового планування. Адже на основі русел і заплав річок сформовані та розвиваються особливі ландшафти як цілісні геосистеми. У цьому напрямі досліджень запропоновано концептуальну модель РБС «крона – стовбури» (Ющенко та ін., 2012; Ющенко та ін., 2017). До крони належать складові хоричного рівня, а до стовбурів – регіонального (Гродзинський, 2005). Орієнтовна межа хоричного рівня пов'язана системами 4-го або 5-го порядку, такими, що перебувають в однорідних геоморфологічних та фізико-географічних умовах і значною мірою підкоряються впливу цих умов. Для ідентифікації межі хоричного рівня потрібно мати об'єктивну інформацію про річки перших порядків. На цей час в Україні відсутня обґрунтована стандартна методика такої ідентифікації. Отже, відсутня і база даних. Тож об'єктивно існує актуальне задання формування методики ідентифікації річок перших порядків для вирішення питань управління річковими системами хоричного рівня.

Метою дослідження є розробка методики ідентифікації річок низьких порядків на основі аналізу наукового досвіду розвинутих країн і результатів власного моделювання річкової мережі. Цю методику доцільно використовувати в Україні в сучасних умовах.

У дослідженнях річкових систем в Україні зазвичай використовують мапи (Ковальчук, 1997) (переважно мапи генерального штабу 1980-х років) або дані дистанційного зондування Землі (Андрейчук, 2012). При цьому жодне із цих джерел є недостатньої точності для визначення річок нижчих порядків.

Для прикладу розглянемо витоки річки Стебник. На рис. 1 жовтими крапками зображено частину русла, визначену під час експедиційного дослідження за допомогою GPS-приймача з горизонтальною точністю до 5 метрів. Як бачимо, масштаб мап генерального штабу (Карта генштабу, 1977) не дає можливості аналізувати річки таких порядків, при цьому відкриті картографічні дані Google maps (Google maps,

2025) та Open Streat Maps (OpenStreetMap contributors, 2025) показують результати, які не збігаються з результатами комп'ютерного моделювання на основі даних ALOS PALSAR (ASF DAAC, 2014), виконаного за допомогою інструмента Flow Accumulation у геоінформаційні системі QGIS.

Матеріал і методи

У Сполученому Королівстві функціонують дві основні установи, що займаються геопросторовими дослідженнями річкових систем, – Центр екології та гідрології (Centre for Ecology & Hydrology, CEH) та Національне картографічне агентство (Ordnance Survey). Їхня діяльність забезпечує інтегроване картографування річкових мереж на основі поєднання гідрологічних, топографічних та дистанційних даних.

У 1994 році CEH здійснив перше комплексне документування річкової мережі Великої Британії (Moore et al., 1994), що стало основою для подальшого розвитку національної бази гідрографічних даних. Ці дані регулярно оновлюються та вдосконалюються з урахуванням нових спостережень. Центр підтримує мапу річкової системи у масштабі 1 : 50 000, створену на основі картографічних матеріалів Ordnance Survey. Дані містять такі компоненти: річки, меліоративні канали, лінії водопостачання та інші водойми (включно з естуаріями, центральними лініями озер та деякими підземними водоймами) (UKCEH digital river network of Great Britain (1:50,000), 2025). Важливо зазначити, що набір даних CEH є представленням річкової мережі Великої Британії у вигляді набору лінійних сегментів, а не геометричної мережі, це означає, що він не повинен використовуватися для моделювання, що потребує аналізу зв'язності водної мережі (Centre for Ecology & Hydrology, 2025).

Цифрова річкова мережа CEH зберігається та розповсюджується в різних ГІС-форматах, включно з ArcInfo interchange (E00), GML, MITAB, OGC KML та Shapefile. Дані зберігаються як файли і можуть бути отримані через прямі посилання для завантаження або через WMS-сервіси (WSKE Portal).

Іншою частиною інтелектуальної системи даних CEH є JASMINE, який є унікальним суперкомп'ютером для екологічних досліджень із можливістю швидкої обробки великих об'ємів даних. JASMINE задовольняє вимоги до аналізу даних і моделювання, які наразі висуваються європейською та британською екологічною спільнотою, складаючись із багатопетабайтного швидкісного сховища даних, розміщеного разом з надпотужними серверами для аналізу даних (Centre for Environmental Data Analysis). JASMIN надає науковим спільнотам Великої Британії та Європи, що займаються дослідженням клімату та земних систем, можливість доступу до дуже великих наборів екологічних даних, які зазвичай є занадто великими для завантаження на їхні власні комп'ютери, та швидкої обробки цих даних, скорочуючи час, необхідний для перевірки нових теорій та отримання результатів, з місяців або тижнів до днів або годин.

JASMIN є національною платформою Великої Британії для аналізу екологічних даних – гібридним суперкомп'ютером і центром обробки даних, спеціально розроблe-

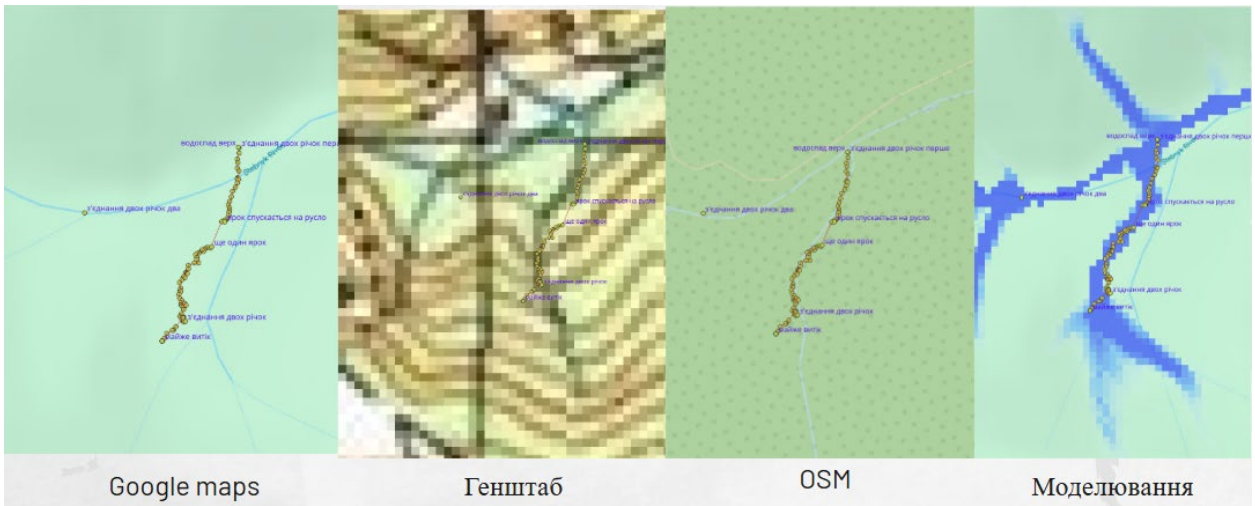


Рис. 1. Порівняння наявних даних

ним для роботи з максимально великими наборами екологічних даних.

Національне картографічне агентство забезпечує картографічну основу для гідрологічних моделей, підтримуючи цифрові карти водних ресурсів у масштабах від 1 : 1250 до 1 : 10 000. Важливу роль у деталізації річкових систем, особливо нижчих порядків, відіграє Національна LIDAR-програма, що охоплює близько 99 % території країни з роздільною здатністю від 1 м до 0,25 м на піксель.

На основі цих даних Агенція довкілля (Environment Agency) моделює потенційні потоки, вважаючи, що водотік формується з мінімального водозбору площею 1 га. Таке моделювання дає змогу визначати як постійні, так і сезонні водотоки, включно з тими, що протікають у природних або штучних руслах. Проте цей метод не гарантує стовідсоткової відповідності модельованих даних реальним даним.

Хоча точна методологія побудови цих моделей не є публічною, британський підхід базується на інтеграції високоточного рельєфного моделювання з картографічними та гідрологічними спостереженнями. Це створює ефективну систему для просторової ідентифікації річкових систем нижчих порядків та управління водними ресурсами.

Основним науковим органом, що займається збором, аналізом і поширенням інформації про водні ресурси в США, є Геологічна служба США (USGS). Її Програма тривимірної гідрографії (3D Hydrography Program, 3DHP), заснована на даних Національної програми тривимірної висоти (3DEP), забезпечує регулярне оновлення просторового відображення поверхневих вод країни.

Згідно зі специфікаціями Elevation-Derived Hydrography Data Acquisition Specifications 2024 rev. A2 (U.S. Geological Survey, 2024), річкова мережа формується на основі цифрової моделі рельєфу (DEM), отриманої з LiDAR або у складних умовах (наприклад, на Алясці) з інтерферометричної радарної зйомки IfSAR. Дані обробляються в єдиній координатній системі з роздільною здатністю 1 × 1 м, що дає можливість відображати потоки нижчих порядків.

Точки дискретного відбиття LiDAR, що зберігаються в хмарному сховищі, доступні у форматі LAZ, який є стисненою версією формату LAS Американського товариства фотограмметрії та дистанційного зондування (ASPRS). Мільйони точок зберігаються як тривимірні дані у вигляді серії координат x, y та z (висота) з географічною прив'язкою, а також із можливістю прив'язки інших атрибутів для кожної точки (Lidar Point Cloud, 2024).

У 2020 році цифрові моделі рельєфу (DEM), були перетворені у формат Cloud Optimized Geotiff (COG), що покращує час обробки та зберігання, а також підтримує нові сучасні можливості хмарної обробки даних. Базовий формат файлу залишається GeoTIFF, тому застаріле програмне забезпечення може читати його без модифікацій (USGS, 2025).

Дані 3DEP управляються через файлову систему з використанням хмарного об'єктного сховища (AWS S3), а не традиційного механізму просторової бази даних. Метадані організовані в геопакети, а фактичні дані про висоту залишаються у вигляді окремих файлів, до яких здійснюється доступ через вебсервіси, API та через безпосереднє завантаження файлів.

Для підтвердження правильності розташування річкових мереж застосовуються алгоритми на основі цифрової моделі рельєфу, об'єднані у Geomorphic Index (GMI) – інтегрований показник, який визначає ділянки ймовірного водостоку

До складу GMI входять чотири компоненти:

– Geomorphons – алгоритм на основі машинного навчання, який дає змогу класифікувати форми рельєфу (долини, хребти, схили). Він використовується для виявлення низин, де може проходити русло;

– BotHat (Black Top Hat transform) – класичний алгоритм, що здійснює операції з обробки цифрових зображень, дає змогу виявляти локальні западини;

– D-Infinity Flow Accumulation – алгоритм, який моделює потік води на основі цифрової моделі рельєфу;

– Multiscale Elevation Percentile (MEP) – алгоритм, що використовується для визначення западин у рельєфі.

Поєднання цих компонентів дає можливість створювати індексну карту ймовірних русел, де значення GMI = 4 вказує на найвищу ймовірність наявності водотоку. Результати GMI використовуються для валідації просторового положення річкових елементів, перевірки неперервності мережі та виявлення пропусків або помилок класифікації.

У Європейському Союзі не існує єдиного урядового картографічного агентства, однак створення та підтримка гідрогра-

фічних даних координуються через низку організацій, зокрема EuroGeographics, Європейське агентство з навколишнього середовища (EEA), мережу Eionet та програму Copernicus. Основним джерелом гідрографічних даних є продукт EU-Hydro, який є складовою Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) (Gallaun et al., 2020).

EU-Hydro – це пан'європейська векторна база річкових мереж і поверхневих вод, створена у 2009–2012 рр. та вдосконалена після 2015 року. Вона охоплює 39 країн ЄЕА і побудована на основі фотограмметричної інтерпретації знімків дуже високої роздільної здатності (2,5–10 м) у поєднанні з цифровою моделлю рельєфу EU-DEM (25 м). Річкові полігони формуються з мінімальною одиницею картографування 1 га у масштабі 1 : 50 000. До допоміжних джерел даних належать ECRINS, WFD, RPZ LU/LC, OSM, MARSgeoDB та GRAND (Gallaun et al., 2020).

Архівований набір даних бази даних річкової мережі EU-Hydro для кожного великого річкового басейну може бути завантажений у векторному форматі (база даних ESRI та SQLite) або у вигляді стисненого файлу, що містить дані з усіх річкових басейнів. Альтернативними способами отримання даних EU-Hydro є ESRI REST сервіси для інтеграції з ArcGIS, а також сервіси OGC WMS для різноманітних вебінтеграцій (European Environment Agency, 2020).

Методологія Copernicus не є повністю відкритою, однак відомо, що вона базується на комбінації:

– цифрового моделювання водозборів із EU-DEM;

– оптичних супутникових даних Sentinel і HR/VHR imagery (2006–2013 рр.);

– просторового узгодження з наявними картами річкових систем Європи (ECRINS, WFD).

Останні оновлення мережі виконано за допомогою оптичних даних надвисокої роздільної здатності (2–4 м) у межах програми Copernicus Land Monitoring Service. Точність розташування основних русел становить близько 25 м, а дрібних приток – до 1 га.

За результатами валідації Copernicus EU-Hydro забезпечує середню достовірність 92–95 % у межах класу постійних водотоків (European Environment Agency, 2019).

Водночас варто відзначити, що наявні картографічні набори даних, включно з EU-Hydro, мають значні просторово-топологічні обмеження, як-от недостатня роздільна здатність рельєфу, неточності у зв'язках мережі річок і не надто актуальні супутникові знімки. Із цієї причини в межах European Environment Agency (EEA) та Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) розпочато проєкт оновлення EU-Hydro (версія 2.0), який передбачає застосування сучасної цифрової моделі рельєфу (COP-DEM 10 м), створення растрових шарів Flow Direction та Flow Accumulation, а також інтеграцію даних про штучні гідротехнічні споруди та берегову лінію (Lehner, 2025).

Результати та їх обговорення

Міжнародний досвід моделювання річкових мереж засвідчує, що основою для створення точної моделі річкової системи є високоточні дані дистанційного зондування та поєднання декількох джерел таких даних і методів їх обробки. Причому навіть моделі, створені на основі високоточних даних, потребують постійних досліджень та уточнень, особливо в разі визначення потоків нижчих порядків. Застосуємо методологію, розглянуту вище, для побудови річкової мережі річки Стебник – притоки річки Сирет.

Оскільки наразі не існує доступних високоточних публічних знімків для території України (не в останню чергу через воєнний стан) ми використовуватимемо виключно мапу висот ALOS PALSAR (ASF DAAC, 2014). Для побудови моделі застосовуватимемо інструмент Flow Accumulation з алгоритмом Deterministic Infinity (Tarboton, 1997) у геоінформаційній системі QGIS. Алгоритм Deterministic Infinity – це метод для визначення напрямків стоку й обчислення площі водозбору на основі мапи висот. Він представляє напрямок потоку як кут найкрутішого спуску серед восьми трикутних граней, утворених навколо кожної комірки. Такий підхід забезпечує плавніше та реалістичніше моделювання стоку води, усуваючи проблеми замкнених петель і непослідовностей, що часто виникають у попередніх методах (наприклад, D8 чи DEMON). Результати показують, що Deterministic Infinity працює краще або на рівні з найточнішими існуючими алгоритмами, особливо за високої роздільної здатності DEM, і є ефективним, простим та надійним способом аналізу поверхневого стоку.

Для цього алгоритму вважатимемо площу басейну в 1,3 га як таку, що утворює потік. Ця площа є трохи більшою за 1 га, використану Агенцією довкілля для створення мапи водотоку в Сполученому Королівстві, що має надавати консервативний підхід до визначення потоків.

Наступним кроком для перевірки отриманого результату застосуємо інструмент SAGA GIS – Geomorphons. У Геологічній службі США використовують такі параметри: радіус 250, кут 0,5 для IfSAR та радіус 60, кут 1 для LIDAR (U.S. Geological Survey, 2024). Оскільки дані для України мають нижчу точність, використаємо радіус 500 метрів та кут 0,5. При цьому будемо враховувати результати 9 (долина) та 10 (западина).

Інструмент імплементує алгоритм Geomorphons, запропонований Jasiewicz і Stepinski (Jasiewicz & Stepinski, 2013), є методом автоматизованої класифікації форм рельєфу на основі цифрової моделі висот (DEM), що використовує підхід розпізнавання шаблонів замість традиційних методів диференціальної геометрії. Його суть полягає у визначенні так званих geomorphons – тернарних шаблонів локального оточення кожної точки рельєфу, які дають змогу класифікувати територію за морфологічними типами (рівнини, схили, долини, вершини тощо). Алгоритм самостійно адаптує масштаб аналізу до локальних умов, що забезпечує високу точність і ефективність обробки навіть для гігантських масивів даних, охоплюючи континентальні та глобальні масштаби. Результатом роботи методу є інтерпретована геоморфометрична карта, яка узагальнює форми рельєфу та надає просторову структуру ландшафту.

Ще одним показником можливого каналу є результат виконання операції Black Top-Hat, що є однією з класичних операцій математичної морфології, яка використовується для пошуку впадин, тобто ділянок, які нижчі за своє локальне оточення. Цей алгоритм, зокрема, застосовується для знаходження русел за цифровою моделлю рельєфу (Pingel, 2013; U.S. Geological Survey, 2024). Рекомендується використовувати імплементацію цього алгоритму з WhiteBox Tools, використовуючи радіус 10.

Отже, ми маємо моделювання потоків на основі інструмента Flow Accumulation та розпізнавання рельєфу на основі Geomorphons та Black Top-Hat. Тож можемо вважати, що маємо русло, наповнене водою (хоча б тимчасово) у певній точці, якщо ми маємо змодельований потік та низину, тобто сформоване русло, знайдене за одним із двох алгоритмів.

Оскільки цифрова модель рельєфу не є ідеальною, то алгоритми виявлення низин не дадуть неперервного русла. Але для побудови порядкової структури потрібно саме неперервне русло. Щоб відновити русло, можемо скористатися потоком, отриманим за допомогою Flow Accumulation (який є неперервним).

Загалом алгоритм повністю можна реалізувати таким чином за допомогою QGIS:

1. Використовуючи растровий калькулятор, можемо створити новий рівень, який враховуватиме змодельований потік із коефіцієнтом 2, та два методи розпізнавання рельєфу з коефіцієнтом 1.

2. На другому кроці потрібно усунути розриви між фрагментами руслової мережі. У вихідних даних річки часто представлені окремими нероз'єднаними шматками, тому виникає потреба автоматично «дотягнути» їх одне до одного. Для цього використовується поєднання двох підходів:

a) пошук зв'язаних компонент, який дає змогу визначити всі окремі фрагменти річок;

b) обхід у ширину (BFS) уздовж матриці акумуляції стоку, що знаходить найкоротші можливі шляхи між цими фрагментами.

Результат алгоритму можемо бачити на рис. 2. Синім кольором позначена результуюча мережа, а білим – мережа, отримана акумуляцією потоку. Як бачимо, що результуюча мережа є дещо меншою за мережу, отриману за допомогою акумуляції, це пояснюється використанням додаткових чинників (Geomorphons, black top-hat).

Також із результатів видно, що отримана змодельована мережа дещо відрізняється від мережі на базовій мапі (OpenStreetMap contributors, 2025), що вказує на подальшу потребу в уточненні картографічних даних.

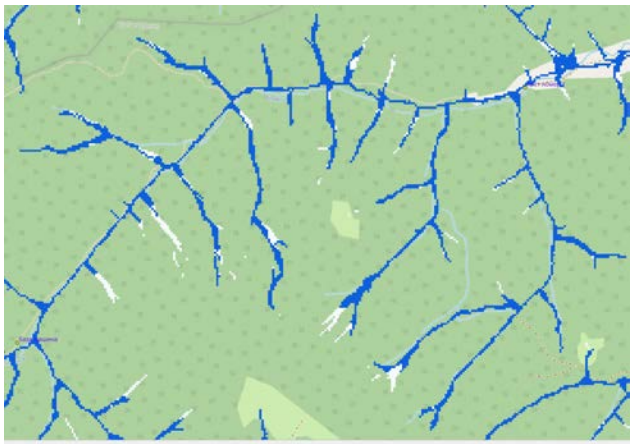


Рис. 2. Результуюча мережа, накладена на базову мапу OSM

Висновки

Запропонований метод має такі переваги:

1. Може бути адаптований до даних вищої точності, зокрема LiDAR, шляхом незначної корекції параметрів.

2. У разі отримання високоякісних оптичних знімків до моделі можна додати додатковий індикатор для підвищення точності.

3. Метод поєднує морфологічну та гідрологічну інформацію, що забезпечує більш комплексне відтворення руслової мережі.

Водночас через те, що доступні дані дистанційного зондування мають обмежену точність, можливі певні похибки у виявленні дрібних приток: в одних випадках модель може пропустити окрему гілку, а в інших – додати зайву. Тому точність визначення порядкової структури річкової мережі оцінюється як ±1.

Як бачимо, міжнародні методології моделювання використовують цифрові моделі рельєфу, що отримані з високоточних знімків або за допомогою LiDAR зондування. В українських реаліях другий варіант є малодоступним і дорогим, тому варто починати створення моделі рельєфу саме з даних ДЗЗ. Після закінчення війни та відновлення дозволу на польоти цивільних безпілотників можливий гібридний варіант, за якого більша частина DEM створюється за допомогою високоточних знімків, а LiDAR застосовується у важкодоступній місцевості. Також варто наголосити на необхідності верифікації даних на місцевості, тому проведення експедиційних досліджень все ще є актуальним.

Міжнародний досвід засвідчує важливість зберігання та доступності картографічних і гідрологічних даних. Більшість баз даних побудовані у вигляді файлового сховища, що містить файли різних популярних гідрологічних форматів, які є доступними через вебсервіси або через програмний інтерфейс (API). На нашу думку, для України найбільш прийнятним є рішення на основі хмарного сховища (Azure, AWS, GCP), яке підтримуватиме базовий набір функцій, як-от аутентифікація користувачів, можливість завантаження нових даних через вебінтерфейс, а також підтримка API для отримання доступу до даних і подальшого їх використання. Це є важливим для усунення варіацій у даних, які є базою для гідрологічних досліджень.

Список використаної літератури

Андрейчук Ю.М. Геоінформаційне моделювання стану басейнових систем (на прикладі притоки Дністра річки Коропець) : автореф. дис. … канд. геогр. Наук : 11.00.11. Львів, 2012. 20 с.

Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : монографія: у 2 т. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. 504 с.

Заячук М.Д., Ющенко Ю.С., Пасічник М.Д., Паланичко О.В., Настюк М.Г. Методичні підходи оцінювання стану й управління молодими річковими ландшафтами в умовах антропогенного врізання річок (на прикладі Гірського краю Українських Карпат). *Український географічний журнал.* 2025. № 1 (129). С. 18–29. https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.027.

Карта Генштабу. Квадрат М-35-135, 1977 р. [Електронний ресурс]. URL: https://freemap.com.ua/karty-ukrainy/karty-genshtaba/karta-genshtaba-kvadrat-m-35-135/ (дата звернення: 13.11.2025).

Ковальчук І.П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. Львів : Інститут українознавства, 1997. 440 с.

Пилипович О.В. Геоекологія річково-басейнової системи верхнього Дністра : монографія / за ред. проф. І.П. Ковальчука. Львів – Київ : ЛНУ ім. Івана Франка, 2017. 284 с.

Ющенко Ю.С., Гончар О.М., Григорійчук В.В. та ін. Гідроекологічне обґрунтування безпечного та збалансованого розвитку річкових природно-антропогенних систем Передкарпаття : монографія / за ред. Ю. С. Ющенка. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2017. 472 с.

Ющенко Ю.С., Кирилюк А.О., Костенюк Л.В., Опеченик В.М., Паланичко О.В., Пасічник М.Д. Територіальна структура умов та проявів руслоформування річок. *Фізична географія та геоморфологія.* 2012. № 2 (66). С. 72–79.

ASF DAAC. ALOS PALSAR High Resolution Radiometric Terrain Corrected Product : dataset. NASA Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center, 2014. https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA.

Centre for Environmental Data Analysis. JASMINE. [Електронний ресурс]. URL: https://www.ceda.ac.uk/services/jasmin/ (дата звернення 13.11.2025).

European Environment Agency. Validation Report – Water and Wetness 2015 and 2018, EU-Hydro and Water Bodies. Version 1.4. Copernicus Land Monitoring Service, 2019. [Електронний ресурс].

URL: https://land.copernicus.eu/en/technical-library/comparative-validation-of-surface-water-products (дата звернення 13.11.2025).

European Environment Agency. EU-Hydro – River Network Database 2006–2012 (vector), Europe, Version 1.3. Copernicus Land Monitoring Service, 2020. https://doi.org/10.2909/393359a7-7ebd-4a52-80ac-1a18d5f3db9c.

Forman R.T.T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge : Cambridge University Press, 1995. 632 p.

Gallaun H., Dohr K., Puhm M., Stumpf A., Hugé J. EU-Hydro – River Net User Guide (Version 1.3). Copernicus Land Monitoring Service, European Environment Agency, 2020. [Електронний ресурс]. URL: https://land.copernicus.eu/en/technical-library/eu-hydro_user_guide/%40%40download/file (дата звернення 13.11.2025).

Google Maps. Stebnyk river : map. [Електронний ресурс]. URL: https://www.google.com/maps (дата звернення 13.11.2025).

Jasiewicz J., Stepinski T.F. Geomorphons – a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology.* 2013. Vol. 182. P. 147–156. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005.

Lehner B. et al. Introducing EU-Hydro 2.0: A Copernicus high-resolution hydrographic product across Europe based on latest generation elevation and ancillary data. EGU General Assembly 2025 : Conference abstract. 2025. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-21410.

Lidar Point Cloud – USGS National Map 3DEP Downloadable Data Collection, 2024. [Електронний ресурс]. URL: https://data.usgs.gov/datacatalog/data/USGS:b7e353d2-325f-4fc6-8d95-01254705638a (дата звернення 13.11.2025).

Moore R.V., Morris D.G., Flavin R.W. Sub-set of UK digital 1:50,000 scale river centreline network. Wallingford : NERC, Institute of Hydrology, 1994.

NERC Data Catalogue Service. UKCEH digital river network of Great Britain. [Електронний ресурс]. URL: https://data-search.nerc.ac.uk/geonetwork/srv/api/records/7d5e42b6-7729-46c8-99e9-f9e4efddde1d (дата звернення 13.11.2025).

OpenStreetMap contributors**.** Stebnyk river map. [Електронний ресурс]. URL: https://www.openstreetmap.org (дата звернення 13.11.2025).

Pasichnyk M., Yushchenko Y., Palanychko O., Melnyk A., Darchuk K. Remote Sensing and GIS in the Research of Young River Landscape. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2025. Vol. 8. № 1. P. 163–189. https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080106.

Pingel T.A. Progressive Black Top Hat Transformation Algorithm for Estimating Valley Volumes from DEM Data. *Computers & Geosciences*. 2015. Vol. 75. P. 17–23. https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2014.11.003.

Tarboton D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research.* 1997. Vol. 33. No. 2. P. 309–319.

U.S. Geological Survey. Elevation-Derived Hydrography Data Acquisition Specifications 2024 Revision A2. Reston, VA : U.S. Department of the Interior, 2024. 166 p. [Електронний ресурс]. URL: https://www.usgs.gov/media/files/elevation-derived-hydrography-data-acquisition-specifications-2024-rev-a2 (дата звернення 13.11.2025).

UKCEH digital river network of Great Britain (1:50,000). [Електронний ресурс]. URL: https://www.data.gov.uk/dataset/5ecb0e8c-a4b9-4afb-bb4b-ebc34474f9df/ukceh-digital-river-network-of-great-britain-1-50000 (дата звернення 13.11.2025).

USGS FAQ: Types of elevation datasets. [Електронний ресурс]. URL: https://www.usgs.gov/faqs/what-types-elevation-datasets-are-available-what-formats-do-they-come-and-where-can-i-download (дата звернення 13.11.2025).

WSKE Portal. Watercourse Network (CEH). [Електронний ресурс]. URL: https://www.wskep.net/waterdata/surface-water/watercourse-network (дата звернення 13.11.2025).

Yushchenko Yu.S., Pasichnyk M.D., Darchuk K.V. Kostashchuk I.I., Zakrevskyi O.V. Contemporary Geoinformation Technologies in Postmodern Education of Geographers, Hydrometeorologists, Land Surveyors. *Postmodern Openings*. 2022. Vol. 13. No 2. P. 409–429. https://doi.org/10.18662/po/13.2/462.

References

Andreichuk, Y.M. (2012). Heoinformatsiine modeliuvannia stanu baseinovykh system (na prykladi prytoky Dnistra richky Koropets) [Geoinformation modeling of basin system status (case

study: tributary of the Dnister river, Koropets river)]. *Abstract of the PhD dissertation Ivan Franko National University* [in Ukrainian].

Grodzynski, M.D. (2005). Piznannia landshaftu: mistse i prostir [Landscape cognition: place and space]. Kyiv University Press [in Ukrainian].

Zayachuk, M.D., Yushchenko, Y.S., Pasichnyk, M.D., Palanychko, O.V., & Nastyuk, M.H. (2025). Metodychni pidkhody otsiniuvannia stanu y upravlinnia molodymy richkovymy landshaftamy v umovakh antropohennoho vrizannia richok (na prykladi Hirskoho kraiu Ukrainskykh Karpat) [Methodical approaches to assessing the status and management of young river landscapes in the context of anthropogenic river encroachment (case study: mountain region of the Ukrainian Carpathians)]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal],* 129 (1), 18–29. https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.027 [in Ukrainian].

General Staff of the USSR (1977). Topographic map of Ukraine: Sheet M-35-135 [Map]. Scale 1:50,000. [Electronic resource] URL: https://freemap.com.ua/karty-ukrainy/karty-genshtaba/karta-genshtaba-kvadrat-m-35-135/ (access date 13.11.2025) [in Ukrainian].

Kovalchuk, I.P. (1997). Rehionalnyi ekoloho-heomorfolohichnyi analiz [Regional ecological-geomorphological analysis]. Lviv [in Ukrainian].

Pylypovych, O.V. (2017). Heoekolohiia richkovo-baseinovoi systemy verkhnoho Dnistra [Geoecology of the upper Dniester river basin system]. Lviv [in Ukrainian].

Yushchenko, Y.S., Honchar, O.M., Hryhoriychuk, V.V., Palanychko, O.V., & Pasichnyk, M.D., et al. (2017). Hidroekolohichne obgruntuvannia bezpechnoho ta zbalansovanoho rozvytku richkovykh pryrodno-antropohennykh system Peredkarpattia [Hydroecological justification for the safe and balanced development of river natural–anthropogenic systems in the Precarpathian region]. Chernivtsi [in Ukrainian].

Yushchenko, Y.S., Kyryliuk, A.O., Kostenyuk, L.V., Opechenik, V.M., Palanychko, O.V., & Pasichnyk, M.D. (2012). Terytorialna struktura umov ta proiaviv rusloformuvannia richok [Territorial structure of conditions and manifestations of river channel formation]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia [Physical Geography and Geomorphology],* 66 (2), 72–79 [in Ukrainian].

ASF DAAC (2014). ALOS PALSAR high-resolution radiometric terrain corrected product [Dataset]. NASA Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA.

Centre for Environmental Data Analysis (2025). JASMIN. [Electronic resource] URL: https://www.ceda.ac.uk/services/jasmin/ (access date 13.11.2025).

European Environment Agency (2019). Validation report: Water and wetness 2015 and 2018, EU-Hydro and water bodies (Version 1.4). Copernicus Land Monitoring Service. [Electronic resource] URL: https://land.copernicus.eu/en/technical-library/comparative-validation-of-surface-water-products (access date 13.11.2025).

European Environment Agency (2020). EU-Hydro – River network database 2006–2012 (vector), Europe (Version 1.3) [Dataset]. Copernicus Land Monitoring Service. https://doi.org/10.2909/393359a7-7ebd-4a52-80ac-1a18d5f3db9c.

Forman, R.T.T. (1995). Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press.

Gallaun, H., Dohr, K., Puhm, M., Stumpf, A., & Hugé, J. (2020). EU-Hydro – River net user guide (Version 1.3). European Environment Agency, Copernicus Land Monitoring Service. [Electronic resource] URL: https://land.copernicus.eu/en/technical-library/eu-hydro_user_guide/@@download/file (access date 13.11.2025).

Google Maps. Stebnyk river: map. [Electronic resource] URL: https://www.google.com/maps (access date 13.11.2025).

Jasiewicz, J., & Stepinski, T.F. (2013). Geomorphons – A pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, 182, 147–156. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005.

Lehner, B., Moser, L., Roth, A., Mortel, G.M., Lindmayer, A., Warmedinger, L., Grill, G., Wegscheider, S., Keller, C., Ram, S., Wetzel, A., Kampouraki, M., Huber, M., Rubio Iglesias, J.M., & Przystawaska, J. (2025). Introducing EU-Hydro 2.0: A Copernicus high-resolution hydrographic product across Europe based on latest generation elevation and ancillary data (EGU25-21410). *EGU General Assembly 2025.* https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-21410.

U.S. Geological Survey (2024). Lidar point cloud: USGS National Map 3DEP downloadable data collection [Dataset]. [Electronic resource] URL: https://data.usgs.gov/datacatalog/data/USGS:b7e353d2-325f-4fc6-8d95-01254705638a (access date 13.11.2025).

Moore, R.V., Morris, D.G., & Flavin, R.W. (1994). Subset of UK digital 1:50,000 scale river centreline network [Dataset]. NERC Institute of Hydrology.

UK Centre for Ecology & Hydrology (2025). UKCEH digital river network of Great Britain [Dataset]. [Electronic resource] URL: https://data-search.nerc.ac.uk/geonetwork/srv/api/records/7d5e42b6-7729-46c8-99e9-f9e4efddde1d (access date 13.11.2025).

OpenStreetMap contributors**.** Stebnyk river map. [Electronic resource] URL: https://www.openstreetmap.org (access date 13.11.2025).

Pasichnyk, M., Yushchenko, Y.S., Palanychko, O., Melnyk, A., & Darchuk, K. (2025). Remote sensing and GIS in the research of young river landscape. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 8 (1), 163–189. https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080106.

Pingel, T. (2013). A Progressive Black Top Hat Transformation Algorithm for Estimating Valley Volumes from DEM Data. *AGU Fall Meeting Abstracts*. https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2014.11.003.

Tarboton, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33 (2), 309–319.

U.S. Geological Survey (2024). Elevation-derived hydrography data acquisition specifications (Revision A2). U.S. Department of the Interior. [Electronic resource] URL: https://www.usgs.gov/media/files/elevation-derived-hydrography-data-acquisition-specifications-2024-rev-a2 (access date 13.11.2025).

UKCEH digital river network of Great Britain (1:50,000). [Electronic resource] URL: https://www.data.gov.uk/dataset/5ecb0e8c-a4b9-4afb-bb4b-ebc34474f9df/ukceh-digital-river-network-of-great-britain-1-50000 (access date 13.11.2025).

USGS FAQ: Types of elevation datasets. [Electronic resource] URL: https://www.usgs.gov/faqs/what-types-elevation-datasets-are-available-what-formats-do-they-come-and-where-can-i-download (access date 13.11.2025).

WSKE Portal. Watercourse Network (CEH). [Electronic resource] URL: https://www.wskep.net/waterdata/surface-water/watercourse-network (access date 13.11.2025).

Yushchenko, Y.S., Pasichnyk, M.D., Darchuk, K.V., Kostashchuk, I.I., & & Zakrevskyi, O.V. (2022). Contemporary geoinformation technologies in postmodern education of geographers, hydrometeorologists, and land surveyors. *Postmodern Openings*, 13 (2), 409–429. https://doi.org/10.18662/po/13.2/462.

Дата першого надходження статті до видання: 16.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 556.524(477.82):556.013
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.12

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ТА ГЕОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПРУДНИК

В. О. Фесюк[1], І. А. Мороз[2]

Актуальність дослідження гідроекологічного стану басейну річки Прудник зумовлена посиленням антропогенного навантаження на малі річки Волинського Полісся. Причиною погіршення гідроекологічного стану є поєднання осушувальної меліорації, трансформації землекористування та локальних джерел забруднення. Басейн річки Прудник є показовим прикладом такої взаємодії природних і техногенних чинників, а тому потребує комплексної кількісної оцінки.
Метою роботи є визначення гідроекологічного стану басейну р. Прудник і моделювання просторових патернів антропогенного впливу й екзогенних процесів із використанням сучасних методів географічного аналізу.
Методологія передбачала ГІС-моделювання, статистичну обробку даних, індексну оцінку стану водотоку й аналіз структури землекористування.
Результати дослідження виявили, що сільськогосподарські землі становлять 41,4 %, ліси – 43 % площі басейну. Ґрунти понад 1/3 площі басейну зазнають ерозії. Ідентифіковано більш ніж 20 точкових джерел забруднення. Серед них найбільший вплив мають промислові, житлово-комунальні й аграрні підприємства. Це спричиняє забруднення річки, перевищення вмісту БСК, амонію та нітритів у річковій воді. Просторовий аналіз засвідчив активне замулення русла, розвиток ерозії, карсту й підтоплення. Меліоративні зміни зумовили погіршення водності та гідроморфологічної стабільності водотоку.
Наукова новизна полягає в інтеграції ГІС-моделювання, гідрохімічного аналізу й оцінки екзогенних процесів у єдину модель гідроекологічного стану басейну. Практична значущість передбачає можливість використання отриманих результатів для оптимізації природоохоронних заходів, розробки паспортів малих річок, управління водними ресурсами територіальних громад.

Ключові слова: *басейн річки Прудник, гідроекологічний стан, антропогенний вплив, меліорація, екзогенні процеси, моделювання, кількісна оцінка, якість води.*

[1] доктор географічних наук, професор,
професор кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: fesyuk@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3954-9917
[2] кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій та хімії
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)
e-mail: i.moroz@lntu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9167-4876

QUANTITATIVE ASSESSMENT AND GEOGRAPHICAL MODELLING OF THE HYDROECOLOGICAL STATE OF THE PRUDNYK RIVER BASIN

V. O. Fesyuk, I. A. Moroz

The relevance of studying the hydroecological state of the Prudnyk River basin is determined by the increasing anthropogenic pressure on small rivers of the Volyn Polissya region. The deterioration of the hydroecological state results from the combined impact of drainage reclamation, land-use transformation, and numerous local pollution sources. The Prudnyk River basin represents a typical example of such interactions between natural and technogenic factors and therefore requires a comprehensive quantitative assessment.

The aim of the study is to determine the hydroecological state of the Prudnyk River basin and to model spatial patterns of anthropogenic impact and exogenous processes using modern methods of geographical analysis. The methodological framework included GIS modelling, statistical data processing, index-based assessment of the river's ecological state, and analysis of land-use structure. The results show that agricultural lands account for 41.4% of the basin area, while forests cover 43%. More than one-third of the basin's soils are affected by erosion. Over 20 point sources of pollution were identified, with industrial, utilities and agricultural facilities exerting the strongest impact. This leads to the contamination of the river and exceeding concentrations of BOD, ammonium, and nitrites in river water. Spatial analysis revealed active siltation of the riverbed, development of erosion, karst, and waterlogging. Drainage reclamation has resulted in reduced water availability and decreased hydromorphological stability of the watercourse.

The scientific novelty lies in the integration of GIS modelling, hydrochemical analysis, and the assessment of exogenous processes into a unified model of the hydroecological state of the basin. The practical significance implies the possibility of using the results obtained to optimize environmental protection measures, develop passports for small rivers, and manage the water resources of local communities.

Key words: *Prudnyk River basin, hydroecological state, anthropogenic impact, drainage reclamation, exogenous processes, modeling, quantitative assessment, water quality.*

Вступ

Малі водотоки відіграють ключову роль у підтримці стійкості природних ландшафтів Полісся, забезпечують водний баланс території, збереження біорізноманіття та виконують важливі екосистемні функції (Водний…). Однією із характерних особливостей сучасного стану малих річок є поєднання гідроморфологічних трансформацій із зростанням впливу та кількості локальних джерел забруднення (Statnyk et al., 2023; Wang et al., 2024). Басейн річки Прудник, розташований у межах Волинського Полісся, є типовим прикладом гідроекосистеми, що зазнала значних меліоративних перетворень і комплексного антропогенного впливу (Паспорт …, 1994; Джам та ін., 2020). Прудник є правою притокою р. Стир, притоки р. Прип'ять. Багато наукових робіт присвячені оцінці гідроекологічного стану р. Прип'ять та її приток (Khilchevskyi et al., 2022; Malovanyy et al., 2022; Фесюк та ін, 2023; Боярин, 2024; Клименко та ін., 2024; Malovanyy et al., 2025). Розглядається проблема зміни гідроекологічного стану і в працях закордонних науковців (Wang et al., 2024; Katip & Anwar, 2025).

Аналіз попередніх досліджень свідчить про недостатній рівень системності під час оцінювання стану водних екосистем, оскільки більшість робіт фокусуються на гідрохімічних, гідробіологічних чи водогосподарських аспектах окремо. Водночас застосування географічного моделювання та кількісних методів дає змогу інтегрувати дані різної природи. Невирішеною залишається проблема комплексної кількісної оцінки стану басейну р. Прудник із використанням ГІС-технологій та оцінки просторового впливу різних форм природокористування. Тож метою роботи є кількісна оцінка гідроекологічного стану басейну р. Прудник і географічне моделювання чинників його зміни.

Матеріал і методи

Під час роботи над статтею використано матеріали Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області, Управління екології та природних ресурсів Волинської обласної державної адміністрації, статті у фахових наукових виданнях, картографічні онлайн-сервіси (GoogleMap, OpenStreetMap), супутникові знімки (Sentinel-2), матеріали власних польових досліджень. Застосовано комплекс методів збору й опрацювання польових, фондових та архівних матеріалів. Польові дані були отримані експедиційним методом. Обробка зібраної інфор-

мації здійснювалася з використанням геоекологічного, картографічного, статистичного методів та методу географічного моделювання. Аналіз даних картографічних сервісів і супутникових знімків виконано методами дистанційного зондування Землі із застосуванням загальнодоступного програмного забезпечення (ArcGIS Online, QGIS). Для формування заходів поліпшення геоекологічного стану басейну використано методи кейс-аналізу, сценарного моделювання й експертних оцінок.

Результати

Річка Прудник є правою притокою р. Стир, належить до басейну верхньої Прип'яті. Її довжина – 23 км. Висота витоку становить 193 м, гирла – 172,2 м, падіння русла – 20,8 м. Середньозважений нахил – 0,83 , що характерно для рівнинних водотоків Полісся з помірною енергією течії. Площа водозбору становить 120 км². Середня висота басейну – 182 м, середній нахил водозбірної поверхні – 1,4 , що свідчить про слабку розчленованість території та переважно рівнинний рельєф. Лісистість басейну – 43 %, заболоченість – 18,3 %, що є типовим для природних ландшафтів Волинського Полісся (Паспорт …, 1994).

Розораність басейну становить 41,4 %, при цьому 2,6 % земель зазнають ерозійних процесів. Урбанізовані та селитебні території охоплюють 13,5 % площі водозбору, що відповідає помірному рівню антропогенної освоєності. В окремих місцях басейну не дотримано режиму прибережних захисних смуг (Водний …, 2025). У структурі меліоративних систем відсутні зрошувані землі з постійною водорозподільчою мережею, але є 1,73 тис. га осушених територій із функціонуючою дренажною інфраструктурою.

Гідрографічна мережа річки представлена десятьма притоками довжиною до 10 км. Загальна їх довжина 37 км. Коефіцієнт густоти річкової мережі – 0,19 % для водотоків довжиною понад 10 км та 0,5 для мережі з урахуванням малих водотоків. Це середні показники густоти річкової мережі для Полісся, що відповідають середній забезпеченості території водотоками. Звивистість р. Прудник становить 1,1, що вказує на спрямленість русла.

Власний стік річки зарегульований слабо. За гідрологічним режимом річка належить до східно-європейського типу, живлення переважає снігове та дощове. У гідрологічному контексті річка вивчена недостатньо. Пункти спостережень за рівневим режимом і витратами води відсутні. Стік 50 % забезпеченості становить 11,34 млн м³ на рік (рис. 1), стік забезпеченості 75 % – 7,61 млн м³, 95 % – 4,48 млн м³. Норма річного стоку – 0,36 м³/с. Повенева витрата 1 % забезпеченості стоку зростає до 15,5 м³/с, а паводкова – 53,9 м³/с. У внутрішньорічному розподілі стоку найбільша частка припадає на березень – 33,1 %, упродовж лютого – квітня проходить 58 % річного стоку. Водний баланс басейну позитивний. Річний стік 50 % забезпеченості – 3,5 млн м³, 95 % забезпеченості – 1,49 млн м³. Мінімальний стік характерний для літньо-осінньої межені. У рік 50 % забезпеченості він становить 0,72 млн м³, 95 % забезпеченості – 0,42 млн м³ (Паспорт …, 1994)

Мутність річкової води невисока – 50 мг/м³. Витрата завислих наносів становить 0,015 кг/с, річний твердий стік – 0,47 тис. м³.

Господарське освоєння басейну річки відносно невисоке. У межах водозбору роз-

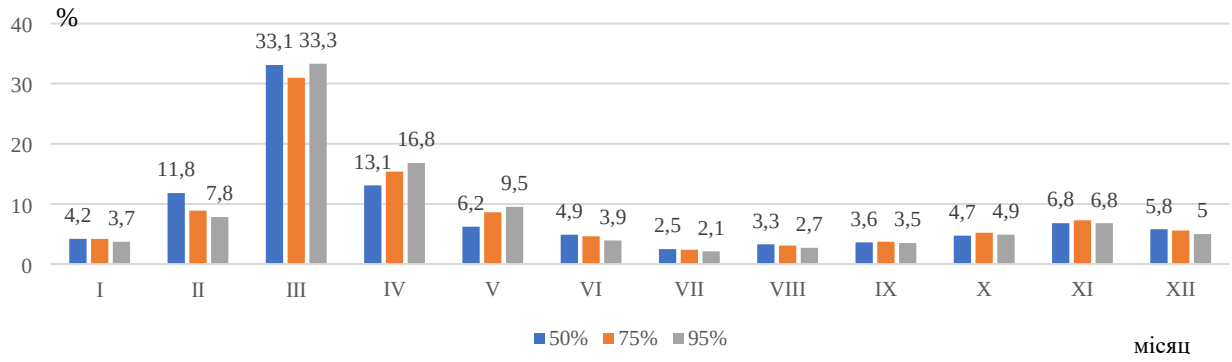


Рис. 1. Внутрішньорічний розподіл стоку р. Прудник (%) в роки з 50, 75, 95 % забезпеченості стоку (Паспорт …, 1994)

ташовано 4 села, сел. Дубище та м. Ківерці. Загальна чисельність населення території становить близько 22,6 тис. осіб. Розвиваються переважно лісовий та аграрний сектори. Останній орієнтований на вирощування зернових і технічних культур, молочно-м'ясне тваринництво. Промислове виробництво зосереджене в сел. Дубище та м. Ківерці, розвивається машинобудування для потреб сільського та лісового господарства, деревообробна, лісова та харчова промисловість.

Рівень сільськогосподарського освоєння басейну теж відносно невисокий – 41,4 %, що на 24,6 % менше за середній показник по країні. Аналіз територіального розподілу типів земельного покриву (land cover) та землекористування (land use) показує дещо інші дані – частка с/г земель є вищою – 43 %, 16 % припадає на території населених пунктів, промислових об'єктів, транспортної інфраструктури, зв'язку й інші види використання. У структурі с/г угідь домінує рілля, частка якої становить 71 %; пасовища займають 23 %, сінокоси – 5 %, багаторічні насадження – 1 %. На осушених землях Прудниківської меліоративної системи рілля займає 64 %, пасовища – 22 %, сінокоси – 14 %.

Найбільшими споживачами води в басейні є залізнична станція Ківерці, Ківерцівське ВУЖКГ. Забір з підземних вод становить 2858 тис. м^3/рік, безповоротне водоспоживання – 1864 тис. м^3/рік. Аналіз джерел скиду забруднених стічних вод у межах басейну показує, що найбільші з них – промислові та комунальні підприємства, тваринницькі ферми (табл. 1). За складом забруднювальних речовин найпоширенішими є БСК, завислі речовини, солі амонію, сульфати, що скидаються практично всіма підприємствами. Комунальні підприємства є джерелом скиду фосфатів, тваринницькі ферми – сірководню, транспортні організації – нафтопродуктів.

У межах басейну фіксуються прояви небезпечних екзогенних процесів (рис. 2). У заплаві проявляється заболочування й підтоплення, спричинені близьким заляганням ґрунтових вод. Ступінь прояву загалом по басейну низький, у північно-західній частині, а також на захід від м. Ківерці – високий. Карст спостерігається у межах всього басейну, але для його південної частини характерна висока інтенсивність такого прояву, спричинена поширенням розчинних порід (крейди). Карст сприяє розвитку процесів заболочування (Паспорт ..., 1994).

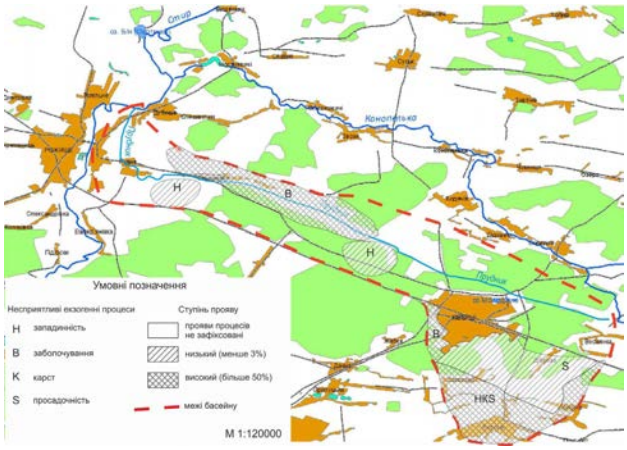


Рис. 2. Територіальна локалізація небезпечних екзогенних процесів у басейні річки

Моніторингові спостереження у басейні р. Прудник не проводяться, тому оцінка якості води ґрунтується на періодичних вимірюваннях та узагальнених літературних даних. Ґрунтовна оцінка якості води р. Прудник проведена в роботі (Джам та ін., 2020). За їх матеріалами, протягом 2014–2019 рр. зафіксовано перевищення ГДК для низки ключових показників, що відображають органічне та біогенне забруднення. Найбільш критичними є перевищення

Таблиця 1

Основні джерела забруднення в басейні р. Прудник (Екологічний ..., 2019; Екологічний ..., 2018)

Тип джерела	**Підприємства**	**Забруднювальні речовини**	**Скид, м³/добу**
Промислові	«Електро», консервний завод, «Спецлісмаш»	$БСК_5$, завислі речовини, NH_4^+, SO_4^{2-}	97–260
Комунальні	ВУЖКГ, сміттєзвалище, очисні споруди	$БСК_5$, завислі речовини, фосфати	100–200
Транспортні	АТП, АЗС, склади ПММ	Нафтопродукти, завислі речовини	19–27
Аграрні	тваринницькі ферми	$БСК_5$, H_2S, NH_4^+, PO_4^{3-}	орієнтовно 1435

щення $БСК_5$ і ХСК, що в окремі роки перевищували нормативи в 4,5 раза, а також перевищення ГДК за вмістом сполук азоту (амоній сольовий, азот амонійний і нітрити), в окремі роки – у 5 разів. Вміст фосфатів у 2016–2017 рр. перевищував ГДК у 2–5 разів. Це прискорює евтрофікацію водотоку.

Водночас вміст нітратів, хлоридів, сульфатів і завислих речовин залишався в межах допустимих значень, що свідчить про відсутність значного мінерального забруднення. Постійне перевищення ГДК за вмістом загального заліза спостерігалося в обох створах (верхній та нижній течії річки), однак ці перевищення мають природний характер і пов'язані із заболоченістю території.

Порівняння вмісту забруднювальних речовин у створах вище та нижче скиду стічних вод м. Ківерці демонструє лише помірне збільшення концентрацій окремих речовин у нижньому створі. Якість води річки у верхньому створі за інтегральним екологічним індексом (I_E) в окремі роки змінювалась у межах 0,5–1,5, тобто відповідала 1-й і 2-й категоріям I–II класів, стан річки – від «відмінного» до «дуже доброго», ступінь чистоти – від «дуже чистої» до «чистої». У створі нижче місця – 0,6–1,7, що відповідало 1-й і 3-й категорії I–II класів. Стан – від «відмінного» до «доброго», ступінь чистоти – від «дуже чистої» до «досить чистої» (Джам та ін., 2020).

Меліоративні системи займають в басейні річки понад 6500 га, у т. ч. 1398 га осушено гончарним дренажем. У межах осушувальної системи відбувається низка небезпечних екзогенних процесів, пов'язаних із впливом меліорації на стан ландшафтів, застарілістю та незадовільним технічним станом гідротехнічних споруд і дренажних каналів (Екологічний …, 2018; Екологічний …, 2019):

– дефляційні процеси (вітрова ерозія ґрунтів);

– підтоплення й заболочення ґрунтів унаслідок замулення гончарного дренажу, заростання та замулення меліоративних каналів;

– заростання осушених ділянок чагарниками, окремими деревами ті їх групами.

Згадані процеси негативно впливають на довкілля басейну, оскільки:

– відбувається деградація ґрунтів, зниження їх родючості та виведення із сільськогосподарського обробітку;

– активізуються інші небезпечні екзогенні процеси (просідання, карст);

– знижується рівень ґрунтових вод і підземних вод;

– зменшується стік річки, особливо мінімальний, зростає загроза пересихання;

– знижується біорізноманіття, зникають види флори та фауни, що відіграють значну роль в екосистемах;

– зростає загроза природних стихійних явищ: катастрофічних паводків, повеней, посух тощо.

Обговорення

Аналіз стану ключових компонентів гідроекосистеми (рис. 3) демонструє значну просторову та функціональну варіабельність їх характеристик. Найбільш контрастна оцінка ґрунтів, де частка незадовільних показників досягає 35,8 %, що свідчить про суттєві порушення фізико-хімічних властивостей, а 61,6 % оцінено як добрі. Заплава характеризується переважанням добрих умов (52,3 %), але 21,2 % її станів залишаються незадовільними, що є ознакою локальних порушень і чутливості до антропогенних впливів. Для русла найвищою є частка задовільних показників (44 %), частка добрих становить 40 %, що загалом свідчить про відносно стабільний, хоча й не оптимальний гідроморфологічний стан. Якість води, оцінена за гідрохімічними параметрами, демонструє переважання задовільного рівня (68 %), добрий рівень становить лише 12 %, що свідчить про наявність окремих негативних змін хімічного складу води.

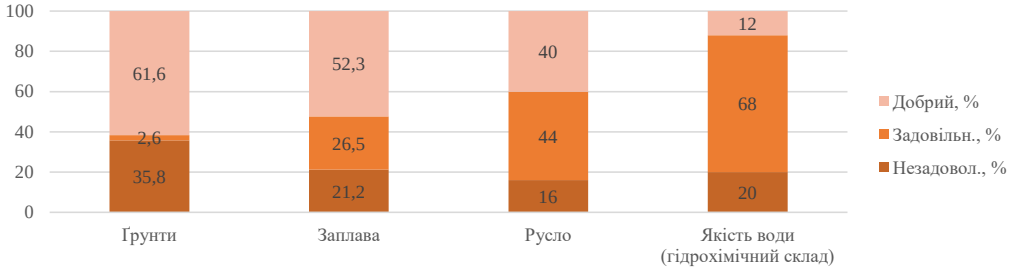


Рис. 3. Структура стану ключових компонентів гідроекосистеми р. Прудник (Паспорт …, 1994)

Висновки

Результати кількісної оцінки свідчать, що поєднання меліоративної трансформації ландшафту басейну та впливу локальних джерел забруднення має кумулятивний ефект. Гідроекосистемі річки властивий відносно високий рівень самоочищення, але перевищення $БСК_5$, вмісту нітритів та амонію вказує на органічне забруднення комунально-побутового й аграрного походження. Небезпечні екзогенні процеси посилюють замулення, зменшують пропускну здатність русла та підвищують ризики деградації гідроекосистем. Модель геоекологічного стану басейну демонструє, що просторові осередки екологічної напруги приурочені до зони впливу м. Ківерці, ділянок меліоративної системи, ерозійно небезпечних схилів. Тому можна зробити такі висновки:

1. Басейну р. Прудник властивий високий рівень антропогенної трансформації, який проявляється у зміні структури землекористування, значній кількості джерел забруднення й активізації екзогенних процесів.

2. Найбільший вплив чинять промислові, аграрні та комунальні підприємства м. Ківерці, сумарний скид стічних вод по місту перевищує 500 м³/добу.

3. Вода річки має стабільні перевищення ГДК за вмістом органічних речовин та амонійного азоту.

4. Осушувальна меліорація зумовила зміни гідроморфологічних характеристик річки та підвищення ризику деградації природних ландшафтів.

5. Наявність просторово виражених осередків екологічного навантаження є підставою для розробки природоохоронних заходів. Одним із найважливіших серед них має бути організація гідроекологічного моніторингу згідно з (Про затвердження …, 2018).

Список використаної літератури

Боярин М. Екологічна оцінка якості масивів поверхневих вод басейну верхів'я річки Прип'ять. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2024. № 2. С. 19–23. https://doi.org/10.32782/2786-5681-2024-2.03.

Водний кодекс України [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text (дата звернення 28.11.2025).

Джам О., Караїм О., Юхимнюк Н. Екологічна оцінка якості поверхневих вод р. Пруднік. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки*. 2020. № 2 (390). С. 3137. https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-390-2-31-37.

Екологічний паспорт Ківерцівського району. 2019. [Електронний ресурс]. URL: https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-kivercivskogo-rayonu1/ (дата звернення 28.11.2025).

Екологічний паспорт Рожищенського району. 2018. [Електронний ресурс]. URL: https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-rozhischenskogo-rayonu/ (дата звернення 28.11.2025).

Клименко М., Мошинський В., Бєдункова О., Статник І. Вибір індикаторів моніторингу якості поверхневих вод річки Прип'ять. Bulletin National University of Water and Environmental Engineering. 2024. № 1. С. 61–73. https://doi.org/10.31713/vs120226.

Паспорт р. Прудник. Луцьк : АТ Волиньводпроект, 1994. 105 с.

Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод : постанова КМУ від 19.09.2018 № 758. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-п#Text (дата звернення 28.11.2025).

Фесюк В., Бєдункова О., Нетробчук І., Боярин М. Сучасний стан водокористування у басейні Прип'яті Волинської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 1. С. 47–55. https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-1-6/.

Katip A., Anwar A. Modelling the Influence of Climate Change on the Water Quality of Doğancı Dam in Bursa, Turkey, *Using Artificial Neural Networks, Water*. 2025. Vol. 17 (5). P. 728. https://doi.org/10.3390/w17050728/.

Khilchevskyi V.K., Netrobchuk I.M., Sherstyuk N.P., Zabokrytska M.R. Environmental assessment of the quality of surface waters in the upper reaches of the Prypiat basin in Ukraine using different methods. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. Vol. 31 (1). P. 71–80. https://doi.org/10.15421/112207.

Malovanyy M., Boiaryn M., Biedunkova O., Voloshyn V., Netrobchuk, I. The impact of the ecological sustainability of landscapes on the formation of the hydro-ecological state in the upper part of the Prypiat River basin. *Ecological Questions*. Online. 2025. Vol. 36 (2). P. 1–21. https://doi.org/10.12775/EQ.2025.018.

Malovanyy M.S., Boiaryn M., Muzychenko O., Tsos O. Assessment of the environmental state of surface waters of right-bank tributaries of the upper reaches of the Pripet River by macrophyte index MIR. *Journal of water and land development.* 2022. Vol. 55. P. 97–103. https://doi.org/10.24425/jwld.2022.142310.

Statnyk I.I., Biedunkova O.O., Korbutiak V.M. The management of transformed small river basins of Volyn Polissia – Buniv River case study. IOP *Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2023. Vol. 1254 (1). P. 112–118. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012118.

Wang H., Ye H., Yuan W., Cheng S., Bai X., Lan J., Ma Y., Wang G., Guo W. Quantitative evaluation of the evolution of the ecohydrological regime and its drivers in the Han River Basin. Journal of Water and Climate Change. 2024. Vol. 15 (9). P. 4613–4630. https://doi.org/10.2166/wcc.2024.234.

References

Boiaryn, M. (2024). Ekolohichna otsinka yakosti masyviv poverkhnevykh vod baseinu verkhivia richky Prypiat [Ecological assessment of the quality of surface water bodies in the upper Pripyat River basin]. *Naukovyi visnyk Vinnytskoi akademii bezperervnoi osvity. Seriia "Ekolohiia. Publichne upravlinnia ta administruvannia" [Scientific Bulletin of the Vinnytsia Academy of Continuing Education. Series: Ecology. Public Management and Administration],* 2, 19–23. https://doi.org/10.32782/2786-5681-2024-2.03 [in Ukrainian].

Vodnyi kodeks Ukrainy [Water Code of Ukraine] [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-vr#Text (access date 28.11.2025) [in Ukrainian].

Dzham, O., Karaim, O., & Yukhymniuk, N. (2020). Ekolohichna otsinka yakosti poverkhnevykh vod r. Prudnyk [Ecological assessment of surface water quality of the Prudnyk River]. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Seriia: Biolohichni nauky [Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Eastern European National University. Series: Biological Sciences],* 2 (390), 31–37. https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-390-2-31-37 [in Ukrainian].

Ekolohichnyi pasport Kivertsivskoho raionu [Ecological passport of Kivertsi District] (2019). [Electronic resource] URL: https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-kivercivskogo-rayonu1/ (access date 28.11.2025) [in Ukrainian].

Ekolohichnyi pasport Rozhyshchenskoho raionu [Ecological passport of Rozhyshche District] (2018). [Electronic resource] URL: https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-rozhischenskogo-rayonu/ (access date 28.11.2025) [in Ukrainian].

Klymenko, M., Moshynskyi, V., Biedunkova, O., & Statnyk, I. (2024). Vybir indykatoriv monitorynhu yakosti poverkhnevykh vod richky Prypiat [Selection of indicators for monitoring surface water quality of the Pripyat River]. *Biuleten Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia [*Bulletin National University of Water and Environmental Engineering], 1, 61–73. https://doi.org/10.31713/vs120226 [in Ukrainian].

Paspport r. Prudnyk [Passport of the Prudnyk River]. (1994). Lutsk: AT Volynvodproekt [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennia Poriadku zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu vod: Postanova KMU № 758 [On approval of the Procedure for state water monitoring. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 758]. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-p#Text (access date 28.11.2025) [in Ukrainian].

Fesyuk, V., Biedunkova, O., Netrobchuk, I., & Boiaryn, M. (2023). Suchasnyi stan vodokorystuvannia u baseini Prypiati Volynskoi oblasti [Current state of water use in the Pripyat basin of the Volyn region]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku [Issues in chemistry and sustainable development],* 1, 47–55. https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-1-6 [in Ukrainian].

Katip, A., & Anwar, A. (2025). Modelling the Influence of Climate Change on the Water Quality of Doğancı Dam in Bursa, Turkey, Using Artificial Neural Networks. *Water,* 17, 5. https://doi.org/10.3390/w17050728 [in English].

Khilchevskyi, V.K., Netrobchuk, I.M., Sherstyuk, N.P., & Zabokrytska, M.R. (2022). Environmental assessment of the quality of surface waters in the upper reaches of the Prypiat basin in Ukraine using different methods, *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 31 (1), 71–80. https://doi.org/10.15421/112207 [in English].

Malovanyy, M.S., Boiaryn, M.W., Biedunkova, O.O, Voloshyn, V.U. & Netrobchuk, I.M. (2025). The impact of the ecological sustainability of landscapes on the formation of the hydro-ecological

state in the upper part of the Prypiat River basin. *Ecological Questions*, 36 (2), 1–21. https://doi.org/10.12775/EQ.2025.018 [in English].

Malovanyy, M.S., Boiaryn, M.W., Muzychenko, O.S. & Tsos, O.O. (2022). Assessment of the environmental state of surface waters of right-bank tributaries of the upper reaches of the Pripet River by macrophyte index MIR. *Journal of water and land development,* 55. https://doi.org/10.24425/jwld.2022.142310 [in English].

Statnyk, I.I., Biedunkova, O O., Korbutiak, V.M., et. al. (2023). The management of transformed small river basins of Volyn Polissia – Buniv River case study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012118 [in English].

Wang, H., Ye, H., Yuan, W., Cheng, S., Bai, X., Lan, J., Ma, Y., Wang, G., & Guo, W. (2024). Quantitative evaluation of the evolution of the ecohydrological regime and its drivers in the Han River Basin. Journal of Water and Climate Change, 15 (9), 4613–4630. https://doi.org/10.2166/wcc.2024.234 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 05.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ХІМІЯ

УДК 544.6:544.3:628.4
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.13

ТЕРМОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕТВОРЕННЯ СИРОВИНИ ЯК ДЖЕРЕЛА УТВОРЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

В. С. Волошин[1], О. В. Кленін[2]

У роботі розглянуті питання специфіки походження промислових відходів в електрохімічних та споріднених із ними технологічних процесах, які дещо відрізняються від аналогічних механізмів, притаманних іншим технологіям. Показано, що відходи електрохімічних технологій зазвичай мають властивості не первинної сировини, а принципово інших речовин, які створені завдяки діям електрохімічних сил атомарного рівня, що мають місце в таких реакціях, і пов'язані з уніфікованим принципом термодинамічної двоєдиності, що передбачає подільність системи щодо термодинамічної нерівноважності сировинних складових. Зокрема, у таких процесах поряд із хімічними явищами мають місце тепло- і масообмін на мікроскопічному рівні, дифузійні та інші явища, які впливають на процеси відходоутворення. Метою досліджень є виявлення механізмів і створення умов для мінімізації відходів в електрохімічних технологічних процесах. Як основу таких досліджень запропоновано використання методів термодинамічного аналізу складних систем, що базується на принципах термодинамічної двоєдиності як механізмі відтворення та мінімізації відходів у межах самого технологічного процесу. Це потребує комплексного підходу до питань утворення відходів, які в цьому випадку є як продуктами хімічних реакцій, так і результатом термодинамічних процесів, не рахуючи допоміжних процесів, орієнтованих на перетворення побічних продуктів електрохімічних реакцій. Показано, що в таких технологіях існує кілька причин виникнення відходів, кожна з них вимагає свого механізму. Запропоновано розділяти промислові відходи на ті, що виходять унаслідок основних електрохімічних перетворень, і на ті, що стосуються забезпечення промислової технології. Термодинамічні умови через уведення додаткової енергії іншої якості (або зміну якості базової електричної енергії шляхом її модифікації), яка спроможна змінити стан відходоутворювальної частини сировини, можуть стати основою для мінімізації електрохімічних відходів. При цьому виконуються умови співвідношення між додатковою та базовою енергіями в пропорції $E_w^0 \le 0{,}62 \cdot E^0$, *що становить наукову та прикладну частини роботи.*

Ключові слова: *електрохімічні технології, відходи, принцип термодинамічної двоєдиності, ентропія, термодинамічна нерівноважність.*

[1] доктор технічних наук, професор,
професор кафедри промислової теплоенергетики
(Приазовський державний технічний університет, м. Дніпро)
e-mail: vsvlshn@gmsil.com
ORCID: 0009-0005-6809-6779
[2] доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економічної інженерії
(Приазовський державний технічний університет, м. Дніпро)
e-mail: vipsenat@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3146-4847

THERMODYNAMIC FEATURES OF ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGIES FOR THE TRANSFORMATION OF RAW MATERIALS AS A SOURCE OF INDUSTRIAL WASTE GENERATION

V. S. Voloshyn, O. V. Klenin

The paper considers the issues of the specifics of the origin of industrial waste in electrochemical and related technological processes, which are somewhat different from similar mechanisms inherent in other technologies. It is shown that electrochemical waste, as a rule, has the properties not of primary raw materials, but fundamentally other substances that are created due to the action of electrochemical forces of the atomic level, which have a city in such reactions, and associated with the unified principle of thermodynamic duality, which includes the divisibility of the system in relation to its thermodynamic disequilibrium of raw material components. In particular, in such processes, along with chemical phenomena, there is heat and mass transfer at the microscopic level, diffusion, etc. phenomena. The purpose of the research is to identify mechanisms and create conditions for minimizing waste in electrochemical technological processes. As a basis for such research, the use of methods of thermodynamic analysis of complex systems, based on the principles of thermodynamic duality, as a mechanism for reproduction and minimization of waste within the technological process itself, is proposed. This requires an integrated approach to the issues of waste generation, which in this case are both products of chemical reactions and the result of thermodynamic processes, not counting auxiliary processes focused on the transformation of by-products of electrochemical reactions. It is shown that in such technologies there are several causes of waste, and each of them requires its own mechanism of waste generation. It is proposed to divide industrial waste into those resulting from the main electrochemical transformations and those related to the provision of industrial technology. Thermodynamic conditions, due to the introduction of additional energy of a different quality (or changing the quality of basic electrical energy by modifying it), which is able to change the state of the waste-generating part of raw materials, can become the basis for minimizing electrochemical waste. At the same time, the conditions of the ratio between additional and basic energies are met in the proportion $E_w^0 \le 0{,}62 \cdot E^0$ that makes up the scientific and applied parts of the work.

Key words: *electrochemical technologies, wastes, the principle of thermodynamic duality, entropy, thermodynamic disequilibrium.*

Вступ

Утворення промислових відходів, як складової мінеральних ресурсів, має як свої світоглядні описи (Волошин, 2024a; Волошин, 2024b), так і специфічні механізми (Волошин і Бурко, 2025a; Волошин і Бурко 2025b; Волошин, 2025), притаманні різним видам промислового виробництва. Знання у сфері методології та механізмів утворення промислових відходів є актуальними як основа для мінімізації таких відходів у межах самого технологічного процесу. Специфіка походження промислових відходів в електрохімічних технологічних процесах декілька відрізняється від аналогічних механізмів, притаманних іншим технологіям. Електрохімічні відходи зазвичай мають властивості не первинної сировини, а принципово інших речовин, які створені завдяки діям електрохімічних сил атомарного рівня, що мають місце в таких реакціях, і пов'язані з уніфікованим принципом термодинамічної двоєдиності, що передбачає подільність системи щодо термодинамічної нерівноважності стосовно сировинних складових. Зокрема, у таких процесах поряд із хімічними явищами має місце тепло- і масообмін на мікроскопічному рівні, дифузійні та інші явища. Метою дослідження є виявлення механізмів та створення умов для мінімізації промислових відходів в електрохімічних технологічних процесах.

Матеріал і методи

Основні закономірності, що лежать в основі процесів відходоутворення в електрохімічних технологіях, пов'язані з такими залежностями: електрохімічний потенціал $\hat{\mu}_i$, який визначає рушійну силу транспорту іонів у таких реакціях і зрештою визначає величину диференційованої частини вихідної сировини у створенні як основного продукту технології, так і його побічних продуктів (відходів); електрохімічна спорідненість A_{el} та електродний потенціал E, що пов'язують реакції зі зміною вільної енергії та ентропії; і саме ентропія (S) яка, як міра розупорядкованості, зростає в незворотних процесах, її виробництво пов'язане з матеріальними потоками (струм, іонний транспорт) і термодинамічними силами ($\nabla \hat{\mu}_i$, A_{el}), що сприяють появленню відходу.

Запропонований підхід до проблеми відходоутворення для такої специфічної моделі стосовно технологічних процесів, пов'язаних з електрохімічними законами, являє собою комплексні взаємини не тільки хімічних явищ, а й технологічно обґрунтованих процесів тепломасоперенесення, механічних та мікрохімічних взаємодій, унаслідок яких можна отримати лінійку хімічних та пов'язаних із ними технологічних відходів, характерних для таких виробництв.

Математичний апарат для опису таких залежностей досить відомий із багатьох публікацій (Prigogine & Defay 1967; Bard & Faulkner 2001; Bird et al., 2002), на які ми посилатимемося в цій роботі. Підкреслимо тільки ті залежності, що безпосередньо стосуються предмета нашого дослідження і не мають інтерпретацій в сучасній літературі.

Зміна ентропії (ΔS), як міра невпорядкованості системи, пов'язана з тепловими та кореспондуючими з ними незворотними процесами. В електрохімічних системах зміна ентропії системи й оточення описується так: $dS_{total} = dS_{syst} + dS_{round} \geq 0$. Як аналог термодинамічного потенціалу для електрохімічних процесів застосовується вільна енергія Гіббса (*G*) або її зміну (Δ*G*) у вигляді $\Delta G = -nFE$. Співвідношенням між електрохімічним потенціалом та ентропією скористуємося через диференціал вільної енергії Гіббса для електрохімічної системи $dG = -SdT + VdP + \sum \hat{\mu}_i dN_i + \sum q_k d\phi_k$, де q_k – заряд, пов'язаний із фазою k; ϕ_k – її потенціал. Зміна ентропії пов'язана з температурою і складом таким чином $(\frac{\partial S}{N_i})_{T,P,N,\varphi} = -(\frac{\partial \hat{\mu}_i}{\partial T})_{P,S,\phi}$. Зв'язок електрохімічної спорідненості й ентропії системи як фактора відходоутворення випробуємо через рівняння $\dot{S} = \frac{A_{el}}{T} v \geq 0$, де $v = \frac{d\xi}{dt}$ – швидкість реакції.

Наведемо умови нерівноважної термодинаміки для електрохімічних систем: потоки (струм *I*, потік іонів J_i) пов'язані з узагальненими силами (градієнт електрохімічного потенціалу – $\nabla\hat{\mu}_i$; спорідненість $\frac{A_{el}}{T}$) через лінійні співвідношення $I = L_{jj}(-\frac{\nabla\hat{\mu}_e}{T})$, $J_i = L_{jj}(-\frac{\nabla\hat{\mu}_i}{T})$, де L_{jj} – феноменологічні коефіцієнти (провідність, дифузійні коефіцієнти), $\hat{\mu}_e$ – електрохімічний потенціал електронів. Тут виробництво ентропії $\dot{S} = \sum J_i \left(-\frac{\nabla\hat{\mu}_i}{T}\right) + \frac{A_{el}}{T} v \geq 0$.

Результати

Загалом електрохімічні процеси – це стійкий та ефективно регульований напрям, що забезпечує високий ступінь чистоти продукції, відносно невеликий хімічний вплив на навколишнє середовище та широкий діапазон застосування. Електрохімічна технологія у своїх схемах надає низку інших відходів, пов'язаних з її забезпеченням.

Загальні розрахункові дані механізмів відходоутворення для деяких із відомих та найбільш уживаних технологічних процесів створені з урахуванням вихідних даних згідно з джерелами (Ghan, 2008; Tromans, 2000; Chen et al., 2003; Atkins & de Paula, 2018). Вихідні дані та результати для аналізу таких технологічних процесів із позицій їх відходоутворення наведені в табл. 1.

Кожен з електрохімічних процесів, що вказані в таблиці 1, має специфічний зв'язок з відходами як продуктами хімічних реакцій і, як результат, організацією власне технологічного процесу. Підсумкові дані розрахунків наведені в наступній таблиці-резюме.

Як підсумок такого аналізу, у трьох розглянутих технологіях особливості природи термодинамічних механізмів відходоутворення такі:

– у гальванічних технологіях у механізмах відходоутворення домінує масоперенесення й ентропійне розсіювання;

– в електролізі води переважає чиста енергетична дисипація без утворення матеріальних відходів;

– в очищенні води присутній механізм хімічного формування осадів з мінімальними енергетичними витратами на їх появу.

Загальним тут є чітка залежність цих процесів від їх термодинаміки, супутньої до хімічного стану системи.

Більш детально розглянемо ці явища на прикладах мінімізації відходів у рамках технологічного процесу електролізу води. Ми навмисно вибрали для дослідження методи електролізу води через те, що вони можуть позиціонуватися як практично безвідхідні технології, якщо мати на увазі власне процес електролізу, коли під дією електричного струму відбувається розкладання води на молекули водню та кисню. Ми розглянемо три найбільш широко використовувані технології електролізу води (за типом електрода, робочої температури, використовуваними матеріалами, ефективністю та вартістю), що описані в (Hauch et al., 2008; O'Hayre et al., 2008; Smolinka et al., 2011):

– лужний електроліз води (AwE) пов'язаний із лужними електролітами (*KOH* /NaOH) та недорогими нікелевими електродами;

– твердооксидний електроліз води (SOEC) з твердим керамічним електролітом (Zr O_2) та метало-керамічними електродами;

Таблиця 1

Порівняльні розрахункові дані для технологічних процесів, пов'язаних з електрохімічними явищами

Показник	**Технологічний процес**		
	Гальваніка	**Електроліз**	**Очищення води**
Призначення	Нанесення металевих шарів із захисними або декоративними властивостями	Синтез / розкладання речовин під дією електричного струму	Видалення забруднень із використанням анодних і катодних реакцій
Електроліт	Водний розчин	Вода чи сіль	Природна / стічна вода
Електроди	Розчинні / інертні	Інертні / реактивні	Інертні або Fe/Al
Напруга (В)	1–10	1,8–3,5	5–15
Струм щільність (А/дм²)	1–10	100–10 000	5–20
ККД	80–95 %	65–80 %	70–99 % (за видаленням)
Особливості технологічної системи	**Анод (розчинний):** Ni0→Ni2++2e− **Катод:** Ni2++2e−→Ni0	**Анод:** 2H2O→O2+4H++4e− **Катод:** 4H2O+4e−→2H2+4OH− **Підсумок:** 2H2O→2H2+O2	**Анод алюмінієвий:** Al→Al3++3e− **Катод:** Cr6++3e−→Cr3+ **Осаду:** Al3++3OH−→ Al(OH)3↓
Сировина, т	Розчин $NiSO_4$ – 0,3 Покриття (Ni) – 0,05	Вода – 1,0	Забруднена вода – 1,0
Продукція, т/т	…	Водень – 0,112 Кисень – 0,888	Очищена вода – 0,995
Відходи, т/т	Шлам, стоки – 0,02	–	Шлам – 0,005
Енерговитрати, кДж/т	650–900	12 600–18 000	1800–7200
Хімічний потенціал, μ	9,6 кДж/моль	ΔG = 237,2 кДж/моль, ΔH = 286 кДж/моль ΔS = 163,2 Дж/моль	19,89 кДж/моль
Продукційна частина, J_0, моль	Осад нікелю – 854	Розкладання H_2O – 1244 моль H_2	55 333,0
Відходоутворювальна частина, J_w, моль	342		65,0
Термодинамічні сили, кДж/(мольК²) – продуктоутворення, X_0; – відходоутворення, X_w	0,897 0,202	1,9 –	0,675 0,15
Швидкість зміни ентропії, Дж/К – продуктоутворення, ΔS_0; – відходоутворення, ΔS_w	–766,5 +68,4	2363,6 –	37 300,0 6,5

– у протон-обмінному методі (РЕМ) використовується полімерна мембрана, платинові або іридієві електроди.

Вид базової енергії E_0 для всіх варіантів – постійний електричний струм.

Базовою технологією вважатимемо найбільш поширену модифікацію лужного електролізу, в якому джерелом зовнішньої енергії є електрична енергія (постійний струм) обсягом 26–30 ГДж/т вихідної води.

У найменш поширеній SOEC-технології з твердооксидними компонентами замість сировинної води використовується високотемпературна пара $700 \div 1000$ в енергетичному еквіваленті $4 \div 5$ ГДж/т води, що подається на катодну сторону $H_2O^{(г)} + 2e^- \rightarrow H_2 + O^{2-}$ з подальшою міграцією іонів до анода $O^{2-} \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$. Таку теплову енергію тільки апріорно можна вважати додатковою енергією (E_w^0), якщо враховувати, що зменшуються втрати з корозією і теплові втрати від води, що охолоджується (Laguna-Bercero, 2014). Але слід визнати, що подача додаткової енергії перегрітої пари в цій технології здійснюється для збільшення виходу корисного продукту, а не для зниження відхідної частини системи. У підсумку це дає $E_0 = 19 \div 23$ ГДж/т вихідної води. Технологія супроводжується високими втратами тепла. Як термодинамічна система, вона характеризується вимогою високих значень термодинамічних сил ($X_w^0 = 2{,}0165 \cdot 10^4 \frac{кДж}{т сиров.}$),

Таблиця 2

Аналітичні дані про термодинамічні механізми відходоутворення в електрохімічних технологічних процесах

Технологічний процес	**Джерела відходоутворення (термодинамічні механізми)**	**Керуючі термодинамічні параметри**	**Характер відходів та їх енерго-ентропійний профіль**	**Короткий професійний висновок**
Гальваніка (електрохімічне осадження Ni)	– Розчинення анода Ni → формування йонів Ni^{2+} (позитивний μ, енергетичний внесок 9,6 кДж/моль). – Висока локальна неповна ефективність осадження → утворення шламів. – В'язкі процеси перенесення та масопереносу сприяють зростанню ентропії	– Відходоутворювальна сила X_w = 0.202 кДж/(моль·К²). – ΔS_w = +68.4 Дж/К (позитивний приріст ентропії). – Відходоутворювальна частина J_w = 342 Дж/моль	– Осади $Ni(OH)_2$, стічні води, іонні залишки. – Енергія відходів невисока, але ентропія шламів підвищена, що знижує можливість прямого повернення у процес без попереднього кондиціонування	Відходи формуються переважно через неповне осадження та ентропійне розсіювання маси, характерне для гальванічних ванн. Система відносно керована завдяки оптимізації масоперенесення
Електроліз води	– Розрив хімічних зв'язків у H_2O (ΔG = 237,2 кДж/моль) створює високий енергетичний потенціал системи. – Відсутність твердих відходів, але значні теплові втрати й електричне дисипативне тепло спричиняють зростання ентропії	– Найвища продукційна сила X_0 ≈ 1,9 кДж/(моль·К²). – ΔS_0 = +2363,6 Дж/К – домінуючий ентропійний потік у системі. – J_0 (продукційна частина) = 55 333 Дж/моль – максимальна серед процесів	– Твердих відходів немає, але існують теплові втрати, газові домішки, деградація електродів. – Висока ентропійність побічних потоків пов'язана з дисипацією електричної енергії	Відходоутворення має переважно енергетично-ентропійний характер: система мінімізує вільну енергію через теплові втрати. Матеріальні відходи майже відсутні
Електрохімічне очищення води (сольовий/ Al-анод)	– Окиснення Al: Al → $Al^{3+} + 3e^-$ з подальшим утворенням $Al(OH)_3\downarrow$ (висока μ = 19,89 кДж/моль). – Коагуляція і перенесення домішок призводить утворення органо-мінеральних шламів	– Відходоутворювальна сила X_w = 0,15 кДж/(моль·К²). – ΔS_w ≈ +6.5 Дж/К (найнижча серед розглянутих). – J_w = 65 Дж/моль — низька енергія утворення відходів	– Коагуляційні шлами $Al(OH)_3$, органічні домішки, мікрочастинки. – Низька енергетичність та відносно низька ентропія, що підвищує можливість повторного осадження або рекуперації	Відходи мають чітко виражену хімічну природу (гідроксиди металів). Процес добре контрольований і генерує стабільні осади з низькою термодинамічною енергією

здатних у рамках самого технологічного процесу впоратися з такими відходами, як кераміка, та вирішити проблеми зі складністю їхньої мінімізації. При цьому позитивна зміна ентропії самого технологічного процесу більш ніж у два рази вища, ніж для PEM- або AwE-технологій. І цей показник значно віддалений від теоретично можливого мінімуму відходоутворення для технології електролізу води.

Протон-обмінний метод електролізу води (PEM) потребує зовнішнього джерела постійного струму високої щільності (щільність струму $1 \div 3\, A/(кВ \cdot см)$ з енерговитратами $20 \div 22$ ГДж/т вихідної води (Barbir, 2012). У цьому випадку ми маємо справу з модифікованою базовою енергією (E_0), негативна роль якої збільшується щодо побічних відходів технологічного процесу – посилюється зношування протонно-обмінної мембрани шляхом руйнування її полімерних ланцюгів, посилюється іонізація нікелю та хрому, які осаджуються на електродах, знижуючи їх провідність. Розрахунки показують, що якісна стабілізація джерела живлення з мінімальними пульсаціями й управління струмом в діапазоні (0,5–2,0) $A/см^2$ замість максимальних 3,0 $A/см^2$ різко знижує локальну хімічну деградацію мембрани на 25 % зі зниженням корозійних змін для нікелю / хрому через зниження електрохімічної активності (Carmo et al., 2013).

Ще більш відчутний результат для таких технологій приносять якісно нові імпульсні джерела живлення, наприклад із частотою $1 \div 10$ кГц, які здатні забезпечувати режим чергування високої та низької щільності струму ($0{,}1 \div 1{,}0$ $A/см^2$) і дають змогу суттєво знизити непрямі теплові навантаження й утворення радикалів.

Наведемо методику розрахунку динаміки зміни відходів для PEM-технології з урахуванням застосування модифікованої енергії (E_0^w). Основну увагу приділимо стабілізації щільності струму та заміні матеріалів (корозійно-стійкі покриття та покращені мембрани), оскільки ці заходи найбільш ефективні для мінімізації відходів у рамках самої технології електролізу. Розрахунки будуть орієнтовані на типову PEM-систему із щільністю струму 1–3 А/см², що забезпечує виробництво водню з 1 т води (1000 кг), та надаватимуть оцінки скороченню відходів.

Вихідні дані для системи PEM (Bessarabov et al., 2015):

– продуктивність: 1 т води → 111,11 кг H_2 (за реакцією $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$);

– енерговитрати: візьмемо ~ 41,5 кВт·год/кг H_2 з ККД 80 %. Разом: 111,11 · 41,5 = 4611 кВт · год = 6,600 МДж/т води;

– щільність струму $0{,}1 \div 2{,}0$ А/см²;

– термін служби мембрани 30 000 годин (типове значення з 2 А/см²).

– площа мембрани для системи, що виробляє 1 кг H_2/год зі струмом 2 А/см². Струм на 1 кг водню ≈ 33,600 А (за Фарадеєм, 2 F/моль H_2). Тоді площа мембрани $\frac{33600}{2}$ = 16 800 см² = 1,68 м². Для 111,11 кг H_2/год: 1,68 · 111,11 ≈ 187 м².

Оцінювані нами відходи (базовий сценарій):

– знос мембрани: маса мембрани (Nafion, товщина ~ 0,1 мм, щільність ~ 2 г/см³); об'єм мембрани 187 · 0,01 = 1,87 $см^3/мм^2$ мембрани. Для 1 т води (виробництво 111,11 кг H_2 за ~ 111 годин при 1 кг H_2/год): відходи мембрани: $\frac{0{,}7}{30000} \cdot 111 \approx 0{,}00259$ кг/т води;

– продукти корозії (нікель, хром), концентрація іонів у стоках ~ 0,05 мг/л (середнє значення). Об'єм води в системі для 1 т води ~ 1000 л (циркуляція). Маса іонів: 0,05 · 1000 = 50 мг = 0,00005 кг/т води.

Заходи та розрахунки щодо управління струмом як модифікованою енергією у системі та з впливом на електрохімічні процеси, пов'язані з корозією нікель-хрому в системі, можуть включати таке (табл. 3).

1. Якісна стабілізація щільності струму й імпульсний режим заради ефекту зниження втрат на мембрану має такі дані. Зниження щільності струму з 2 до 1 А/см² та використання імпульсного режиму (частота 5 кГц, 50 % часу включення) як спосіб впливу на стан мембрани зменшує утворення радикалів (HO^*) на ~ 50 %, оскільки швидкість побічних реакцій пропорційна струму. При цьому розрахунковий термін служби мембрани збільшується з 30 000 до 45 000 годин (на 50 %). Імпульсний режим знижує теплові навантаження на 10–15 %, додаючи ~ 5000 годин напрацювання. Підсумковий термін служби: ~ 50 000 годин. Відходи мембрани: $\frac{0{,}7}{50000} \cdot 111 \approx 0{,}00155$ кг/т води. Розрахункове зниження відходів: $\frac{0{,}00259 - 0{,}00155}{0{,}00259} = 40\%$.

2. Ефект на корозію викладений у такій редакції. Зниження струму з 2 до 1 А/см зменшує виділення іонів нікелю / хрому на ~ 50 %. Імпульсний режим додатково знижує корозію на 10–20 % (через менший час впливу). Нова концентрація іонів: 0,05 · 0,4 ≈ 0,02 мг/л. Маса іонів: 0,02 · 1000 = 20 мг = 0,00002 кг/т води. Розрахункове зниження відходів: $\frac{0{,}00005 - 0{,}00002}{0{,}00005} = 60\%$.

3. Енерговитрати, як одна з найбільш впливових статей відходоутворення в таких технологіях, мають свої особливості. Зниження струму збільшує площу мембрани вдвічі (до 374 м²), але енерговитрати залишаються ~ 16,600 МДж/т води, оскільки ККД не змінюється.

4. Заміна матеріалів. Використання титанових біполярних пластин із вуглецевим покриттям і посиленою мембраною (Nafion з антиоксидантами) дає зниження відходів мембранного матеріалу на 46 %, зменшення корозії на 90 % (Bessarabov et al., 2015).

5. Розглянемо комбінований ефект від керування струмом імпульсного режиму та посиленої мембрани (зведені дані наведено в табл. 3). Розрахункове відходоутворення $\frac{0{,}7}{65000} \cdot 111 = 0{,}00119$ кг/т води, зниження відходів $\frac{0{,}00259 - 0{,}00119}{0{,}00259} = 54\%$.

Зниження струму, імпульсний режим та титанові пластини зменшують концентрацію іонів до ~ 0,003 мг/л, що впливає на корозію (Bessarabov et al., 2015). Маса іонів: 0,003 · 1000 = 3 мг = 0,000003 кг/т води. Зниження відходів $\frac{0{,}00005 - 0{,}000003}{0{,}00005} = 94\%$.

Комбінація заходів збільшує енерговитрати на ~ 5–10 % через імпульсний режим і більшу площу мембрани: 16,600 · 1,1 ≈ 18,260 МДж/т води.

Таким чином, якісно модифікована зовнішня енергія у вигляді імпульсного режиму струму змінної щільності $(0{,}1 \div 1)$ А/см²,

спільно із застосуванням титанових пластин і посилених мембран дає максимально можливе зниження відходів у рамках самого технологічного процесу на 54 % мембранних відходів і 16 % корозії.

Ми навели розрахункові дані щодо реальних технологічних відходів, які супроводжують зазначені вище модифікації технології електролізу води (табл. 4), щоб уточнити їх можливості для забезпечення мінімізації відходів у рамках власне технологічного процесу.

Обговорення

Завершуючи розгляд, проаналізуємо теоретичні аспекти функціонування системи електролізу води з позицій її мінімальних відходоутворювальних термодинамічних характеристик, які отримані за методикою, що описана в роботі (Волошин, 2024b) (рис. 1).

Відомо, що під час розкладання води за реакцією $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$, ентропія системи зростає, оскільки газоподібні продукти (H_2 та O_2) мають істотно вищу ентропію порівняно з рідкою фазою вихідної води. Однак реальний технологічний процес електролізу супроводжується не лише зміною хімічної ентропії, але й додатковими ентропійними внесками, зумовленими енергоспоживанням, тепловими втратами, деградацією матеріалів та іншими невідворотними явищами, що значно збільшують загальне зростання ентропії системи.

Для ідеалізованої хімічної реакції, яка характеризується мінімальними невідворот-

Таблиця 3

Зведені розрахункові дані, що характеризують стан відходоутворення в PEM-технології електролізу води в разі використання якісно модифікованої зовнішньої енергії (E_0^w) у вигляді імпульсного струму із щільністю, що змінюється

Сценарій технологічного процесу	**Відходи від мембрани, кг/т H_2O**	**Відходи від корозії, кг/т H_2O**	**Енерговитрати МДж/т H_2O**
Базовий (2 $A/см^2$)	0,00259	0,00005	16 600
Стабілізація струму ($1\frac{A}{см^2} + імпульси$)	0,00155	0,00002	17 430
Нові матеріали	0,00141	0,000005	16 600 (+3740 на виробництво)
Комбінований: управління струмом і нові покриття мембран та електродів	0,00119	0,000003	18,260

Таблиця 4

Технологічні відходи в системах електролізу води та їх термодинамічні показники

Найменування технології	**Побічні відходи в технології**	**Величина, кг/т H_2O**	X_w^0 **кДж/ т H_2O**	ΔS **кДж/К** $\lambda > 0,5$
Протонно-обмінна мембрана *PEM*, *T = 353 K* E_0=22 *ГДж/т*	1. Знос мембрани (Nafion) 2. Продукти корозії (Pt, Ir) 3. Забруднена вода після охолодження	~ 0,2 – 0,3 ~ 0,1 (Pt, Ir) ~ 100 (у перерахунку на H_2O для охолодження)	10 139,58	40,11 $\lambda = 0,86$
Лужний електроліз *AwE, T = 343 K* E_0=30 *ГДж/т*	1. Забруднений електроліт (*KOH*) 2. Продукт корозії (Ni, Fe) 3. Знос мембрани (Zr O_2) 4. Теплові втрати	~ 1,9 (*KOH*) ~ 0,5 тв. відходів 150–200 (у перерахунку на H_2O для охолодження)	11 426,6	39,72 $\lambda = 0,69$
Твердооксидний електроліз *SOEC, T = 1073 K* E_0=15 *ГДж/т*	1. Знос керамічних електролітів (Zr O_2, YSZ) 2. Продукти корозії (Ni, Cr) 3. Високотемпературні теплоносії	0,4 (кераміка) 0,1–0,2 (Ni, Cr) 50 (у перерахунку на H_2O для охолодження)	19 081,6	15,99 $\lambda = 0,58$

ними втратами, феноменологічний коефіцієнт λ (Волошин, 2024a) наближається до значення 1,0, що відповідає мінімальному рівню термодинамічних втрат і фактично нульовому надлишковому відходоутворенню (параметр $X_w^0 \to 0$, а приріст ентропії ΔS наближається до нуля.

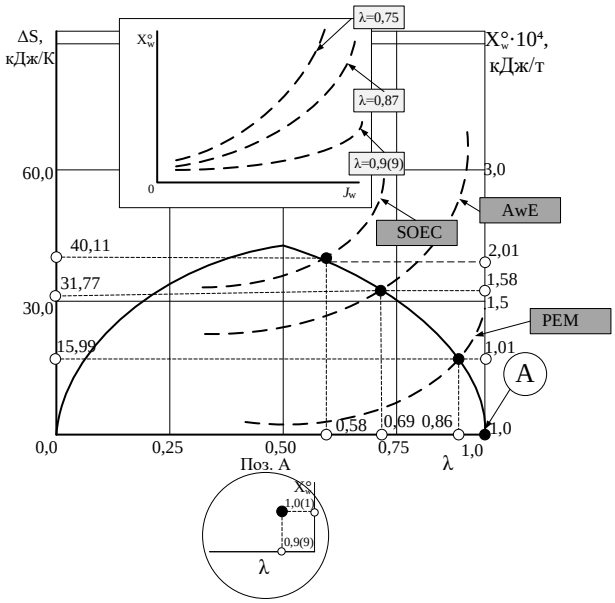


Рис. 1. Залежність термодинамічних параметрів, що відповідають за мінімізацію відходоутворення в технології електролізу води

У реальних промислових умовах ситуація істотно відрізняється. Відповідні розрахункові термодинамічні параметри, що кількісно характеризують процеси утворення відходів (забруднений електроліт, продукти корозії та деградації електродів і мембрани, матеріали допоміжних конструктивних елементів, а також неминучі теплові втрати), значно перевищують теоретичні мінімальні значення, а узагальнений феноменологічний коефіцієнт для систем у стані слабкої термодинамічної нерівноваги істотно відхиляється від ідеального значення $\lambda = 1{,}0$. Це підтверджується отриманими оцінками для різних типів електролізерів: ($\lambda_{PEM} = 0{,}86, \lambda_{AwE} = 0{,}69, \lambda_{SOEC} = 0{,}58$). Такі значення демонструють, що сучасні промислові технології електролізу суттєво поступаються теоретичному мінімуму відходоутворення (див. рис. 1), що обумовлено комплексом незворотних процесів, притаманних реальним електрохімічним системам.

Висновки

1. Унікальна специфіка походження промислових відходів у електрохімічних технологічних процесах декілька відрізняється від аналогічних механізмів, притаманних іншим технологіям. Такі відходи зазвичай мають властивості не первинної сировини, а принципово інших речовин, які створені завдяки діям електрохімічних сил атомарного рівня, що мають місце в таких реакціях, і пов'язані з уніфікованим принципом термодинамічної двоєдиності, що передбачає подільність системи щодо термодинамічної нерівноважності.

2. Механізми утворення відходів тут пов'язані як із типовою енергетичною дисипацією та ентропійним розсіюванням, так і з хімічними процесами, унаслідок яких отримуються якісно нові речовини, визначально не притаманні сировинній базі цих технологій.

3. Вважаючи, що основним джерелом базової енергії в цих технологіях є електричний струм, у роботі передбачаються два варіанти для механізмів мінімізації таких відходів: це зміна якості базової електричної енергії шляхом її модифікації або введення додаткової енергії іншої якості, що спроможна змінити стан тієї частини сировини в технологічному процесі, яка зазвичай іде у відходи. При цьому співвідношення додаткової та базової енергій у технологічному процесі не повинно перевищувати значення 0,62.

Список використаної літератури

Волошин В.С. Відходи та їх природа. Маріуполь – Київ : СПД Самченко, 2024a. 630 с.

Волошин В.С. Відходи та термодинаміка. Маріуполь – Київ : СПД Самченко, 2024b. 80 с.

Волошин В.С. Використання металургійних відходів для виробництва геополімерів. Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : зб. наук. статей. Харків : УкрНДІЕП, 2025. С. 109–116.

Волошин В.С., Бурко В.А. Інверсійні механізми мінімізації промислових відходів у технологічних процесах. Екологічна безпека: проблеми та шляхи вирішення : зб. наук. статей. Харків : УкрНДІЕП, 2025a. С. 142–151.

Волошин В.С., Бурко В.А. Особливості мінімізації відходів у технологічному процесі виробництва хліба. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. Технічні науки.* 2025b. Вип. 51. С. 223–230. https://doi.org/10.31498/2225-6733.51.2025.344955

Atkins P., de Paula J. Physical Chemistry. 11th Edition. Oxford : Oxford University Press, 2018. P. 188–240.

Barbir F. PEM Fuel Cells: Theory and Practice. San Diego : Academic Press, Elsevier, 2012. 456 p. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387710-9.00001-3.

Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications. 2nd ed. New York : Wiley, 2001. 864 p.

Bessarabov D., Wang H., Li H., Zhao N. PEM Electrolysis for Hydrogen Production: Principles and Applications. CRC Press (Taylor & Francis), 2015. 401 p. https://doi.org/10.1201/b19096.

Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N. Transport Phenomena. Revised 2nd ed. New York : John Wiley & Sons, 2002. P. 895–912.

Carmo M., Fritz D.L., Mergel J., Stolten D. Comprehensive Review on PEM Water Electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2013. Vol. 38. Issue 12. Amsterdam. P. 4901–4934. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.151.

Chen G., Chen X., Yue P.-L. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology. *Elsevier*. 2003. Vol. 38. P. 11–41. https://doi.org/10.1016/S1383-5866(03)00046-6.

Ghan J. Electrocatalysis of Direct Methanol Fuel Cells. Springer, 2008. P. 23–65.

Hauch A., Ebbesen S.D., Jensen S.H., Mogensen M. Highly Efficient High Temperature Electrolysis. *Journal of Materials Chemistry (Royal Society of Chemistry)*. Amsterdam, 2008. Vol. 18. Issue 20. P. 2331–2340. https://doi.org/10.1039/B716068A.

Laguna-Bercero M.A. Recent Advances in High Temperature Electrolysis Using Solid Oxide Fuel Cells: A Review. *Journal of Power Sources*. 2014. P. 72–94. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.021.

O Hayre R., Cha S.-W., Colella W., Prinz F.-B. Fuel Cell Fundamentals. New York : John Wiley & Sons, 2008. 604 p.

Prigogine I., Defay R. Chemical Thermodynamics. London : Longmans, 1967. 543 p.

Smolinka T., Gunther M., Garche J. NOW Study: Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Freiburg : Fraunhofer ISE, 2011. 445 p.

Tromans D. Thermodynamics of the hydrogen evolution reaction. Hydrometallurgy. *Elsevier*. 2000. Vol. 62. P. 135–150. https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00136-9.

References

Voloshyn, V.S. (2024a). Vidkhody ta ikh pryroda [Waste and its nature]. Mariupol – Kyiv: SPD Samchenko, 630 p. [in Ukrainian].

Voloshyn, V.S. (2024b). Vidkhody ta termodynamika [Waste and thermodynamics]. Mariupol – Kyiv: SPD Samchenko, 80 p. [in Ukrainian].

Voloshyn, V.S. (2025). Vykorystannia metalurhiinykh vidkhodiv dlia vyrobnytstva heopolimeriv [Use of metallurgical waste for the production of geopolymers]. *Zbirnyk naukovykh statei "Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia" [Collection of scientific articles "Environmental safety: problems and ways of solving"].* Kharkiv: UkrNDIEP, pp. 109–116 [in Ukrainian].

Voloshyn, V.S., & Burko, V.A. (2025a). Inversiini mekhanizmy minimizatsii promyslovykh vidkhodiv u tekhnolohichnykh protsesakh [Inversion mechanisms of industrial waste minimization in technological processes]. *Zbirnyk naukovykh statei "Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia" [Collection of scientific articles "Environmental safety: problems and ways of solving"].* Kharkiv: UkrNDIEP, pp. 142–151 [in Ukrainian].

Voloshyn, V.S., & Burko, V.A. (2025b). Osoblyvosti minimizatsii vidkhodiv u tekhnolohichnomu protsesi vyrobnytstva khliba [Features of waste minimization in the technological process of bread production]. *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Ser. Tekhnichni nauky [Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Sciences],* 51, 223–230. https://doi.org/10.31498/2225-6733.51.2025.344955 [in Ukrainian].

Atkins, P., & de Paula, J. (2018). Physical Chemistry. 11th Edition. Oxford: Oxford University Press, pp. 188–240 [in English].

Barbir, F. (2012). PEM Fuel Cells: Theory and Practice. San Diego: Academic Press, Elsevier, 456 p. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387710-9.00001-3 [in English].

Bard, A.J., & Faulkner, L.R. (2001). Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications. 2nd ed. New York: Wiley, 864 p. [in English].

Bessarabov, D., Wang, H., Li, H., & Zhao, N. (2015). PEM Electrolysis for Hydrogen Production: Principles and Applications. CRC Press (Taylor & Francis), 401 p. https://doi.org/10.1201/b19096 [in English].

Bird, R.B., Stewart, W.E., & Lightfoot, E.N. (2002). Transport Phenomena. Revised 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 895–912 [in English].

Carmo, M., Fritz, D.L., Mergel, J., & Stolten, D. (2013). Comprehensive Review on PEM Water Electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (12), 4901–4934. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.151 [in English].

Chen, G., Chen, X., & Yue, P.-L. (2003). Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology. *Elsevier*, 38, 11–41. https://doi.org/10.1016/S1383-5866(03)00046-6 [in English].

Ghan, J. (2008). Electrocatalysis of Direct Methanol Fuel Cells. Springer, pp. 23–65 [in English].

Hauch, A., Ebbesen, S.D., Jensen, S.H., & Mogensen, M. (2008). Highly Efficient High Temperature Electrolysis. *Journal of Materials Chemistry (Royal Society of Chemistry)*, 18 (20), 2331–2340. https://doi.org/10.1039/B716068A [in English].

Laguna-Bercero, M.A. (2014). Recent Advances in High Temperature Electrolysis Using Solid Oxide Fuel Cells: A Review. *Journal of Power Sources*, 72–94. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.021 [in English].

O Hayre, R., Cha, S.-W., Colella, W., & Prinz, F.-B. (2008). Fuel Cell Fundamentals. New York: John Wiley & Sons, 604 p. [in English].

Prigogine, I., & Defay, R. (1967). Chemical Thermodynamics. London: Longmans, 543 p. [in English].

Smolinka, T., Gunther, M., & Garche, J. (2011). NOW Study: Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Freiburg: Fraunhofer ISE, 445 p. [in German/English].

Tromans, D. (2000). Thermodynamics of the hydrogen evolution reaction. Hydrometallurgy. *Elsevier*, 62, 135–150. https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)00136-9 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 08.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 504.61:[615:66.0]:[502.3:613.15]:546](045)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.14

ВПЛИВ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН НА ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Н. Ю. Душечкіна[1], О. В. Кочубей[2], С. В. Совгіра[3]

У статті досліджено вплив підприємств фармацевтичної промисловості на якість атмосферного повітря та оцінено екологічні ризики, пов'язані з викидами неорганічних речовин, що містяться в технологічних газових викидах. Встановлено, що, хоча фармацевтичні підприємства не належать до основних джерел забруднення атмосфери, їхня діяльність може формувати локальні осередки підвищеного вмісту оксидів азоту, діоксиду сірки, аміаку та неорганічного пилу. Аналіз концентрацій цих речовин у межах санітарно-захисних зон підприємств показав, що навіть наближення до гранично допустимих значень створює потенційні ризики для здоров'я населення, особливо для осіб із хронічними захворюваннями органів дихання та осіб, що постійно проживають у зоні впливу. Результати дослідження підтвердили доцільність використання комплексних індексів забруднення для оцінки стану повітря, що дозволяє проводити порівняльний аналіз антропогенного навантаження та визначати пріоритетні напрями екологічного управління на промислових територіях. Виявлено, що характер забруднення є локальним і концентрується у межах санітарно-захисних зон, що обумовлює необхідність систематичного моніторингу якості атмосферного повітря та застосування інтегрованих підходів до оцінки екологічної безпеки. На основі отриманих результатів запропоновано комплексний підхід до екологічного управління на підприємствах фармацевтичної промисловості, що включає технологічну модернізацію виробничих процесів, впровадження сучасних методів очищення газових викидів, а також організаційні заходи щодо контролю за станом навколишнього середовища. Реалізація таких заходів сприятиме зменшенню негативного впливу на довкілля, підвищенню рівня екологічної безпеки населення та забезпеченню сталого розвитку промислових територій, а також дозволить поєднати ефективну діяльність підприємств з виконанням вимог сучасного природоохоронного законодавства.

Ключові слова: *фармацевтична промисловість, атмосферне повітря, неорганічні викиди, локальне забруднення, екологічна безпека, моніторинг якості повітря, технологічна модернізація.*

[1] кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії та екології
(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)
e-mail: nataxeta74@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4203-7122
[2] доктор філософії, викладач кафедри хімії та екології
(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)
e-mail: sncelena@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5047-6694
[3] доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри хімії та екології
(Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)
e-mail: sovgirasvitlana@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8742-7773

THE IMPACT OF INORGANIC SUBSTANCES ON AIR QUALITY FROM TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PHARMACEUTICAL INDUSTRY ENTERPRISES

N. Yu. Dushechkina, O. V. Kochubei, S. V. Sovhira

The article investigates the influence of pharmaceutical industry enterprises on atmospheric air quality and assesses the environmental risks associated with emissions of inorganic substances contained in technological gas emissions. It was found that, although pharmaceutical enterprises are not among the main sources of atmospheric pollution, their activities can form local foci of increased nitrogen oxides, sulfur dioxide, ammonia and inorganic dust. Analysis of the concentrations of these substances within the sanitary protection zones of enterprises showed that even approaching the maximum permissible values creates potential risks for public health, especially for people with chronic respiratory diseases and people permanently residing in the zone of influence. The results of the study confirmed the feasibility of using complex pollution indices to assess the state of the air, which allows for a comparative analysis of anthropogenic load and to determine priority areas of environmental management in industrial areas. It was found that the nature of pollution is local and concentrated within sanitary protection zones, which necessitates the need for systematic monitoring of atmospheric air quality and the use of integrated approaches to assessing environmental safety. Based on the results obtained, a comprehensive approach to environmental management at pharmaceutical industry enterprises is proposed, which includes technological modernization of production processes, the introduction of modern methods of gas emission purification, as well as organizational measures to monitor the state of the environment. The implementation of such measures will contribute to reducing the negative impact on the environment, increasing the level of environmental safety of the population and ensuring sustainable development of industrial areas, and will also allow combining the effective operation of enterprises with the implementation of the requirements of modern environmental legislation.

Key words: *pharmaceutical industry, atmospheric air, inorganic emissions, local pollution, environmental safety, air quality monitoring, technological modernization.*

Вступ

Сучасна фармацевтична промисловість є стратегічно важливою галуззю економіки, що забезпечує населення лікарськими засобами та формує основу системи охорони здоров'я. Водночас інтенсифікація фармацевтичного виробництва, розширення асортименту активних фармацевтичних інгредієнтів і ускладнення технологічних процесів супроводжуються зростанням антропогенного навантаження на довкілля, зокрема на атмосферне повітря (Вітюк і Траченко, 2018). У структурі промислових викидів фармацевтичних підприємств поряд з органічними компонентами суттєву роль відіграють неорганічні речовини, які характеризуються високою хімічною активністю та здатністю до трансформацій у повітряному середовищі (Бабієнко та ін., 2022).

Актуальність дослідження зумовлена тим, що неорганічні сполуки, які надходять в атмосферу внаслідок фармацевтичних технологічних процесів, здатні брати участь у фотохімічних і гетерогенних реакціях з утворенням вторинних забруднювачів, зокрема нітратних і сульфатних аерозолів, що істотно погіршують якість повітря та підвищують рівень інгаляційного навантаження на населення (Allen et al., 2019; Dat et al., 2024). Особливої екологічної небезпеки набувають газоподібні сполуки азоту та сірки, які в атмосфері трансформуються у кислоти та солі, змінюючи кислотно-лужний баланс повітря й атмосферних опадів (Amar Nath, 2025).

Проблематика дослідження полягає у тому, що більшість досліджень зосереджені на оцінюванні загального екологічного навантаження або на впливі органічних забруднювачів, тоді як механізми атмосферних перетворень неорганічних сполук, їх взаємодія з водяною парою, аміаком та твердими аерозольними частинками залишаються недостатньо висвітленими.

Питання впливу промислових викидів на якість атмосферного повітря широко висвітлюється у працях вітчизняних та зарубіжних науковців, однак більшість досліджень зосереджена на підприємствах важкої промисловості, тоді як фармацевтична галузь залишається недостатньо вивченою. У навчальному посібнику з фармацевтичної гігієни розглянуто гігієнічні аспекти виробничого середовища фармацевтичних підприємств, зокрема вплив хімічних чинників на здоров'я працівників, проте екологічні наслідки викидів неорганічних елементів у атмосферне повітря висвітлені фрагментарно (Бабієнко та ін., 2022).

У підручнику В. Бардова та ін., значну увагу приділено загальним закономірностям формування хімічного забруднення атмосферного повітря, токсикологічній характеристиці неорганічних сполук і їх впливу на організм людини (Бардов та ін., 2020). Водночас автори акцентують на необхідності галузевих досліджень, оскільки специфіка технологічних процесів суттєво впливає на склад і концентрацію викидів.

Низка наукових праць присвячена оцінці забруднення повітря важкими металами від металургійних підприємств. Так, у дослідженнях К. Бєлоконь (та ін.) та. Є. Матухно (та ін.), показано значний внесок промислових викидів у формування підвищених концентрацій неорганічних елементів у повітрі промислових регіонів України та доведено негативний вплив таких викидів на екологічний стан урбанізованих територій (Бєлоконь та ін., 2018; Matukhno et al., 2019). Отримані результати мають важливе методологічне значення, однак не можуть бути безпосередньо екстрапольовані на фармацевтичні підприємства через відмінність технологій і складу забруднювальних речовин.

Суттєвий внесок у розвиток методів оцінки якості атмосферного повітря зробили дослідження присвячені застосуванню комплексних індексів забруднення. У праці В. Колесника та співавторів запропоновано екологічну класифікацію якості атмосферного повітря, що дозволяє враховувати сумарну дію кількох хімічних компонентів і підвищує об'єктивність оцінки екологічного стану територій (Колесник та ін., 2017). Але у цих дослідженнях не враховано специфічні неорганічні домішки, характерні для фармацевтичного виробництва.

Окремі публікації присвячені екологічним аспектам фармацевтичної діяльності загалом. У зарубіжному огляді розглянуто вплив фармацевтичної промисловості на навколишнє середовище, зокрема забруднення водних об'єктів і ґрунтів, проте атмосферні викиди неорганічних компонентів висвітлено недостатньо детально (Bankole et al., 2023). Вітчизняні праці з водопостачання та очищення стічних вод акцентують увагу на ефективності технологій очищення, які потенційно можуть бути адаптовані й для систем очищення газових викидів, однак прямий зв'язок із якістю атмосферного повітря фармацевтичних підприємств залишається опосередкованим (Айрапетян, 2021; Сорокіна, 2021).

Нормативно-правові документи, зокрема гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин в атмосферному повітрі, визначають граничні концентрації неорганічних елементів і створюють правову основу для екологічного контролю. Проте на практиці відсутні достатні наукові дані щодо відповідності фактичних викидів фармацевтичних підприємств установленим нормативам та ефективності застосовуваних очисних технологій (Про затвердження …, 2020). Отже, аналіз останніх публікацій свідчить про наявність значного наукового доробку у сфері гігієни атмосферного повітря та оцінки промислового забруднення, однак виявляє низку невирішених питань. До них належать недостатня кількість галузевих досліджень, присвячених фармацевтичним підприємствам, обмежені дані щодо складу та рівнів викидів неорганічних елементів, а також відсутність комплексної методики оцінки їх впливу на якість атмосферного повітря з урахуванням специфіки фармацевтичного виробництва. Саме ці аспекти зумовлюють необхідність подальших наукових досліджень у зазначеному напрямі.

Мета дослідження – оцінити вплив неорганічних елементів, що утворюються під час технологічних процесів підприємств фармацевтичної промисловості, на якість атмосферного повітря.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати основні джерела викидів неорганічних елементів у фармацевтичній промисловості.
2. Визначити склад і характеристику основних неорганічних забруднювачів атмосферного повітря.
3. Оцінити вплив неорганічних елементів на якість повітря та потенційні ризики для здоров'я населення.
4. Узагальнити методи контролю та зниження викидів неорганічних речовин на фармацевтичних підприємствах.

Матеріали і методи

Матеріалами дослідження слугували наукові публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, навчальні посібники та підручники з гігієни, екології та фармацевтичної промисловості, неорганічної хімії, а також нормативно-правові документи, що регламентують допустимий вміст хімічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. У роботі використано літературні джерела, присвячені питанням впливу промислових викидів на якість атмосферного повітря,

методам його оцінки та екологічної класифікації рівнів забруднення.

У процесі дослідження застосовано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів, що забезпечили всебічний аналіз впливу неорганічних елементів на якість атмосферного повітря. Основним методом був аналіз наукових джерел. Використано порівняльний метод для зіставлення даних щодо складу, рівнів і характеру викидів неорганічних елементів, що утворюються в різних технологічних процесах фармацевтичної промисловості. Застосовано метод систематизації та узагальнення, який дав змогу класифікувати неорганічні забруднювачі, визначити основні джерела їх утворення та проаналізувати гігієнічні нормативи допустимих концентрацій в атмосферному повітрі.

Для оцінки впливу викидів на якість повітря використано методи екологічної та гігієнічної оцінки, зокрема підхід комплексного аналізу рівня забруднення атмосферного повітря з урахуванням індексів забруднення та чинних санітарних регламентів.

Результати та їх обговорення

Аналіз отриманих даних показує, що основними неорганічними компонентами викидів фармацевтичних підприємств є оксиди азоту (NO, NO_2), діоксид сірки (SO_2), аміак (NH_3) та дрібнодисперсні металеві частки. Оксиди азоту утворюються в результаті термічних реакцій амонієвих і нітратних сполук, що використовуються у виробництві лікарських препаратів, а також під час спалювання енергоносіїв у технологічних печах. У повітрі NO окиснюється до NO_2, який далі взаємодіє з озоном та водяною парою, утворюючи нітратні аерозолі ($HNO_3 \rightarrow NO_3^-$). Ці дрібнодисперсні частки PM2.5 і PM0.1 можуть тривалий час залишатися в атмосфері та осідати на поверхнях, забруднюючи ґрунт і водні об'єкти.

Діоксид сірки здатний окислюватися у присутності каталізаторів, таких як іони металів у викидах, утворюючи сульфат-іони (SO_4^{2-}), які також формують дрібнодисперсні частки. При цьому реакції можуть йти у взаємодії з аміаком, що утворює амонійні сульфати ($(NH_4)_2SO_4$), і збільшує кількість аерозолів у повітрі. Такі вторинні сполуки підвищують кислотність атмосферного осаду та сприяють локальному формуванню «кислотного дощу», що може негативно впливати на навколишнє середовище та технологічні системи підприємства.

Аміак, який вивиділяється при дії технологічних установок, активно взаємодіє із кислими компонентами, формуючи амонійні сполуки. Він також може реагувати з леткими органічними кислотами, які присутні у низьких концентраціях, що інколи призводить до утворення органо-аміачних комплексів. Хоча органічні леткі сполуки на фармацевтичних підприємствах становлять меншу частку викидів, їх взаємодія з неорганічними компонентами може сприяти утворенню фотохімічно активних частинок, які підсилюють формування вторинних аерозолів.

Дрібнодисперсні металеві частки, що виділяються під час термічних і грануляційних процесів, здатні каталізувати атмосферні реакції. Наприклад, іони заліза або міді прискорюють окислення NO_2 і SO_2, що підвищує швидкість утворення нітратних та сульфатних часток. Крім того, металеві частки можуть абсорбувати аміак і кислі гази, утворюючи хімічно стабільні агрегати, що осідають у довкіллі або залишаються у повітрі тривалий час, збільшуючи рівень токсичного впливу на організм людини.

Важливим аспектом є взаємодія цих компонентів із атмосферними умовами. Наприклад, підвищена вологість сприяє утворенню кислотних крапель, у яких концентруються іони нітратів і сульфатів, тоді як сильне сонячне випромінювання активує фотохімічне окиснення NO_2 і SO_2, збільшуючи концентрацію дрібнодисперсних частинок у нічний і денний час доби. Такі процеси визначають динаміку забруднення повітря і складність прогнозування екологічного впливу. Отримані дані свідчать, що навіть при дотриманні нормативних гігієнічних концентрацій первинні викиди неорганічних сполук можуть змінюватися у повітрі під дією фотохімічних і окисних процесів, утворюючи вторинні аерозолі з підвищеною реакційною здатністю та токсичністю. Це підкреслює необхідність впровадження комплексних технологій очищення газових потоків, що враховують хімічний склад і реакційну здатність викидів, а також постійного моніторингу дрібнодисперсних часток і вторинних аерозолів у зоні впливу фармацевтичних підприємств.

Отже, результати підтверджують, що неорганічні компоненти викидів є ключовим фактором формування забруднення атмосферного повітря. Вторинні хімічні реакції у повітрі значно посилюють потенційну токсичність і вплив на екосистеми та здоров'я людей. Для зменшення еколо-

гічного навантаження необхідне комплексне оцінювання хімічного складу, впровадження адаптованих систем очищення та контроль утворення вторинних аерозолів з урахуванням специфіки фармацевтичного виробництва.

Висновки

Дослідження показало, що основними неорганічними компонентами викидів фармацевтичних підприємств є оксиди азоту (NO, NO_2), діоксид сірки (SO_2), аміак (NH_3) та дрібнодисперсні металеві частки. У повітрі вони піддаються окисненню та фотохімічним перетворенням, формуючи вторинні аерозолі (нітрати, сульфати, амонійні сполуки), що підвищують концентрацію дрібнодисперсних частинок PM2.5 і PM0.1 і впливають на здоров'я людей та екосистеми.

Хоча органічні леткі сполуки присутні у викидах, їхній внесок у забруднення повітря другорядний, проте вони можуть посилювати утворення вторинних аерозолів. Вторинні хімічні реакції у повітрі змінюють первинний склад викидів, підвищуючи їхню токсичність і тривалість перебування в атмосфері.

Для зменшення екологічного навантаження необхідне впровадження комплексних систем очищення газових потоків, а також моніторинг вторинних аерозолів і дрібнодисперсних часток, що дозволить ефективно контролювати вплив фармацевтичних підприємств на якість атмосферного повітря.

Список використаної літератури

Айрапетян Т. С. Водопостачання та очистка стічних вод промислових підприємств : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 138 с.

Бабієнко В. В., Мокієнко А. В., Грузевський О. А. Фармацевтична гігієна : навчальний посібник. Одеса : Прес-кур'єр, 2022. 324 с.

Бєлоконь К. В., Манідіна Є. А., Куранова Я. О. Дослідження впливу викидів металургійних підприємств на забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Металургія.* 2018. Вип. 1(39). С. 136–140.

Вітюк А. В., Траченко К. Р. Суперечливі тенденції розвитку фармацевтичної промисловості України. *Вісник ВПІ.* 2018. Вип. 6. С. 35–43.

Гігієна та екологія : підручник / В. Г. Бардов, С. Т. Омельчук, Н. В. Мережкіна [та ін.]. Вінниця : Нова Книга, 2020. 472 с.

Колесник В. Є., Павличенко А. В., Калініна К. Р. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення. *Геотехнічна механіка.* 2017. Вип. 137. С. 156–169.

Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць : наказ МОЗ України № 52 від 14.01.2020 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text (дата звернення: 06.01.2026).

Сорокіна К. Б. Технологія очистки природних вод : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 115 с.

Allen S. A. A., Ree A. G., Ayodeji S. A. M. et al. Secondary inorganic aerosols: impacts on the global climate system and human health. *Biodiversity International Journal.* 2019. Vol. 3(6). P. 249–259. DOI: https://doi.org/10.15406/bij.2019.03.00152

Amar Nath. Effects of Inorganic Compounds on the Environment and Their Control: A Review. *Asian Journal of Chemical Sciences.* 2025. Vol. 15(6). P. 77–92. DOI: https://doi.org/10.9734/ajocs/2025/v15i6407

Bankole I. A., Chinedum G. U., Ochuko F. O. Environmental Impact of Pharmaceuticals: A Comprehensive Review. *Matrix Science Pharma.* 2023. Vol. 7(3). P. 85–94. DOI: https://doi.org/10.4103/mtsp.mtsp_15_23

Belkhir L., Elmeligi A. Carbon footprint of the global pharmaceutical industry and relative impact of its major players. *Journal of Cleaner Production.* 2019. Vol. 214. P. 185–194. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.204

Dat N. Q., Ly B. T., Nghiem T. D., Nguyen H. T. T., Sekiguchi K., Huyen T. T., Vinh T. H., Tien L. Q. Influence of Secondary Inorganic Aerosol on the Concentrations of PM2.5 and PM0.1 during Air Pollution Episodes in Hanoi, Vietnam. *Aerosol and Air Quality Research.* 2024. Vol. 24. Article 220446. DOI: https://doi.org/10.4209/aaqr.220446

Grassano N., Hernandez G. H., Tuebke A. et al. *The 2020 EU Industrial R&D Investment Scoreboard.* Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. 113 p.

Matukhno E., Belokon K., Shatokha V., Baranova T. Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia Environmental Science – Engineering and Management.* 2019. Vol. 4. P. 671–680.

Pak A. V., Pak A. O., Sychova T. O. et al. Research of system water of jelly products from different manufacturers by thermodynamic methods. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія.* Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 1(13). P. 54–61. DOI: https://doi.org/10.20998/2079-0821.2025.01.08

References

Airapetian, T.S. (2021). *Vodopostachannia ta ochystka stichnykh vod promyslovykh pidpryiemstv: konspekt lektsii* [Water supply and wastewater treatment of industrial enterprises: lecture notes]. Kharkiv: KhNUMG im. O. M. Beketova [in Ukrainian].

Babiienko, V.V., Mokiienko, A.V., & Gruzevskyi, O.A. (2022). *Farmatsevtychna hihiiena: navchalnyi posibnyk* [Pharmaceutical hygiene: a study guide]. Odesa: Pres-kurier [in Ukrainian].

Bielokon, K.V., Manidina, Ye.A., & Kuranova, Ya.O. (2018). Doslidzhennia vplyvu vykydiv metalurhiinykh pidpryiemstv na zabrudnennia atmosfernoho povitria m. Zaporizhzhia [Study of the impact of emissions from metallurgical enterprises on air pollution in Zaporizhzhia]. *Metalurhiia [Metallurgy]*, 1(39), 136–140 [in Ukrainian].

Vitiuk, A.V., & Trachenko, K.R. (2018). Superechlyvi tendentsii rozvytku farmatsevtychnoi promyslovosti Ukrainy [Contradictory trends in the development of the pharmaceutical industry of Ukraine]. *Visnyk VPI [Bulletin of VPI]*, 6, 35–43 [in Ukrainian].

Bardov, V.H., Omelchuk, S.T., Merezhkina, N.V. et al. (2020). *Hihiiena ta ekolohiia: pidruchnyk* [Hygiene and ecology: a textbook]. Vinnytsia: Nova Knyha [in Ukrainian].

Kolesnyk, V.Ie., Pavlychenko, A.V., & Kalinina, K.R. (2017). Ekolohichna klasyfikatsiia yakosti atmosfernoho povitria za kompleksnymy indeksamy yoho zabrudnennia [Ecological classification of air quality by complex indices of its pollution]. *Heotekhnichna mekhanika [Geotechnical Mechanics]*, 137, 156–169 [in Ukrainian].

Ministry of Health of Ukraine. (2020). *Pro zatverdzhennia hihiienichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rechovyn v atmosfernomu povitri naselenykh mists* [On approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas] (Order No. 52, January 14). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text [in Ukrainian].

Sorokina, K.B. (2021). *Tekhnolohiia ochystky pryrodnykh vod: konspekt lektsii* [Natural water treatment technology: lecture notes]. Kharkiv: KhNUMG im. O. M. Beketova [in Ukrainian].

Allen, S.A.A., Ree, A.G., Ayodeji, S.A.M. et al. (2019). Secondary inorganic aerosols: impacts on the global climate system and human health. *Biodiversity International Journal*, 3(6), 249–259. https://doi.org/10.15406/bij.2019.03.00152.

Amar Nath. (2025). Effects of Inorganic Compounds on the Environment and Their Control: A Review. *Asian Journal of Chemical Sciences*, 15(6), 77–92. https://doi.org/10.9734/ajocs/2025/v15i6407.

Bankole, I.A., Chinedum, G.U., & Ochuko, F.O. (2023). Environmental Impact of Pharmaceuticals: A Comprehensive Review. *Matrix Science Pharma*, 7(3), 85–94. https://doi.org/10.4103/mtsp.mtsp_15_23.

Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2019). Carbon footprint of the global pharmaceutical industry and relative impact of its major players. *Journal of Cleaner Production*, 214, 185–194. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.204.

Dat, N.Q., Ly, B.T., Nghiem, T.D. et al. (2024). Influence of Secondary Inorganic Aerosol on the Concentrations of PM2.5 and PM0.1 during Air Pollution Episodes in Hanoi, Vietnam. *Aerosol and Air Quality Research*, 24, 220446. https://doi.org/10.4209/aaqr.220446.

Grassano, N., Hernandez, G.H., Tuebke, A. et al. (2020). *The 2020 EU Industrial R&D Investment Scoreboard*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Matukhno, E., Belokon, K., Shatokha, V., & Baranova, T. (2019). Ecological aspects of sustainable development of metallurgical complex in Ukraine. *Procedia Environmental Science – Engineering and Management*, 4, 671–680.

Pak, A.V., Pak, A.O., Sychova, T.O. et al. (2025). Research of system water of jelly products from different manufacturers by thermodynamic methods. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriia: Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Chemistry, Chemical Technology and Ecology]*, 1(13), 54–61. https://doi.org/10.20998/2079-0821.2025.01.08.

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

АГРОНОМІЯ

УДК 633.15:631.559:551.5(477.51)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.15

УРОЖАЙНІСТЬ ТА АДАПТИВНІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ В УМОВАХ ЧЕРНІГІВСЬКОГО ПОЛІССЯ

Є. В. Адамчик[1], Е. А. Захарченко[2]

Чернігівське Полісся характеризується специфічними ґрунтово-кліматичними умовами, які істотно відрізняються від традиційних зон вирощування кукурудзи, тому підбір найбільш продуктивних гібридів у контексті зміни клімату є актуальним на цей час. Метою досліджень було оцінити рівень урожайності, стабільності й адаптивності сучасних гібридів кукурудзи різних груп стиглості за ФАО в умовах Чернігівського Полісся, а також встановити особливості їх реакції на зміну гідротермічних умов років вирощування. Дослідження проводили на основі експериментальних даних урожайності зерна середньоранніх і середньостиглих гібридів кукурудзи різних компаній у 2024 та 2025 рр. Встановлено, що урожайність гібридів кукурудзи у 2025 році була вищою порівняно з 2024 роком, що пов'язано з більш сприятливими гідротермічними умовами вегетаційного періоду: у 2024 році – 7,49–9,95 т/га, у 2025 році – 9,69–11,44 т/га. Між урожайністю гібридів у 2024 і 2025 роках виявлено помірний позитивний кореляційний зв'язок, що свідчить про наявність генотипової стабільності продуктивності. Регресійний аналіз показав, що близько чверті варіації урожайності у 2025 році пояснюється рівнем урожайності у 2024 році. Досліджувані гібриди кукурудзи в умовах Чернігівського Полісся демонструють різний рівень стабільності й адаптивності залежно від групи стиглості за ФАО. Середньостиглі гібриди мають вищий потенціал реалізації урожайності за сприятливих умов, тоді як середньоранні гібриди характеризувалися більш стабільною урожайністю та меншою міжгібридною варіабельністю за різних умов року. Порівняльний аналіз показав, що опади в липні мають більш тісний зв'язок з урожайністю, ніж середня температура вегетаційного періоду, що підтверджує ключову роль водного фактора в умовах Чернігівського Полісся. Було встановлено більш стабільні гібриди: Р7818, KWS Oltenio, ДКС 3527; високопотенційні (інтенсивні): П8436, 31240, 357М, ДКС 4031 та чутливі до стресу: 30273, 31330. Найкраща реалізація потенціалу у 2025 році зумовлена рівномірнішим зволоженням та помірнішими температурами в критичні фази розвитку. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування вибору гібридів кукурудзи з урахуванням кліматичних ризиків та оптимізації структури посівів у регіоні.

Ключові слова: *кукурудза, гібриди, урожайність зерна, ФАО, стабільність, адаптивність, регресійний аналіз, Чернігівське Полісся, дерново-підзолисті ґрунти.*

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: elionapolis@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9291-3389
[2] аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: 99evgeniy19@gmail.com
ORCID: 0009-0008-5422-097X

YIELD AND ADAPTABILITY OF MAIZE HYBRIDS OF DIFFERENT MATURITY GROUPS UNDER THE CONDITIONS OF THE CHERNIHIV POLISSIA

Ye. V. Adamchyk, E. A. Zakharchenko

Chernihiv Polissya is characterized by specific soil and climatic conditions that differ significantly from traditional corn growing zones; therefore, the selection of the most productive hybrids in the context of climate change is currently relevant. The purpose of the research was to assess the yield, stability, and adaptability of modern corn hybrids across different maturity groups according to the FAO in the conditions of Chernihiv Polissya, and to establish the features of their response to changes in hydrothermal conditions during the growing season. It was found that the yield, stability, and adaptability of corn hybrids in the conditions of Chernihiv Polissya significantly depend on both genotypic characteristics and hydrothermal conditions during the growing season. In 2025, all the studied hybrids achieved higher grain yields than in 2024, due to a more favorable moisture regime and milder temperatures during the critical phases of crop development. The yield range in 2024 was 7.49–9.95 t/ha, while in 2025 it was 9.69–11.44 t/ha. A moderate positive correlation was found between the yield indicators of hybrids in 2024 and 2025, indicating genotypic stability in productivity. According to the regression analysis, about a quarter of the 2025 yield variation is explained by the previous year's yield, confirming the importance of hybrid genetic potential in crop development under changing environmental conditions. Cluster analysis, performed on yield indicators in 2024 and 2025 and on the increase in yield between years, enabled the typification of corn hybrids according to the nature of their productive response to year-specific conditions. Three clusters were identified: stable hybrids (P7818, SY Granaris, KWS Oltenio, DKC 3527), which were characterized by leveled yield and slight increase between years; moderately plastic hybrids (MAS.30M, LG 30273, LG 31272, LG 31330, LG 30315, LG 31305), which had an average level of yield and limited response to changing conditions; as well as high-potential (intensive) hybrids (P8436, MAS.23M, MAS.357M, LG 31240, DKC 4031), which were marked by the most significant increase in yield in the favorable year of 2025. A comparative analysis of weather factors showed that July precipitation has a stronger relationship with corn grain yield than the average growing-season temperature, underscoring the leading role of water in the agroclimatic conditions of Chernihiv Polissya. The results obtained indicate the feasibility of a differentiated approach to selecting corn hybrids, taking into account their stability and yield potential, which allows reducing climatic risks and optimising the crop structure in the region.

Key words: *maize, hybrids, grain yield, FAO, stability, adaptability, regression analysis, Chernihiv Polissia, podzolized soils.*

Вступ

Кукурудза є однією з провідних зернових культур світового та вітчизняного землеробства, що характеризується високим потенціалом урожайності, універсальністю та значною чутливістю до умов вирощування (Андрієнко та ін., 2020). В Україні кукурудза відіграє ключову роль у формуванні зернового балансу, а площі її посівів останніми роками зростають, зокрема, в північних регіонах, включно із зоною Полісся.

За офіційними джерелами, у 2024 році площа посіву зернової кукурудзи в Чернігівській області становила приблизно 423 тис. га. Площі під кукурудзою в області залишаються нижчими, ніж до повномасштабного вторгнення 2022 року, коли в Україні площі кукурудзи перевищували 5 млн га, проте за умов війни Чернігівщина зберігає значний ресурс посівних площ і важливу роль у структурі зернового виробництва. 412,3 тис. га у 2025 році (Барановський і Глушко, 2023; Гусарова, 2025). На заході країни, у Львівській області, також змінюються площі під культурами і збільшуються площі під кукурудзою, хоча часом несприятливі мінливі погодні умови знижують урожайність зерна, тому рекомендується аграріям звернути особливу увагу на ранньостиглі та середньоранні гібриди (Волощук та ін., 2021).

Науковими дослідженнями встановлено, що рівень урожайності кукурудзи значною мірою визначається реакцією гібрида на гідротермічні умови в критичні фази розвитку – період викидання волоті, цвітіння та наливу зерна (Волощук та ін., 2021; Харченко та ін., 2021). Відомо, що гібриди різних груп стиглості за ФАО істотно відрізняються за тривалістю вегетаційного періоду, темпами росту та здатністю компенсувати негативний вплив абіотичних стресів (Datsko et al., 2024; Zakharchenko et al., 2024). За даними вітчизняних авторів, у зоні Полісся найбільш стабільними є ранньо- та середньостиглі гібриди, які ефективніше використо-

вують весняні запаси ґрунтової вологи та меншою мірою зазнають впливу літніх посух і високих температур (Овезмирадова та ін., 2021; Трембіцька та ін., 2025). Водночас за сприятливих метеорологічних умов гібриди з вищими значеннями ФАО здатні формувати підвищену врожайність, однак характеризуються меншою стабільністю за роками. Учені зазначають важливість оцінювання адаптивності гібридів до стресових умов навколишнього середовища протягом вегетаційного періоду (Лавриненко та ін., 2019; Katsenios et al., 2021).

У контексті сучасних кліматичних змін, що проявляються у зростанні частоти екстремальних погодних явищ, метою наших досліджень було оцінити урожайність та адаптивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості за ФАО в умовах Чернігівського Полісся, а також визначити гібриди, здатні формувати стабільно високий рівень урожайності за контрастних агрометеорологічних умов років вирощування. Чернігівське Полісся характеризується специфічними ґрунтово-кліматичними умовами, які істотно відрізняються від традиційних зон вирощування кукурудзи. Переважання дерново-підзолистих ґрунтів легкого гранулометричного складу, підвищена кислотність, нерівномірний розподіл атмосферних опадів та значна міжрічна мінливість температурного режиму обмежують стабільну реалізацію продуктивного потенціалу культури (Балюк і Трускавецький, 2018). У таких умовах особливої актуальності набуває добір гібридів із високою адаптивністю й екологічною пластичністю. Саме забезпечення водою рослини є найбільш мінливим фактором зараз разом із температурою повітря та ґрунту, що впливає на розвиток рослини, а отже, на продуктивність (Salvo et al., 2021; Shahini et al., 2023).

Матеріал і методи

Дослідження проводили у 2024–2025 роках в умовах Чернігівського Полісся на дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу (землі ТОВ «ДП «Зернятко» Корюківського району Чернігівської області, с. Покровське). Об'єктом досліджень були гібриди кукурудзи різних селекційних кампаній, що належать до ранньо-, середньо- та середньопізніх груп стиглості (ФАО 220–330) (табл. 1).

Норма висіву насіння кукурудзи в досліді 70 тис., попередник – соняшник, після збирання якого було проведено осінній обробіток ґрунту такими знаряддями: рублячими котками, потім дискування на 12–15 см і рихлення на 30 см. Навесні здійснювалося закриття вологи лущильниками, у передпосівну культивацію було внесено карбамід 200 кг ф. в. Строки посіву у 2024 році – 24 квітня, у 2025 р. – 5 травня. Під час посіву внесено комплексне добриво 7 : 20 : 28 110 кг фізичної ваги. Протягом вегетації був внесений гербіцид у фазі 3–5 листків, інсектицид у другу декаду червня. Також було здійснено підживлення КАС 60 кг/га.

Таблиця 1

Перелік досліджуваних гібридів

Компанія	**Гібрид**	**ФАО**
Pioneer	P7818	240
	P8436	260
Syngenta	SY Granaris	300
MAS	MAS.23M	260
	MAS.30M	310
	MAS.357M	330
KWS	KWS Oltenio	330
Limagrain	LG 31240	220
	LG 30273	280
	LG 31272	270
	LG 31330	320
	LG 30315	280
	LG 31305	290
Bayer	DKC 3527	250
	DKC 4031	310

Оцінку урожайності здійснювали за загальноприйнятими методиками польових дослідів. Агрометеорологічні умови аналізували за показниками середньомісячних температур повітря та кількості опадів упродовж вегетаційного періоду. Площа однієї ділянки гібриду 0,18 га, розміщення варіантів систематичне. Урожай збирався механізованим способом. Статистичну обробку отриманих даних проводили з метою оцінки стабільності урожайності гібридів кукурудзи та виявлення закономірностей їх реакцій на зміну гідротермічних умов років вирощування. Первинні дані урожайності гібридів за 2024 і 2025 роки підлягали перевірці на логічну узгодженість і описовому аналізу з визначенням середніх значень, мінімуму, максимуму та варіації показників. Для оцінки взаємозв'язку між урожайністю гібридів у різні роки застосовували кореляційний аналіз за Пірсоном. Коефіцієнт кореляції (r) використовували як показник стабільності продуктивності генотипів за контрастних погодних умов. Статистичну значущість кореляційних зв'язків оцінювали за рівня значущості $p < 0,05$. Лінійний

регресійний аналіз використовували для кількісної оцінки залежності урожайності гібридів у 2025 році від рівня їх продуктивності у 2024 році. Регресійну модуль описували рівнянням $Y_{2025} = a + b \cdot Y_{2024}$, де a – вільний член рівняння, b – коефіцієнт регресії, що характеризує ступінь стабільності й екологічної пластичності гібридів, відповідно Y_{2024}, Y_{2025} є значеннями урожайності зерна гібридів. Якість моделі оцінювали за коефіцієнтом детермінації (R^2), який відображає частку варіації урожайності у 2025 році, пояснену рівнем урожайності у 2024 році. Для візуалізації результатів регресійного аналізу побудовано діаграми розсіювання (scatter plot) з нанесенням лінії лінійної регресії та 95%-го довірчого інтервалу, що відображає надійність оцінки параметрів моделі. Розміщення окремих точок відносно лінії регресії використовували для якісної оцінки рівня стабільності й адаптивної реакції окремих гібридів. Оцінку адаптивності гібридів також здійснювали шляхом аналізу приросту урожайності між роками вирощування, який розраховували як різницю між урожайністю у 2025 та 2024 роках, за величиною приросту гібриди умовно поділяли на стабільні та пластичні, що дало змогу охарактеризувати їх здатність реагувати на покращення гідротермічних умов.

Ієрархічний кластерний аналіз було застосовано для групування гібридів кукурудзи за подібністю реакції продуктивності на умови років вирощування. Вхідними змінними були урожайність зерна у 2024 та 2025 роках і величина її зміни між роками. Стандартизацію даних виконували з використанням Z-перетворення. Обчислення матриці відстаней здійснювали за евклідовою метрикою, а агломерацію кластерів – методом Варда. Оптимальну кількість кластерів визначали на основі структури дендрограми й агрономічної інтерпретації результатів. Статистичну обробку даних проводили з використанням Microsoft Excel та мови програмування Python (бібліотеки SciPy, NumPy, Matplotlib).

Результати та їх обговорення

Метеоумови 2024–2025 років зазначено на рис . 1 та 2. Треба відмітити, що температурний режим у вегетаційний сезон 2024 року з червня по вересень істотно перевищував середньобагаторічний показник. Але у травні як 2024, так і 2025 року погода була холодніше за середню і відмічалися приморозки на ґрунті, особливо у 2025 році, що відтягувало появу сходів. Високі денні температури в липні – серпні за недостатнього зволоження спричинили тепловий і водний стрес у фазах цвітіння та наливу зерна. У 2025 році нижчі середньомісячні температури влітку (на 2–3 ^{0}C) зменшили інтенсивність стресу, у липні – серпні показники близькі до середньобагаторічних.

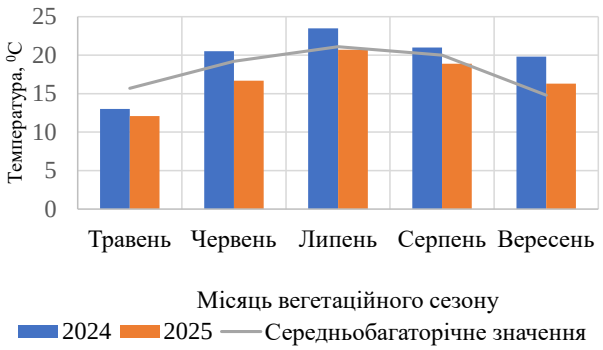


Рис. 1. Температура повітря протягом вегетаційних сезонів 2024–2025 рр.

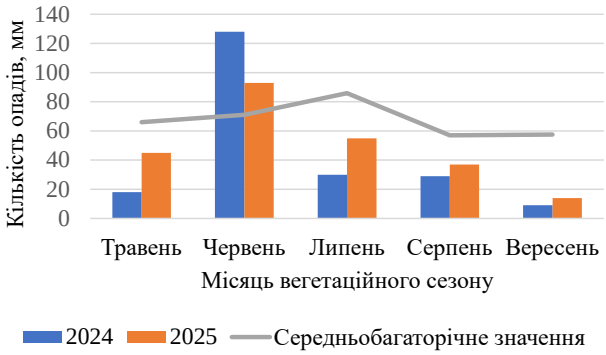


Рис. 2. Розподіл опадів протягом вегетаційних сезонів 2024–2025 рр.

Стосовно опадів можна відзначити, що розподіл був украй нерівномірним, особливо у 2024 році. Надлишок опадів спостерігався в червні (128 мм) на тлі дефіциту вологи у травні (18 мм), липні – вересні (30–9 мм). За 5 місяців випало 214 мм. У 2025 році встановлений більш-менш рівномірний розподіл опадів, у травні – липні опади забезпечили оптимальні умови в критичні фази розвитку. Тому можна сказати, що 2024 рік був стресовий, особливо для середньо- та пізньостиглих гібридів, а 2025 рік був сприятливішим для реалізації генетичного потенціалу гібридів. На рис. 3 представлено урожайність зерна гібридів у 2024 та 2025 роках, який показав істотну диференціацію їх продуктивної реакції на умови року. У 2024 році, що характеризувався менш сприятливим гідротермічним режи-

мом, рівень урожайності гібридів варіював у ширших межах, тоді як у 2025 році за умов рівномірнішого зволоження спостерігалося загальне зростання врожайності та вирівнювання показників між гібридами.

Окремі гібриди формували відносно стабільний рівень урожайності незалежно від умов року, що свідчить про їх вирівняну адаптивну реакцію. Водночас частина гібридів демонструвала значно вищий приріст урожайності у сприятливому 2025 році, що вказує на високий потенціал реалізації продуктивності за оптимальних умов вирощування. Гібриди із середніми значеннями урожайності та помірною реакцією на зміну умов року займали проміжне положення між зазначеними групами.

У межах досліджуваних груп стиглості встановлено, що середньостиглі гібриди (FAO 300–399) характеризувалися вищим потенціалом формування урожайності за сприятливих умов, тоді як середньоранні гібриди (FAO 200–299) забезпечували більш вирівняну продуктивність і меншу варіабельність урожаю за контрастних погодних умов років вирощування, що пересікається з результатами досліджень (Mokrienko & Kornienko, 2024).

Узагальнення результатів за селекційними компаніями показало, що гібриди компанії MAS загалом характеризувалися підвищеною реакцією на покращення гідротермічних умов, тоді як гібриди компаній KWS та DEKALB відзначалися більш вирівняною продуктивністю між роками, що у своїх дослідженнях також доводять закордонні вчені (Ștefan et al., 2024; Haraga & Ion, 2022). Така диференціація підтверджує доцільність використання у виробництві гібридів різних типів адаптивності залежно від агрофону та рівня кліматичних ризиків. Гібриди компанії Pioneer загалом поєднували високий потенціал урожайності з різним рівнем стабільності між роками, що свідчить про їх доцільність як для інтенсивних технологій, так і для використання з метою зниження кліматичних ризиків, що підтверджують дослідження вінницьких учених (Amons, 2023). Гібриди DKC 3527 і DKC 4031 в умовах Чернігівського Полісся характеризувалися високим потенціалом урожайності, при цьому DKC 3527 відзначався більш стабільною продуктивністю між роками, а DKC 4031 – вищою чутливістю до покращення гідротермічних умов і доцільністю використання за інтенсивної технології

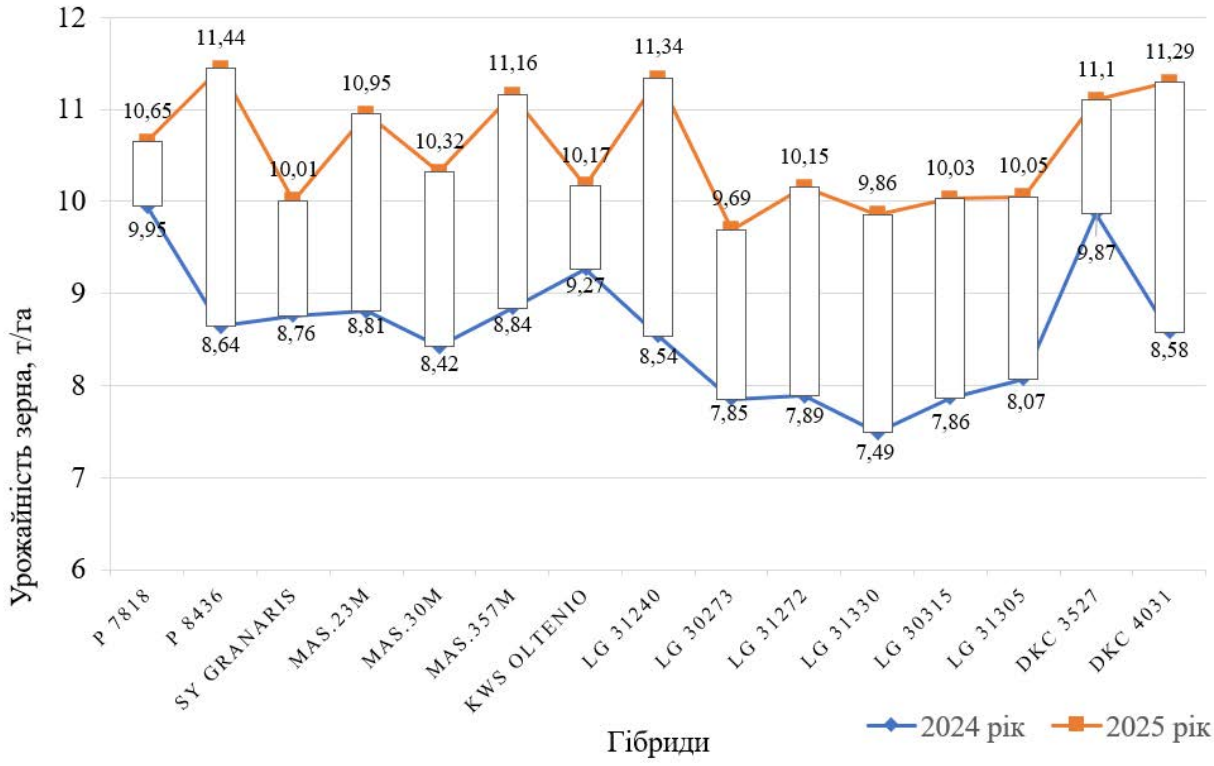


Рис. 3. Урожайність досліджуваних гібридів у 2024–2025 рр.

вирощування. На Житомирщині науковці також зазначають про різну віддачу потенціалу гібридів у 2023–2024 рр., Трембицька та ін. (2025) відзначають гібрид DKC 3730 з нормою 70 тис. га як найбільш продуктивний і підкреслюють, що загущення посіву приводить до зниження урожайності та якості зерна.

Для оцінки стабільності продуктивності гібридів кукурудзи та їх реакції на зміну гідротермічних умов проведено аналіз залежності урожайності у 2025 році від рівня урожайності у 2024 році. На основі отриманих даних побудовано діаграму розсіювання (scatter plot), де по осі абсцис відкладено урожайність гібридів у 2024 році, а по осі ординат – урожайність у 2025 році (рис. 4). На діаграмі суцільною лінією представлено лінію регресії, а затіненою зоною – довірчий інтервал 95 %, що відображає надійність оцінки регресійної залежності.

Результати регресійного аналізу свідчать про наявність помірного позитивного зв'язку між урожайністю гібридів у 2024 і 2025 роках ($r \approx 0{,}50$). Коефіцієнт детермінації ($R^2 \approx 0{,}25$) вказує на те, що близько чверті варіації урожайності у 2025 році зумовлено рівнем продуктивності гібридів у 2024 році ($y = 0{,}4295x + 6{,}8579$). Це підтверджує наявність генотипової складової стабільності урожайності, незважаючи на істотні відмінності погодних умов між роками. Аналіз розміщення точок відносно лінії регресії показав, що частина гібридів характеризувалася вищою за очікувану урожайністю у 2025 році, тобто розташовувалася вище за регресійну лінію. Такі гібриди відзначалися підвищеною екологічною пластичністю та здатністю ефективно реалізовувати продуктивний потенціал за сприятливіших гідротермічних умов. Водночас гібриди, точки яких розташовані поблизу або нижче лінії регресії, демонстрували більш стабільний, але менш інтенсивний тип реагування на покращення умов року.

Ширина довірчого інтервалу 95 % свідчить про помірну міжгібридну мінливість реакції на зміну умов вирощування, що

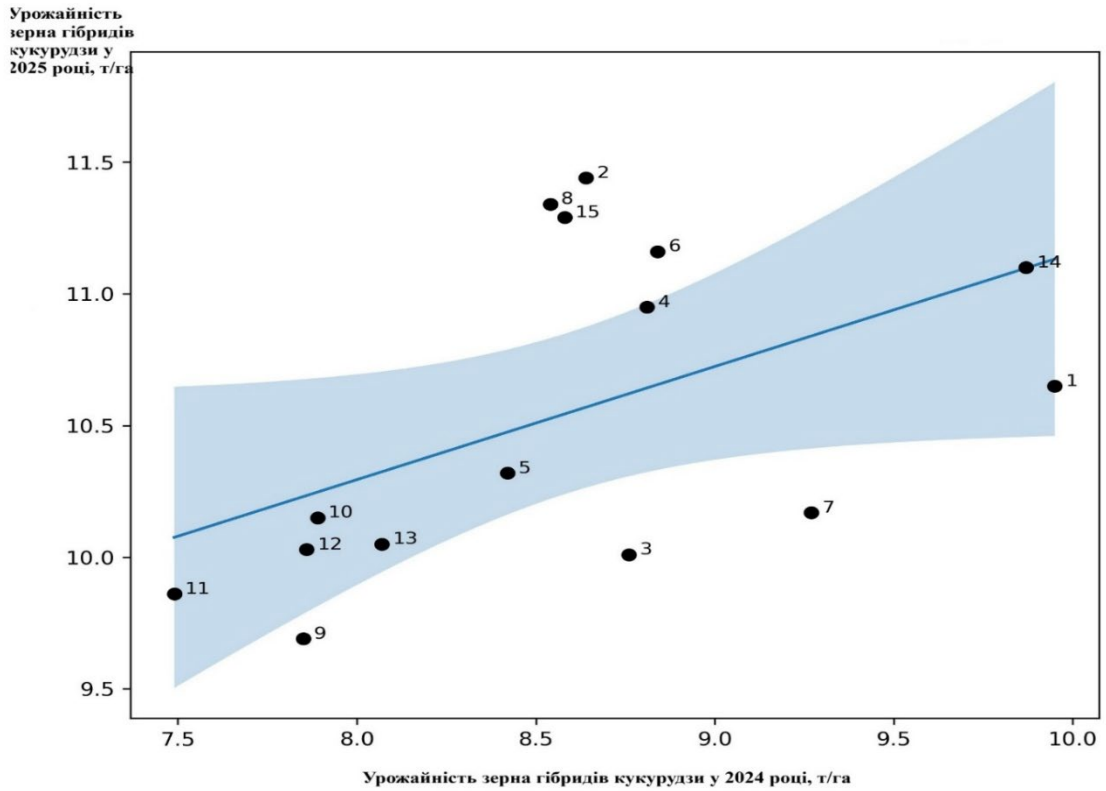


Рис. 4. Залежність урожайності гібридів кукурудзи у 2025 році від рівня їх продуктивності у 2024 році

Примітка: цифрами позначено гібриди: 1 – P7818, 2 – P8436, 3 – SY Granaris, 4 – MAS.23M, 5 – MAS.30M, 6 – MAS.357M, 7 – KWS Oltenio, 8 – LG 31240, 9 – LG 30273, 10 – LG 31272, 11 – LG 31330, 12 – LG 30315, 13 – LG 31305, 14 – DKC 3527, 15 – DKC 4031.

є типовим для кукурудзи в зоні Полісся. Загалом результати графічного та регресійного аналізу підтверджують, що у 2025 році за умов зниженого температурного навантаження та кращого вологозабезпечення в критичний період вегетації більшість гібридів сформували вищу урожайність порівняно з 2024роком, однак ступінь цього приросту істотно залежав від біологічних особливостей генотипів.

Також було проведено кореляційний аналіз між урожайністю та середньомісячною температурою липня. Так, у 2024 році встановлено помірний кореляційний зв'язок між урожайністю та середньомісячною температурою липня ($r < 0$), що свідчить про негативний вплив підвищених температур у період цвітіння та запилення кукурудзи. Водночас між урожайністю та кількістю опадів у липні виявлено позитивну кореляцію середньої сили ($r > 0$), що підтверджує визначальну роль вологозабезпечення в цей період для формування врожаю. У 2025 році кореляційні зв'язки були менш контрастними, що пояснюється більш рівномірним розподілом опадів і помірнішим температурним режимом упродовж вегетації.

Ієрархічний кластерний аналіз, проведений за показниками урожайності гібридів кукурудзи у 2024 та 2025 роках і приросту урожайності між роками, дав можливість виділити три чітко диференційовані кластери (рис. 5). Перший кластер (стабільні гібриди високі або середні врожаї, невеликий урожай) об'єднував гібриди зі стабільною продуктивністю та відносно невеликим приростом урожайності, що свідчить про їх вирівняну реакцію на умови року: P 7818, SY Granaris, KWS Oltenio, DKC 3527. Гібриди цього кластера формували відносно високий та вирівняний рівень урожайності в обох роках, демонструючи стабільну продуктивність за різних гідротермічних умов. Другий кластер включав гібриди із середнім рівнем урожайності та помірною адаптивною реакцією: MAS.30M, LG 30273, LG 31272, LG 31330, LG 30315, LG 31305.

Третій кластер формували високопотенційні гібриди, які характеризувалися найбільшим приростом урожайності у 2025 році та високою чутливістю до покращення гідротермічних умов: P 8436, MAS.23M, MAS.357M, LG 31240, DKC 4031.

Отримані результати свідчать про доцільність використання адаптивних гібридів кукурудзи, здатних зберігати продуктивність за підвищених температур і дефіциту вологи в критичні фази розвитку, про що говорять вчені різних регіонів планети не одне десятиліття (Cooper et al., 2014; Poudel, 2024; Hamoda & Dabbour, 2025).

Висновки

В умовах Чернігівського Полісся продуктивність кукурудзи значною мірою визначається поєднанням генетичного потенціалу гібридів і водозабезпечення в критичні фази розвитку, насамперед у літній період. За більш сприятливих гідротермічних умов

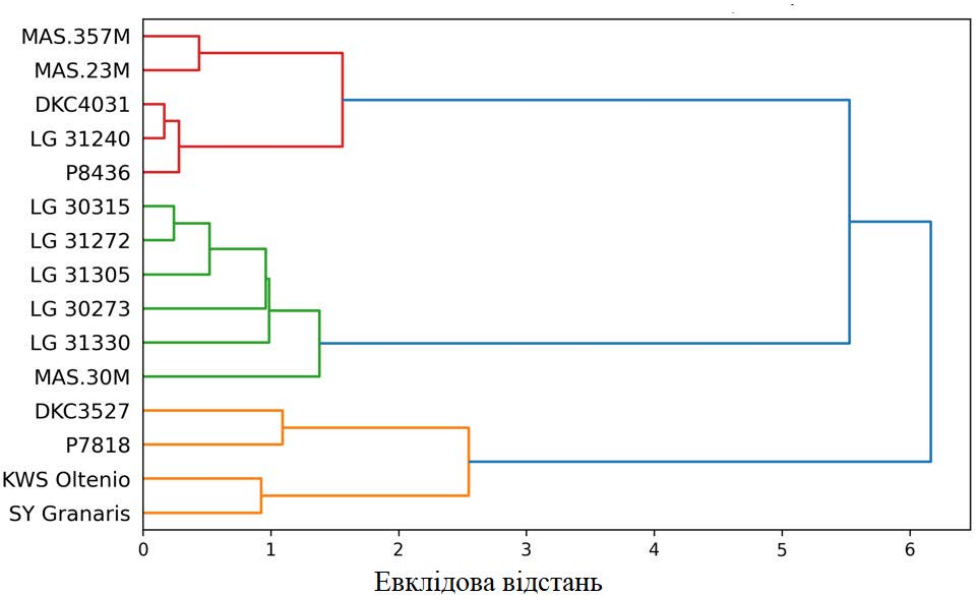


Рис. 5. Ієрархічний кластерний аналіз

2025 року всі досліджувані гібриди реалізували вищий рівень урожайності, що підтверджує доцільність орієнтації технологій вирощування на максимальне збереження ґрунтової вологи та оптимізацію строків сівби для уникнення водного стресу в період цвітіння й наливу зерна.

Аналіз погодних умов засвідчив, що кількість опадів у липні має більш виражений зв'язок з урожайністю зерна кукурудзи порівняно із середньою температурою вегетаційного періоду. Це вказує на важливу роль водозабезпечення в період репродуктивного розвитку культури в агрокліматичних умовах Чернігівського Полісся.

На основі регресійного та кластерного аналізів для умов господарства доцільно диференціювати підхід до добору гібридів. Стабільні гібриди (P7818, SY Granaris, KWS Oltenio, DKC 3527) рекомендовано використовувати як базові у структурі посівів, оскільки вони забезпечують вирівняну урожайність за різних погодних сценаріїв і знижують ризики недобору врожаю в посушливі або контрастні за умовами роки. Такі гібриди доцільно висівати на полях із легшими ґрунтами або з підвищеним ризиком нестачі вологи.

Високопотенційні (інтенсивні) гібриди (P8436, MAS.23M, MAS.357M, LG 31240, DKC 4031) рекомендовано використовувати на кращих агрофонах – за достатнього рівня мінерального живлення, оптимальних строків сівби та за можливості збереження вологи. Саме ці гібриди забезпечують максимальну віддачу у роки з рівномірним зволоженням і можуть суттєво підвищувати валове виробництво зерна. Помірно пластичні гібриди (MAS.30M, LG 30273, LG 31272, LG 31330, LG 30315, LG 31305) доцільно використовувати як доповнення в структурі посівів або на полях із середнім агрофоном. Загалом для господарства рекомендовано формувати структуру посівів кукурудзи за принципом поєднання стабільних та інтенсивних гібридів, що дозволить підвищити середню урожайність, зменшити вплив кліматичних ризиків та забезпечити більш прогнозований економічний результат.

Список використаної літератури

Андрієнко О.О., Васильковська К.В., Андрієнко А.Л. Реакція гібридів кукурудзи на зміну густоти стояння рослин у Північному Степу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету.* 2020. Вип. 96 (7). С. 635–651. http://dx.doi.org/10.31395/2415-8240-2020-96-1-635-651.

Балюк С.А., Трускавецький Р.С. Ґрунтовий покрив Полісся України. *Агрохімія і ґрунтознавство.* 2018. № 87. С. 5–14.

Барановський М., Глушко Д. Територіальні трансформації в сільському господарстві Чернігівської області в умовах кліматичних змін: кейс кукурудзи та соняшнику. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2023. Вип. 58. С. 134–142. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-11.

Волощук О.П., Стасів О.Ф., Глива В.В., Пащак М.О. Вплив передпосівної обробки насіння мікродобривами на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах Західного Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2021. Вип. 69 (1). https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-3.

Гусарова А. За крок до завершення посівної 2025: аграрії засіяли 99 % від запланованих площ. 13 червня 2025 р. SuperAgronom.com [Електронний ресурс]. URL: https://bit.ly/3YHU3eS (дата звернення 10.11.2025).

Лавриненко Ю.О., Іванів М.О. Продуктивність та адаптивна здатність гібридів кукурудзи залежно від способів поливу і вологозабезпеченості у посушливому Степу України. *Зернові культури.* 2019. Том 3. № 2. С. 207–216. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0079.

Овезмирадова О.Б., Карась І.Ф., Купчинський А.П., Голійчук К.Ю. Продуктивність зернових та силосних гібридів кукурудзи в умовах Полісся. *Наукові горизонти.* 2019. № 12 (85). С. 48–52. https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-85-12-48-52.

Трембіцька О.І., Білоцерківська Л.В., Рафальський Вол. В., Рафальський Вад. В. Оптимізація норми висіву для підвищення продуктивності гібридів кукурудзи в зоні Полісся. *Аграрні інновації.* 2025. Вип. 32. С. 228–232. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.32.

Харченко О.В., Петренко С.В., Собко М.Г., Медвідь С.І., Захарченко Е.А. Ефективність використання елементів живлення сучасними гібридами кукурудзи в посушливих умовах Лісостепу. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвід. тем. наук. збірник.* 2021. Вип. 91. С. 49–58. https://doi.org/10.31073/acss91-06.

Amons S. Productivity of corn hybrids depends on growing technological methods. *Agriculture and forestry.* 2023. Vol. 28. P. 25–45. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-3.

Cooper M., Gho C., Leafgren R., Tang T., Messina C. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. *J Exp Bot.* 2014. Vol. 65 (21). P. 6191–6204. https://doi.org/0.1093/jxb/eru064. PMID: 24596174.

Datsko O., Zakharchenko E. Influence of biofertilizers and soil cultivation systems on corn grain quality and their correlation. Science, technology and innovation in the context of global transformation : Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2024. P. 24–40. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-2.

Hamoda A., Dabbour M. Optimizing corn productivity: Hybrid and intra-row spacing effects on growth, yield, and nutritional quality. *Sci Rep.* 2025. Vol. 15. 32601. https://doi.org/10.1038/s41598-025-19439-z.

Haraga L.-C., Ion V. The evolution of the type and maturity group of maize hybrids registered in Romania over time. *Scientific Papers. Series A. Agronomy.* 2022. Vol. LXV. No. 2. P. 381–388.

Katsenios N., Sparangis P., Chanioti S., Giannoglou M., Leonidakis D., Christopoulos M.V., Katsaros G., Efthimiadou A. Genotype × Environment Interaction of Yield and Grain Quality Traits of Maize Hybrids in Greece. *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (2). P. 357. https://doi.org/10.3390/agronomy11020357.

Mokrienko V., Kornienko T. Formation of productivity of maize hybrids of different ripening groups in the Forest-Steppe region. *Plant and Soil Science.* 2024. Vol. 15 (1). P. 52–62. https://doi.org/10.31548/plant1.2024.52.

Poudel R. Effects of drought stress on growth and yield parameters of Zea mays- a comprehensive review. *Agribusiness Management in Developing Nations (AMDN). 2023.* Vol. 1 (2). P. 72–75. http://doi.org/10.26480/amdn.02.2023.72.75.

Salvo D.J.I., Lee C., Salmerón M. Regional multi-environment analysis of corn productivity and yield stability as impacted by hybrid maturity. *Field Crops Research.* 2021. Vol. 262. 108025. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108025.

Shahini E., Shehu D., Kovalenko O., Nikonchuk N. Comparative analysis of the main economic and biological parameters of maize hybrids that determine their productivity. *Scientific Horizons.* 2023. Vol. 26 (4). P. 86–96. https://doi.org/10.48077/scihor4.2023.86

Ștefan I.O., Păunescu G., Păunescu R.A., Olaru A.L. Studies on the choice of the hybrid, an important link in the technological management of the corn crop and its economic efficiency, according to the tests carried out on the chernozem soil from Caracal, Olt county, Romania. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development.* 2024. Vol. 24 (3). [Електронний ресурс]. URL: https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.24_3/Art90.pdf (дата звернення 23.12.2025).

Zakharchenko E., Sobko M., Kolisnyk O., Medvid S., Aralova T., Mostovenko V., Badzym R., Zubko S., Artemenko D., Mikitchenko S. Weed infestation of corn in organic crop rotation in the North-Eastern Forest steppe of Ukraine. *Modern Phytomorphology*. 2024. Vol. 18. P. 204–209. https://doi.org/10.5281/zenodo.14590739.

References

Andriienko, O.O., Vasylkovska, K.V., & Andriienko, A.L. (2020). Reaktsiia hibrydiv kukurudzy na zminu hustoty stoiannia roslyn u Pivnichnomu Stepu Ukrainy [Reaction of maize hybrids to the changes in crop density in the northern Steppe of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu [Collected Works of Uman National University],* 96 (7), 635–651. http://dx.doi.org/10.31395/2415-8240-2020-96-1-635-651 [in Ukrainian].

Baliuk, S.A., & Truskavetskyi, R.S. (2018). Gruntovyi pokryv Polissia Ukrainy [Soil cover of Polissya, Ukraine]. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo [Agrochemistry and soil science]*, 87, 5–14 [in Ukrainian].

Baranovskyi, M., & Hlushko, D. (2023). Terytorialni transformatsii v silskomu hospodarstvi Chernihivskoi oblasti v umovakh klimatychnykh zmin: keis kukurudzy ta soniashnyku [Territorial transformations in agriculture of Chernihiv region in the context of climate change: the case of corn and sunflower]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriia "Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia" [Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"],* 58, 134–142. https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-11 [in Ukrainian].

Voloshchuk, O., Stasiv, O., Hlyva, V., & Paschak, M. (2021). Vplyv peredposivnoi obrobky nasinnia mikrodobryvamy na produktyvnist hibrydiv kukurudzy v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Influence of pre-sowing treatment of microfertilizer seeds on the productivity of corn hybrids in the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and mountain agriculture and stockbreeding],* 69 (1). https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-3 [in Ukrainian].

Husarova, A. (2025). Za krok do zavershennya posivnoyi 2025: ahrariyi zasiyaly 99% vid zaplanovanykh ploshch [One step closer to completing the 2025 sowing season: farmers have sown 99% of the planned areas]. 13 chervnya 2025 r. SuperAgronom.com. [Electronic resource] URL: https://bit.ly/3YHU3eS (access date 10.11.2025) [in Ukrainian].

Lavrynenko, Iu.O., & Ivaniv, M.O. (2019). Produktyvnist ta adaptyvna zdatnist hibrydiv kukurudzy zalezhno vid sposobiv polyvu i volohozabezpechenosti u posushlyvomu Stepu Ukrainy [Productivity and adaptive abilities of corn hybrids under different irrigation modes and

moisture supply in the Arid Steppe of Ukraine]. *Zernovi kultury [Grain Crops],* 3 (2), 207–216. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0079 [in Ukrainian].

Ovezmuradova, O., Karas, I., Kupchunskiy, A., & Goliychuk, K. (2019). Produktyvnist zernovykh ta sylosnykh hibrydiv kukurudzy v umovakh Polissya [Productivity of corn and silage hybrids of maize in the conditions of Polissya]. *Naukovi horyzonty* [*Scientific horizons]*, 12 (85), 48–52. https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-85-12-48-52 [in Ukrainian].

Trembitska, O.I., Bilotserkivska, L.V., Rafalskiy, Vol.V., Rafalskiy, & Vad, V. (2025). Optymizatsiya normy vysivu dlya pidvyshchennya produktyvnosti hibry-div kukurudzy v zoni Polissya [Optimization of sowing rates to increase the productivity of corn hybrids in the Polissya region]. *Ahrarni innovatsiyi [Agrarian innovations]*, 32, 228–232. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.32 [in Ukrainian].

Kharchenko, O.V., Petrenko, S.V., Sobko, M.G., Medvid, S.I., & Zakharchenko, E.A. (2021). Efektyvnist vykorystannya elementiv zhyvlennya suchasnymy hibrydamy kukurudzy v posushlyvykh umovakh Lisostepu [Nutrients use efficiency by modern hybrids of maize under arid conditions of the Forest-Steppe]. *Ahrokhimiya i hruntoznavstvo [Agrochemistry and soil science],* 91, 49–58. https://doi.org/10.31073/acss91-06 [in Ukrainian].

Amons, S. (2023). Productivity of corn hybrids depends on growing technological methods. *Silske hospodarstvo ta lisnytstvo* [*Agriculture and forestry],* 28, 25–45. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-3 [in English].

Cooper, M., Gho, C., Leafgren, R., Tang, T., & Messina, C. (2014). Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. *J Exp Bot.,* 65 (21), 6191-6204. https://doi.org/0.1093/jxb/eru064 [in English].

Datsko, O., & Zakharchenko, E. (2024). Influence of biofertilizers and soil cultivation systems on corn grain quality and their correlation. *Science, technology and innovation in the context of global transformation: Scientific monograph.* Riga, Latvia: Baltija Publishing, pp. 24–40. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-499-3-2 [in English].

Hamoda, A., & Dabbour, M. (2025). Optimizing corn productivity: Hybrid and intra-row spacing effects on growth, yield, and nutritional quality. *Sci Rep.,* 15, 32601. https://doi.org/10.1038/s41598-025-19439-z [in English].

Haraga, L.-C., & Ion, V. (2022). The evolution of the type and maturity group of maize hybrids registered in Romania over time. *Scientific Papers. Series A. Agronomy,* LXV (2), 381–388 [in English].

Katsenios, N., Sparangis, P., Chanioti, S., Giannoglou, M., Leonidakis, D., Christopoulos, M.V., Katsaros, G., & Efthimiadou, A. (2021). Genotype × Environment Interaction of Yield and Grain Quality Traits of Maize Hybrids in Greece. *Agronomy,* 11 (2), 357. https://doi.org/10.3390/agronomy11020357 [in English].

Mokrienko, V., & Kornienko, T. (2024). Formation of productivity of maize hybrids of different ripening groups in the Forest-Steppe region. *Plant and Soil Science*, 15 (1), 52–62. https://doi.org/10.31548/plant1.2024.52 [in English].

Poudel, R. (2023). Effects of drought stress on growth and yield parameters of Zea mays- a comprehensive review. *Agribusiness management in developing nations (AMDN),* 1 (2), 72–75. http://doi.org/10.26480/amdn.02.2023.72.75 [in English].

Salvo, D.J.I., Lee, C., & Salmerón, M. (2021). Regional multi-environment analysis of corn productivity and yield stability as impacted by hybrid maturity. *Field Crops Research,* 262, 108025. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108025 [in English].

Shahini, E., Shehu, D., Kovalenko, O., & Nikonchuk, N. (2023). Comparative analysis of the main economic and biological parameters of maize hybrids that determine their productivity. *Scientific Horizons,* 26 (4), 86–96. https://doi.org/10.48077/scihor4.2023.86 [in English].

Ștefan, I.O., Păunescu, G., Păunescu, R.A., & Olaru, A.L. (2024). Studies on the choice of the hybrid, an important link in the technological management of the corn crop and its economic efficiency, according to the tests carried out on the chernozem soil from Caracal, Olt county, Romania. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 24 (3). [Electronic resource] URL: https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.24_3/Art90.pdf (access date 23.12.2025) [in English].

Zakharchenko, E., Sobko, M., Kolisnyk, O., Medvid, S., Aralova, T., Mostovenko, V., Badzym, R., Zubko, S., Artemenko, D., & Mikitchenko, S. (2024). Weed infestation of corn in organic crop rotation in the North-Eastern Forest steppe of Ukraine. *Modern Phytomorphology,* 18, 204–209. https://doi.org/10.5281/zenodo.200121 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 29.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.64:631.541:631.559
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.16

СИНЕРГЕТИЧНИЙ ВПЛИВ ЕФЕКТИВНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ ТА ПІДЩЕПИ BEAUFORT НА РЕГЕНЕРАЦІЮ І ФІЗІОЛОГІЧНИЙ СТАН ЩЕПЛЕНИХ РОСЛИН ТОМАТА

М. М. Ковальов[1], О. О. Шевченко[2], І. М. Соколовська[3]

У статті досліджується потенціал інтеграції ЕМ-технологій у промислове овочівництво гібридних томатів. Метою досліджень було оцінити ефективність застосування ЕМ-препаратів (ефективних мікроорганізмів) у технології вирощування щеплених рослин томата та визначити їхній вплив на приживлюваність щепи на підщепі Beaufort Tm Cn VF¹Fr. Додатковими завданнями дослідження є встановлення оптимальних параметрів підготовки компонентів щеплення, з'ясування взаємозв'язку між концентрацією та способом внесення ЕМ-препаратів і показниками фізіологічного стану рослин після щеплення, а також визначення потенціалу інтеграції ЕМ-технологій у промислове розсадництво гібридних томатів. Польові досліди проводили протягом 2019–2021 років на базі Центральноукраїнського національного технічного університету відповідно до «Методики польового досліду в овочівництві і баштанництві». У роботі використано щеплені рослини томата гібрида Пінк Делайт F_1 на підщепі Beaufort Tm Cn VF¹Fr. Дослідження передбачало три варіанти обробки: контроль без застосування ЕМ-технології, ЕМ5 + ЕМ Агро у стандартній концентрації (1 : 100) та підвищеній концентрації (1 : 50). ЕМ-препарати вносили шляхом замочування підщепи та прищепи перед щепленням (10–15 хв) з подальшим обприскуванням рослин у камері вкорінення та внесенням у субстрат. Щеплення виконували методом верхівкового зближення з використанням силіконових кліпс діаметром 1,5–2,0 мм. Рослини розміщували в камері з контрольованим мікрокліматом (температура 24–26 °С, відносна вологість 85–95 %, затемнення 60–70 % протягом перших трьох діб). Протягом 14 діб визначали відсоток приживлюваності, швидкість утворення калюсу, морфометричні параметри, SPAD-індекс

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри загального землеробства
(Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький)
e-mail: nicolaskov80@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4421-8960
[2] кандидат сільськогосподарських наук, доцентка,
доцент кафедри селекції і насінництва
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: shevchenko.o.o.@dsau.dp.ua
ORCID: 0000-0002-3098-8940
[3] кандидат сільськогосподарських наук, доцентка,
доцент рослинництва та агроінженерії
(Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон)
e-mail: marketing-kiapv@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4256-8852

та частоту прояву фізіологічних відхилень. Застосування ЕМ-препаратів суттєво підвищило приживлюваність щеплених рослин томата: використання ЕМ5 + ЕМ Агро у концентрації 1 : 100 забезпечило приживлюваність 94,8 % на 14-ту добу після щеплення проти 82,5 % у контролі, а підвищена концентрація (1 : 50) дала можливість досягти 96,4 %. Процес утворення калюсу прискорився на 2,4–3,1 доби, скорочуючись з 9,2 доби у контролі до 6,1–6,8 доби у варіантах з ЕМ-обробкою. Морфометричні показники рослин на 21-шу добу після щеплення суттєво покращилися: висота збільшилася на 17,9–25,5 %, діаметр стебла – на 16,7–22,9 %, площа листкової поверхні – на 25,0–35,2 % порівняно з контролем. SPAD-індекс у варіантах з ЕМ-обробкою виявився вищим на 15,9–20,4 %, що свідчить про кращу збереженість фотосинтетичного апарату. Частота прояву в'янення знизилася з 24,6 до 5,2–8,4 %, некрозу тканин – з 12,3 до 1,5–3,1 %, розриву в місці щеплення – з 5,2 до 1,5–2,1 %. Економічний аналіз показав високу ефективність технології: вихід стандартної розсади підвищився на 14,9–16,8 %, забезпечуючи додатковий прибуток 1845–2085 грн із розрахунку на 1000 щеплених рослин за рентабельності додаткових витрат 613–1025 %. ЕМ-препарати є ефективним інструментом підвищення приживлюваності щеплених рослин томата на підщепі Beaufort Tm Cn VF¹Fr. Оптимальною для виробничих умов є концентрація ЕМ5 + ЕМ Агро 1 : 100, яка забезпечує приживлюваність понад 94 %, прискорює загоєння на 2–3 доби та характеризується найвищою рентабельністю (1025 %). Комбінація генетичних переваг підщепи Beaufort із стимулюючим впливом ЕМ-препаратів на мікробіом забезпечує синергетичний ефект, що проявляється у високій приживлюваності, покращених морфометричних та фізіологічних показниках рослин. Технологія має значний потенціал для впровадження у промислове розсадництво томатів в умовах захищеного ґрунту.

Ключові слова: *щеплення томатів, підщепа Beaufort, ЕМ-препарати, ефективні мікроорганізми, приживлюваність, калюсоутворення, мікробіом ризосфери, морфометричні показники, SPAD-індекс, економічна ефективність.*

SYNERGETIC INFLUENCE OF EFFECTIVE MICROORGANISMS AND BEAUFORT ROOTS ON THE REGENERATION AND PHYSIOLOGICAL STATE OF GRAFTED TOMATO PLANTS

M. M. Kovalov, O. O. Shevchenko, I. M. Sokolovska

The article examines the potential of EM technology integration into commercial vegetable growing of hybrid tomatoes. The aim of the research was to evaluate the effectiveness of the use of EM preparations (effective microorganisms) in the technology of growing grafted tomato plants and to determine their effect on graft survival on Beaufort Tm Cn VF¹Fr rootstock. Additional tasks of the research are to establish the optimal parameters for the preparation of grafting components, to clarify the relationship between the concentration and method of introduction of EM drugs and indicators of the physiological state of plants after vaccination, as well as to determine the potential of integrating EM technologies into the industrial nursery of hybrid tomatoes. Field experiments were conducted during 2019–2021 on the basis of the Central Ukrainian National Technical University in accordance with the «Methodology of field experiments in vegetable growing and melon growing». The work used grafted tomato plants of the Pink Delight F_1 hybrid on the Beaufort Tm Cn VF¹Fr rootstock. The study included three treatment options: control without EM technology, EM5 + EM Agro in standard concentration (1:100) and increased concentration (1:50). EM drugs were applied by soaking the rootstock and scion before grafting (10–15 min), followed by spraying the plants in the rooting chamber and applying it to the substrate. Vaccination was performed by the method of apical convergence using silicone clips with a diameter of 1.5–2.0 mm. The plants were placed in a chamber with a controlled microclimate (temperature 24–26 °C, relative humidity 85–95%, darkness 60–70% during the first three days). For 14 days, the percentage of survival, callus formation rate, morphometric parameters, SPAD index and the frequency of physiological abnormalities were determined. The use of EM preparations significantly increased the survival of grafted tomato plants: the use of EM5 + EM Agro at a concentration of 1:100 ensured survival of 94.8% on the 14th day after vaccination against 82.5% in the control, and the increased concentration (1:50) made it possible to reach 96.4%. The process of callus formation accelerated by 2.4–3.1 days, decreasing from 9.2 days in the control to 6.1–6.8 days in the variants with EM treatment. The morphometric indicators of plants on the 21st day after inoculation improved significantly: height increased by 17.9–25.5%, stem diameter by 16.7–22.9%, leaf surface area by 25.0–35.2% compared to the control. The SPAD index in EM-treated variants was higher by 15.9–20.4%, which indicates better preservation of the photosynthetic apparatus. The incidence of wilting decreased from 24.6% to 5.2–8.4%, tissue necrosis from 12.3% to 1.5–3.1%, rupture at the graft site from 5.2% to 1.5–2.1%. The economic analysis showed the high efficiency of the technology: the yield

of standard seedlings increased by 14.9–16.8%, providing an additional profit of UAH 1,845–2,085 per 1,000 grafted plants with a profitability of additional costs of 613–1,025%. EM preparations are an effective tool for increasing the survival of grafted tomato plants on Beaufort Tm Cn VF¹Fr rootstock. The optimal concentration for production conditions is EM5 + EM Agro 1:100, which ensures survival over 94%, accelerates healing by 2–3 days and is characterized by the highest profitability (1,025%). The combination of the genetic advantages of the Beaufort rootstock with the stimulating effect of EM drugs on the microbiome provides a synergistic effect, manifested in high survival, improved morphometric and physiological indicators of plants. The technology has a significant potential for introduction into the industrial nursery of tomatoes under conditions of protected soil.

Key words: *tomato grafting, Beaufort rootstock, EM preparations, effective microorganisms, graft-take, callus formation, rhizosphere microbiome, morphometric parameters, SPAD index, economic efficiency.*

Вступ

Щеплення томатів на стійкі підщепи є перспективною технологією підвищення продуктивності та стійкості рослин до ґрунтових патогенів, проте її ефективність значною мірою залежить від відсотка приживлюваності щеплених рослин. Дослідження показують, що томати демонструють найвищий рівень виживання щеплених рослин серед пасльонових культур, досягаючи 98 % за оптимальних умов загоєння (Johnson & Miles, 2011). Однак досягнення таких високих показників потребує ретельного контролю в камері для регуляції мікроклімату під час постщепної регенерації рослин та використання додаткових агротехнічних прийомів.

Підщепа Beaufort Tm CNVF1Fr належить до широко використовуваних комерційних підщеп томатів, що характеризується високою стійкістю до кореневих гнилей і здатністю забезпечувати стабільну масу плодів навіть в осінній період. Beaufort демонструє високу резистентність до кірчаковості коренів і придатна для вирощування на будь-якому типі субстрату або ґрунту (De Ruiter Seeds, 2024). Попри визнані переваги цієї підщепи в забезпеченні контрольованого ростового потенціалу та стійкості до хвороб, питання оптимізації технології щеплення з метою максимізації приживлюваності залишається актуальним.

Ефективні мікроорганізми (ЕМ) є мікробіологічними препаратами, що містять комплекс корисних мікроорганізмів, включно з фотосинтезуючими бактеріями, молочнокислими бактеріями, дріжджами й актиноміцетами. ЕМ-препарати здатні підтримувати оптимальну ефективність фотосинтезу листків, збільшувати врожайність та якісні показники рослин незалежно від типу субстрату (Iriti et al., 2019). Незважаючи на численні дослідження позитивного впливу ЕМ-технології на ріст і розвиток різних овочевих культур, їх потенціал у підвищенні приживлюваності щеплених томатів залишається недостатньо вивченим.

Щеплення впливає на мікробіоту кореневої та надземної частин рослин, причому генетичні фактори як підщепи, так і прищепи відіграють ключову роль у формуванні мікробних спільнот (Morais et al., 2024). Інтеграція мікробіологічних препаратів у технологію щеплення може оптимізувати взаємодію між рослиною-господарем і корисними мікроорганізмами, забезпечуючи більш швидку регенерацію тканин після щеплення та покращення адаптації рослин. Мікробна спадщина, створена рослинами у ґрунті, значно впливає на подальші показники росту та розвитку овочевих культур, причому щеплені рослини демонструють кращі показники росту та розвитку в ґрунті, попередньо кондиціонованому подібними рослинами (Lang et al., 2020; Wang et al., 2024).

Таким чином, дослідження ролі ЕМ-препаратів у забезпеченні високого відсотка приживлюваності томатів на підщепі Beaufort Tm CNVF1Fr є актуальним завданням, що може сприяти розробці вдосконалених технологій вирощування щеплених томатів та підвищенню економічної ефективності овочівництва в умовах захищеного ґрунту.

За останні роки у вчених збільшився інтерес до інтеграції агротехнічних та мікробіологічних підходів для підвищення ефективності вирощування щеплених томатів. Окрема увага приділяється комерційним підщепам, зокрема Beaufort, які застосовуються для підвищення вегетативної маси, стійкості до ґрунтових хвороб і загальної продуктивності гібридів (Ingram et al., 2022). Польові дослідження свідчать, що використання сильних підщеп може помітно підвищувати ринкову врожайність і розміри плодів порівняно з некореневими контролями (Turhan et al., 2021). Одночасно класичні роботи з теми графтування показали ефективність міжви-

дових підщеп у контролі ґрунтових патогенів, що слугувало підставою для широкого впровадження технології в комерційному виробництві (Rivard et al., 2010).

ЕМ-препарати (Effective Microorganisms) розглядаються як перспективний інструмент для покращення якості розсади, стимуляції розвитку кореневої системи та послаблення впливу грибкових і бактеріальних агентів через модифікацію мікробіоти ризосфери (Olle, 2022). Огляди й експерименти останніх років підтверджують корисний ефект ЕМ у контексті ростових показників і зниження інфекційного тиску; проте результати чутливі до складу препаратів, доз і режимів застосування (Saleh et al., 2024). У деяких дослідженнях відзначено, що листові та кореневі обробки різними ЕМ-продуктами дають неоднаковий ефект, що підкреслює необхідність стандартизації протоколів (Msabila et al., 2024).

Незважаючи на наявність значної кількості робіт, що розглядають окремо вплив підщеп, включно з Beaufort, та вплив ЕМ на томати, є дефіцит прямих, контрольованих досліджень, які б системно вивчали їхню взаємодію в контексті приживлюваності після щеплення. Сучасна література вказує на те, що приживлюваність щеплених рослин визначається комплексом факторів: агротехнічними – час щеплення, співвідношення діаметрів підщепи й прищепи, умови healing chamber, біологічними – сумарний стан рослини та мікробіологічними – стан ризосфери (Black et al., 2003; Guan & Hallett, 2019). Тому для отримання репрезентативних результатів необхідні експерименти, які контролюватимуть одночасно: тип підщепи, режими застосування ЕМ, стандартизовані умови після операційної реабілітації та мікробіологічні вимірювання ризосфери.

Отже, сучасний стан досліджень підтверджує корисність застосування Beaufort як підщепи і потенціал ЕМ-препаратів для покращення господарських показників томатів. Однак існує науковий пробіл у вигляді відсутності масштабних, рандомізованих і реплікованих дослідів, які б кількісно оцінили ефект ЕМ на відсоток приживлюваності щеплених томатів на підщепі Beaufort. Відповідно, наступні дослідження доцільно спрямувати на розробку стандартизованих протоколів застосування ЕМ у поєднанні з оптимізованими агротехнічними процедурами щеплення.

Метою статті є оцінити ефективність застосування ЕМ-препаратів (ефективних мікроорганізмів) у технології вирощування щеплених рослин томата та визначити їхній вплив на приживлюваність щепи на підщепі Beaufort TmCnVF¹Fr. Додатковими завданнями дослідження є: встановити оптимальні параметри підготовки компонентів щеплення, з'ясувати взаємозв'язок між концентрацією та способом внесення ЕМ-препаратів і показниками фізіологічного стану рослин після щеплення, а також визначити потенціал інтеграції ЕМ-технологій у промислове розсадництво гібридних томатів.

Матеріал і методи

Досліди проводили на базі кафедри загального землеробства Центральноукраїнського національного технічного університету та ФОП Горбенко В. С. протягом 2019–2021 років відповідно до «Методики польового досліду в овочівництві і баштанництві» (Пігуль та ін., 2018).

У роботі використано щеплені рослини томата виробництва Ergon Seeds Голландия Пінк Делайт *F1*, щеплені на підщепу Beaufort Tm Cn VF¹Fr, яка характеризується високою стійкістю до ґрунтових патогенів та оптимальними показниками розвитку кореневої системи.

Дослідження передбачало застосування трьох варіантів обробки ЕМ-препаратами:

1) контроль – без застосування ЕМ технології;

2) ЕМ5 + ЕМ Агро (стандартна концентрація 1 : 100) – робочий розчин ЕМ-препаратів;

3) ЕМ5 + ЕМ Агро (підвищена концентрація 1 : 50) – робочий розчин ЕМ-препаратів.

ЕМ-препарати вносили двома шляхами: 1) перед щепленням шляхом замочування підщепи та прищепи в робочому розчині (10–15 хв); 2) після щеплення – обприскування рослин у камері постщепної регенерації та внесення в субстрат.

Щеплення виконували методом «верхівкового зближення», використовуючи силіконові кліпси діаметром 1,5–2,0 мм. Усі рослини розміщували в камері з контрольованим мікрокліматом (температура 24–26 °С, відносна вологість 85–95 %, затемнення 60–70 % протягом перших трьох діб).

Протягом 14 діб після щеплення визначали: 1) відсоток приживлюваності рослин у кожному варіанті; 2) швидкість утворення калюсу; 3) морфометричні параметри рослин (висота, діаметр стебла, кількість листків); 4) стан фотосинтетичного апарату (SPAD-індекс); 5) частоту прояву фізіоло-

гічних відхилень (в'янення, некроз, розрив культури).

Для оцінювання достовірності різниць між варіантами використовували однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA). Значущість відмінностей визначали за критерієм $НІР_{05}$. Обробку результатів проводили в програмному забезпеченні Excel (Дослідна ..., 2016).

Результати

Результати трирічних досліджень (2019–2021 років) свідчать про суттєвий вплив застосування ЕМ-препаратів на показники приживлюваності щеплених рослин томата на підщепі Beaufort Tm Cn VF¹Fr (табл. 1).

Аналіз експериментальних даних показує, що застосування ЕМ-препаратів суттєво підвищує відсоток приживлюваності щеплених рослин порівняно з контрольним варіантом. На 7-му добу після щеплення в контрольному варіанті приживлюваність становила 78,3 %, тоді як у варіанті з використанням ЕМ5 + ЕМ Агро в концентрації 1 : 100 цей показник зріс до 89,7 %, що на 11,4 процентного пункту вище.

Максимальний ефект спостерігали в разі застосування підвищеної концентрації ЕМ-препаратів (1 : 50) – 93,2 %, що перевищує контроль на 14,9 процентного пункту. До 14-ї доби після щеплення відмінності між варіантами зберігалися: у контролі приживлюваність досягла 82,5 %, тоді як у варіантах з ЕМ-обробкою – 94,8 % та 96,4 % відповідно.

Важливо відзначити, що приживлюваність 96,4 % у варіанті з концентрацією 1 : 50 наближається до теоретичного максимуму – 98 %, про який повідомляють дослідження (Johnson & Miles, 2011) для томатів за оптимальних умов постщепної регенерації.

Суттєвою перевагою застосування ЕМ-препаратів є прискорення процесу утворення калюсу в місці щеплення. У контрольному варіанті цей процес тривав у середньому 9,2 доби, тоді як застосування ЕМ-препаратів скоротило цей період до 6,8 доби (концентрація 1 : 100) та 6,1 доби (концентрація 1 : 50). Прискорення калюсоутворення на 2,4–3,1 доби має практичне значення, оскільки скорочує період перебування рослин у камері загоєння та знижує ризики інфікування у критичній фазі адаптації. Ці результати узгоджуються з даними (Iriti et al., 2019) про здатність ЕМ-препаратів стимулювати регенеративні процеси в рослинних тканинах.

Застосування ЕМ-препаратів позитивно вплинуло не лише на приживлюваність, а й на морфометричні параметри щеплених рослин після завершення періоду загоєння (табл. 2).

Результати досліджень демонструють статистично достовірний вплив ЕМ-препаратів на всі досліджувані морфометричні параметри рослин.

Висота рослин у контрольному варіанті становила 18,4 см, тоді як застосування ЕМ5 + ЕМ Агро в концентрації 1 : 100 збільшило цей показник до 21,7 см (+17,9 %), а підвищена концентрація (1 : 50) забезпечила висоту 23,1 см (+25,5 % порівняно з контролем). Такий приріст можна пояснити стимулюючим впливом ЕМ-препаратів на фотосинтетичну активність рослин, що узгоджується з результатами (Iriti et al., 2019) про підтримку оптимальної ефективності фотосинтезу листків за використання ЕМ.

Діаметр стебла, який є важливим показником потужності розвитку рослин і їхньої стійкості до полягання, також суттєво збільшувався в разі застосування ЕМ-препаратів. У контролі цей показник становив 4,8 мм, у варіантах з ЕМ-обробкою – 5,6 мм та 5,9 мм відповідно, що перевищує контроль на 16,7 % та 22,9 %. Збільшення діаметра стебла свідчить про покращення водно-мінерального живлення рослин та активізацію

Таблиця 1

Приживлюваність щеплених рослин томата залежно від застосування ЕМ-препаратів (середнє за 2019–2021 роки)

Варіант досліду	**Приживлюваність на 7-му добу, %**	**Приживлюваність на 14-ту добу, %**	**Утворення калюсу, діб**	**Загибель рослин, %**
Контроль (без ЕМ)	78,3	82,5	9,2	17,5
ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 100)	89,7	94,8	6,8	5,2
ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 50)	93,2	96,4	6,1	3,6
$НІР_{05}$	4,2	3,8	0,7	3,1

ростових процесів у місці з'єднання прищепи та підщепи.

Кількість листків на рослині у варіантах з ЕМ-обробкою перевищувала контроль на 1,2–1,6 штуки, досягаючи 6,4–6,8 листка проти 5,2 у контролі. Особливо показовим є збільшення площі листкової поверхні: у варіанті з концентрацією ЕМ-препаратів 1 : 50 вона становила 192,8 см², що на 35,2 % більше за контрольний показник – 142,6 см². Збільшення асиміляційної поверхні створює передумови для більш інтенсивного фотосинтезу та накопичення пластичних речовин, необхідних для подальшого росту та формування врожаю (Ковальов, 2022; Ковальов, 2020). Ці дані підтверджують висновки (Morais et al., 2024) про вплив мікробіому на оптимізацію взаємодії між підщепою та прищепою у щеплених рослинах.

Для оцінки фізіологічного стану щеплених рослин визначали SPAD-індекс та частоту прояву стресових реакцій у післяопераційний період (табл. 3).

SPAD-індекс, який корелює із вмістом хлорофілу в листках і характеризує фотосинтетичну активність рослин, виявився суттєво вищим у варіантах із застосуванням ЕМ-препаратів. На 7-му добу після щеплення в контрольному варіанті SPAD-індекс становив 31,4 одиниці, тоді як у варіантах з ЕМ-обробкою – 36,2 та 37,9 одиниці відповідно. До 14-ї доби ці відмінності збільшувалися: контроль – 36,8, варіанти з ЕМ – 42,7 та 44,3 одиниці. Підвищення SPAD-індексу на 15,3–20,4 % свідчить про кращу збереженість фотосинтетичного апарату та швидшу адаптацію рослин до стресу, спричиненого щепленням. Це узгоджується з результатами досліджень (Iriti et al., 2019), які встановили, що ЕМ-препарати підтримують оптимальну ефективність фотосинтезу листків незалежно від типу субстрату.

Частота прояву фізіологічних відхилень у післяопераційний період є критичним показником успішності технології щеплення. У контрольному варіанті прояв в'янення спостерігався у 24,6 % рослин, що втричі перевищує показник варіанта з концентрацією ЕМ-препаратів 1 : 50 (5,2 %). Некроз тканин у місці щеплення, який часто призводить до загибелі рослини, спостерігався у 12,3 % рослин контрольного варіанта проти лише 1,5 % у варіанті з підвищеною концентрацією ЕМ-препаратів. Розрив у місці з'єднання прищепи та підщепи зафіксовано у 5,2 % контрольних рослин, тоді як застосування ЕМ-препаратів знизило цей показник до 1,5–2,1 %.

Зниження частоти стресових реакцій у разі застосування ЕМ-препаратів можна пояснити їхнім комплексним впливом на фізіологічні процеси. Як зазначають Wang та співавтори (Wang et al., 2024), рослинно-мікробна спадщина у ґрунті значно впливає на показники росту щеплених рослин. ЕМ-препарати, що містять фотосинтезуючі бактерії, молочнокислі бактерії, дріжджі й актиноміцети, створюють сприятливий мікробіом, який підтримує рослину в критичний період адаптації після щеплення.

Для оцінки практичної доцільності впровадження ЕМ-технології у виробництво щеплених томатів проведено розрахунок економічної ефективності (табл. 4).

Таблиця 2

Морфометричні показники щеплених рослин томата на 21-шу добу після щеплення (середнє за 2019–2021 роки)

Варіант досліду	**Висота рослини, см**	**Діаметр стебла, мм**	**Кількість листків, шт.**	**Площа листкової поверхні, см²**
Контроль (без ЕМ)	18,4	4,8	5,2	142,6
ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 100)	21,7	5,6	6,4	178,3
ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 50)	23,1	5,9	6,8	192,8
$НІР_{05}$	1,6	0,4	0,5	12,4

Таблиця 3

Фізіологічні показники щеплених рослин томата (середнє за 2019–2021 роки)

Варіант досліду	**SPAD-індекс на 7-му добу**	**SPAD-індекс на 14-ту добу**	**Прояв в'янення, %**	**Некроз тканин, %**	**Розрив у місці щеплення, %**
Контроль (без ЕМ)	31,4	36,8	24,6	12,3	5,2
ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 100)	36,2	42,7	8,4	3,1	2,1
ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 50)	37,9	44,3	5,2	1,5	1,5
$НІР_{05}$	2,1	2,4	3,8	2,6	1,4

Аналіз економічної ефективності свідчить про високу ефективність застосування ЕМ-препаратів у технології вирощування щеплених рослин томата.

Вихід стандартної розсади в контрольному варіанті становив 825 рослин зі 1000 щеплених, тоді як застосування ЕМ5 + ЕМ Агро в концентрації 1 : 100 підвищило цей показник до 948 рослин (+14,9 %), а концентрація 1 : 50 забезпечила вихід 964 рослин (+16,8 % порівняно з контролем).

За середньої ринкової ціни стандартної щепленої розсади томата 15 грн/шт. додатковий прибуток від застосування ЕМ-препаратів становив 1845 грн (концентрація 1 : 100) та 2085 грн (концентрація 1 : 50) із розрахунку на 1000 щеплених рослин.

Незважаючи на те що підвищена концентрація ЕМ-препаратів (1 : 50) забезпечує дещо більший вихід стандартної розсади й абсолютний прибуток, рентабельність додаткових витрат є вищою за використання стандартної концентрації (1 : 100) – 1025 % проти 613 %. Це пояснюється майже вдвічі меншими витратами на ЕМ-препарати в разі концентрації 1 : 100 (180 грн проти 340 грн) із незначною різницею у виході розсади (948 проти 964 рослин, або лише 1,7 %). Таким чином, з економічного погляду застосування ЕМ5 + ЕМ Агро в концентрації 1 : 100 є більш доцільним для промислового розсадництва.

Високі показники рентабельності (613–1025 %) свідчать про значний економічний потенціал інтеграції ЕМ-технології у виробництво щеплених томатів. Оскільки в сучасних розсадницьких комплексах щеплюють десятки тисяч рослин щорічно, застосування ЕМ-препаратів може забезпечити суттєве зростання прибутковості виробництва. Крім того, покращення якості розсади (вища приживлюваність, кращі морфометричні показники, зниження стресових реакцій) створює передумови для підвищення врожайності та якості продукції на подальших етапах вирощування, що додатково підвищує економічну ефективність технології.

Обговорення

Отримані результати щодо впливу ЕМ-препаратів на приживлюваність щеплених томатів узгоджуються із сучасним розумінням ролі мікробіому в оптимізації функціонування щеплених рослин (Poudel et al., 2023). Дослідження показують, що вибір підщепи суттєво впливає на структуру кореневих грибних спільнот, причому підщепа Maxifort, яка є близькою до Beaufort за характеристиками, підтримує більше видове різноманіття мікроорганізмів порівняно з іншими підщепами (Rivard et al., 2010). Це підтверджує нашу гіпотезу про синергетичний ефект поєднання генетичних переваг підщепи Beaufort зі стимулюючим впливом ЕМ-препаратів на ризосферний мікробіом.

Прискорення калюсоутворення на 2,4–3,1 доби в разі застосування ЕМ-препаратів має важливе практичне значення. Дослідження показали, що використання потужних підщеп, як-от Arnold і Beaufort, значно підвищує врожайність і збільшує розміри плодів томатів (Ingram et al., 2022), проте успішність цієї технології критично залежить від швидкості загоєння місця щеплення. Наші результати демонструють, що ЕМ-технологія може ефективно скоротити критичний період адаптації рослин після щеплення, що особливо важливо для комерційного виробництва, де скорочення часу перебування рослин у камері загоєння безпосередньо впливає на економічну ефективність.

Покращення морфометричних показників щеплених рослин у разі застосування ЕМ-препаратів корелює з результатами досліджень інших авторів. Встановлено, що ЕМ-препарати збільшують діаметр стебла розсади томатів на 20 % та підвищують вміст основних поживних елементів (Olle, 2022),

Таблиця 4

Економічна ефективність застосування ЕМ-препаратів у вирощуванні щеплених рослин томата (розрахунок на 1000 рослин)

Показник	**Контроль (без ЕМ)**	**ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 100)**	**ЕМ5 + ЕМ Агро (1 : 50)**
Вихід стандартної розсади, шт.	825	948	964
Додаткові витрати на ЕМ-препарати, грн	0	180	340
Вартість стандартної розсади, грн/шт.	15	15	15
Загальний дохід, грн	12 375	14 220	14 460
Додатковий прибуток, грн	–	1845	2085
Рентабельність додаткових витрат, %	–	1025	613

що узгоджується з нашими даними про збільшення діаметра стебла на 16,7–22,9 %. Важливо відзначити, що покращення біометричних параметрів у наших дослідах супроводжувалося зниженням частоти стресових реакцій, що свідчить про комплексний позитивний вплив ЕМ-препаратів на фізіологічний стан рослин.

Високі показники економічної ефективності застосування ЕМ-технології (рентабельність 613–1025 %) підтверджують її перспективність для інтеграції у промислове розсадництво томатів. Сучасні дослідження підкреслюють важливість мікробіомно-орієнтованих підходів для оптимізації вирощування томатів (Nicotra et al., 2024), що повністю узгоджується з отриманими нами результатами. Однак слід зазначити, що для повного розкриття потенціалу ЕМ-технології необхідні подальші дослідження впливу цих препаратів на продуктивність щеплених томатів протягом усього вегетаційного періоду та в різних кліматичних умовах.

Висновки

На основі результатів трирічних досліджень (2019–2021 років) щодо впливу ЕМ-препаратів на приживлюваність і розвиток щеплених рослин томата на підщепі Beaufort Tm Cn VF¹Fr можна зробити такі висновки:

Застосування ЕМ-препаратів суттєво підвищує приживлюваність щеплених рослин томата. Використання ЕМ5 + ЕМ Агро в концентрації 1 : 100 забезпечило приживлюваність 94,8 % на 14–ту добу після щеплення, що на 12,3 процентного пункту перевищує контрольний варіант (82,5 %). Підвищена концентрація препаратів (1 : 50) дала можливість досягти приживлюваності 96,4 %, наближаючись до теоретичного максимуму для томатів (98 %) за оптимальних умов загоєння.

ЕМ-препарати прискорюють процес регенерації тканин у місці щеплення. Утворення калюсу в разі застосування ЕМ5 + ЕМ Агро відбувалося на 2,4–3,1 доби швидше порівняно з контролем, скорочуючи критичний період адаптації рослин з 9,2 до 6,1–6,8 доби. Це знижує ризики інфікування та дає змогу скоротити тривалість перебування рослин у камері загоєння.

Використання ЕМ-препаратів позитивно впливає на морфометричні показники щеплених рослин. На 21-шу добу після щеплення рослини у варіантах з ЕМ-обробкою перевищували контроль за висотою на 17,9–25,5 %, діаметром стебла на 16,7–2,9 %, а площа листкової поверхні збільшилася на 25,0–35,2 %. Покращення морфометричних параметрів створює передумови для формування потужного асиміляційного апарату та високої продуктивності рослин.

ЕМ-препарати підвищують стійкість рослин до післяопераційного стресу. SPAD-індекс у варіантах з ЕМ-обробкою на 14-ту добу був вищим на 15,9–20,4 % порівняно з контролем, що свідчить про кращу збереженість фотосинтетичного апарату. Частота прояву в'янення знизилася з 24,6 до 5,2–8,4 %, некрозу тканин – з 12,3 до 1,5–3,1 %, розриву в місці щеплення – з 5,2 до 1,5–2,1 %.

Економічна ефективність застосування ЕМ-препаратів є високою. Вихід стандартної розсади підвищився на 14,9–16,8 %, забезпечуючи додатковий прибуток 1845–2085 грн із розрахунку на 1000 щеплених рослин. Рентабельність додаткових витрат становить 613–1025 %, що підтверджує доцільність упровадження ЕМ-технології у промислове розсадництво.

Оптимальною для виробничих умов є концентрація ЕМ5 + ЕМ Агро 1 : 100. Незважаючи на те що підвищена концентрація (1 : 50) забезпечує дещо кращі біометричні показники, стандартна концентрація (1 : 100) характеризується вищою рентабельністю (1025 % проти 613 %) з незначною різницею у виході стандартної розсади (1,7 %), що робить її економічно більш доцільною для масового виробництва.

Підщепа Beaufort Tm Cn VF¹Fr демонструє високу сумісність із прищепою у разі застосування ЕМ-технології. Комбінація генетичних переваг підщепи Beaufort (стійкість до ґрунтових патогенів, контрольований ростовий потенціал) із стимулюючим впливом ЕМ-препаратів на мікробіом ризосфери забезпечує синергетичний ефект, що проявляється у високій приживлюваності та покращених фізіологічних показниках рослин.

Практичні рекомендації: для підвищення приживлюваності щеплених рослин томата на підщепі Beaufort Tm Cn VF¹Fr рекомендується застосовувати ЕМ5 + ЕМ Агро в концентрації 1 : 100 шляхом замочування підщепи та прищепи перед щепленням (10–15 хв) з подальшим обприскуванням рослин і внесенням у субстрат у камері загоєння. Такий підхід забезпечує приживлюваність понад 94 %, скорочує період загоєння на 2–3 доби та підвищує рентабельність виробництва розсади більш ніж у 10 разів.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні тривалого впливу ЕМ-препаратів на продуктивність щеплених рослин томата протягом усього вегетаційного періоду, дослідженні змін мікробіому ризосфери та філосфери під впливом ЕМ-технології, а також оптимізації строків та кратності застосування препаратів для різних комбінацій підщепа – прищепа.

Список використаної літератури

Дослідна справа в агрономії. Книга друга. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень : навчальний посібник / Рожков А.О., Каленська С.М., Пузік Л.М. та ін. Харків : Майдан, 2016. 298 с.

Ковальов М.М. Вплив іонного складу поживного середовища на вирощування ремонтантних сортів полуниці в гідропонних колонах. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки.* 2020. Вип. 116. С. 104–111. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.13.

Ковальов М.М. Вплив параметрів кліматозабезпечення на вирощування мікрозелені в умовах плівкової теплиці. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал. Сільськогосподарські науки.* 2022. Вип. 126 С. 153–162. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.21.

Пігуль В.М., Дейнека В.І., Ващенко В.П. *Методика польового досліду в овочівництві і баштанництві.* Харків : Стиль-Іздат. 2018, 270 с.

Black L.L., Wu D.L., Wang J.F., Kalb T., Abbass D., & Chen J.H. Grafting Tomatoes for Production in the Hot-Wet Season. AVRDC — The World Vegetable Center, Shanhua, Taiwan, 2003. 6 p. [Електронний ресурс]. URL: https://avrdc.org/download/project-support/v4pp/training-farmers/1-1-healthy-seedling-production/Grafting.pdf (дата звернення: 01.12.2024).

De Ruiter Seeds. Beaufort rootstock with control. *Vegetables by Bayer.* [Електронний ресурс]. URL: https://www.vegetables.bayer.com (дата звернення: 01.12.2024).

Guan W., & Hallett S. Techniques for Tomato Grafting (HO-260-W). Purdue University Extension, 2019. [Електронний ресурс]. URL: https://ag.purdue.edu/department/hla/extension/extension-publications-library/_docs/ho-260-w.pdf (дата звернення: 01.12.2024).

Ingram T.W., Sharpe S., Trandel M., Perkins-Veazie P., Louws F.J., & Meadows I. Vigorous rootstocks improve yields and increase fruit sizes of grafted tomatoes. Frontiers in Horticulture. 2022. Vol. 1. Article 1091342. https://doi.org/10.3389/fhort.2022.1091342.

Iriti M., Scarafoni A., Pierce S., Castorina G., & Vitalini S. Soil application of effective microorganisms (EM) maintains leaf photosynthetic efficiency, increases seed yield and quality traits of bean (Phaseolus vulgaris L.) plants grown on different substrates. International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20. Issue 9. Article 2327. https://doi.org/10.3390/ijms20092327.

Johnson S.J., Miles C.A. Effect of healing chamber design on the survival of grafted eggplant, tomato, and watermelon. HortTechnology. 2011. Vol. 21. Issue 6. P. 752–758. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.6.752.

Lang K.M., Nair A., Litvin A.G. An alternative healing method for grafted tomato transplants: the effect of light exclusion and substrate temperature on plant survival and growth. *HortTechnology*. 2020. Vol. 30. № 6. P. 677–687. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04626-20.

Morais M.C., Lopez de Andrade Torres L.F., Mazzafera P. Plant grafting: Maximizing beneficial microbe-plant interactions. Rhizosphere. 2024. Vol. 29. 100825. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100825.

Msabila S.E., Nordey T., Ernest Z., Mlowe N., Manickam R., Ramasamy S., Huat J. Boosting tomato resilience in Tanzania: Grafting to combat bacterial wilt and abiotic stress. Horticulturae. 2024. Vol. 10. Issue 4. Article 338. https://doi.org/10.3390/horticulturae10040338.

Nicotra D., Ghadamgahi F., Ghosh S., Anzalone A., Dimaria G., Mosca A., Massimino M.E., Vetukuri R.R., Catara V. Genomic insights and biocontrol potential of ten bacterial strains from the tomato core microbiome. Frontiers in Plant Science. 2024. Vol. 15. Article 1437947. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1437947.

Olle M. The Effect of Effective Microorganisms on the Performance of Tomato Transplants. *Biology and Life Sciences Forum.* 2022. Vol. 11 (1). P. 68. https://doi.org/10.3390/IECPS2021-12007.

Poudel R., Jumpponen A., Kennelly M.M., Rivard C., Gomez-Montano L., Garrett K.A. Integration of Phenotypes in Microbiome Networks for Designing Synthetic Communities: a Study of Mycobiomes in the Grafted Tomato System. *Appl Environ Microbiol.* 2023 Jun 28. Vol. 89 (6). e0184322. https://doi.org/10.1128/aem.01843-22.

Rivard C.L., O'Connell S., Peet M.M., Louws F.J. Grafting tomato with interspecific rootstock to manage diseases caused by Sclerotium rolfsii and southern root-knot nematode. Plant Disease. 2010. Vol. 94. Issue 8. P. 1015–1021. https://doi.org/10.1094/PDIS-94-8-1015.

Saleh A.A., Elsheikh M.H., El-Nakieb F.A., Sobhy S.E., Kabeil S.S., Hafez E.E. New perspectives into the application of Effective Microorganism (EM) on phytopathogenic fungi: in-vitro antioxidant capacity, bioactive substances and fungicidal efficacy. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2024. Vol. 38. Issue 1. Article 2387190. https://doi.org/10.1080/13102818.2024.2387190.

Turhan A., Ozmen N., Serbeci M.S., Seniz V. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. Horticultural Science (Prague). 2011. Vol. 38. Issue 4. P. 142–149. https://doi.org/https://doi.org/10.17221/51/2011-HORTSCI.

Wang T., Ruan Y., Xu Q., Shen Q., Ling N., Vandenkoornhuyse P. Effect of plant-derived microbial soil legacy in a grafting system — a turn for the better. Microbiome. 2024. Vol. 12. Article 234. https://doi.org/10.1186/s40168-024-01938-2.

References

Rozhkov, A.O., Kalenska, S.M., & Puzik, L.M. et al. (2016). Doslidna sprava v ahronomii. Knyha druha. Statystychna obrobka rezultativ ahronomichnykh doslidzhen: Navchalnyi posibnyk [Experimental work in agronomy. Book two. Statistical processing of agronomic research results: Tutorial]. Kharkiv: Maidan [in Ukrainian].

Kovalov, M.M. (2020). Vplyv ionnoho skladu pozhyvnoho seredovyshcha na vyroshchuvannia remontantnykh sortiv polunytsi v hidroponnykh kolonakh [The influence of the ionic composition of the nutrient medium on the cultivation of remontant strawberry varieties in hydroponic columns]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk: Naukovyi zhurnal. Silskohospodarski nauky [Taurian Scientific Herald: Scientific Journal. Agricultural Sciences],* 116, 104–111. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.13 [in Ukrainian].

Kovalov, M.M. (2022). Vplyv parametriv klimatozabezpechennia na vyroshchuvannia mikrozeleni v umovakh plivkovoi teplytsi [Influence of climate control parameters on microgreen cultivation in film greenhouse conditions]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk: Naukovyi zhurnal. Silskohospodarski nauky [Tavria Scientific Bulletin: Scientific Journal. Agricultural sciences],* 126, 153–162. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.21 [in Ukrainian].

Pihul, V.M., Deineka, V.I., & Vashchenko, V.P. (2018). Metodyka polovoho doslidu v ovochivnytstvi i bashtannytstvi [Field experiment methodology in vegetable and melon growing]. Kharkiv: Styl-Izdat [in Ukrainian].

Black, L.L., Wu, D.L., Wang, J.F., Kalb, T., Abbass, D., & Chen, J.H. (2003). Grafting tomatoes for production in the hot-wet season. AVRDC – The World Vegetable Center. [Electronic resource] URL: https://avrdc.org/download/project-support/v4pp/training-farmers/1-1-healthy-seedling-production/Grafting.pdf (access date 01.12.2024) [in English].

De Ruiter Seeds (n.d.). Beaufort rootstock with control. Vegetables by Bayer. Retrieved December 1, 2024. [Electronic resource] URL: https://www.vegetables.bayer.com (access date 01.12.2024) [in English].

Guan, W., & Hallett, S. (2019). Techniques for tomato grafting (HO-260-W). Purdue University Extension. [Electronic resource] URL: https://ag.purdue.edu /department/hla/extension/extension-publications-library/_docs/ho-260-w.pdf (access date 01.12.2024) [in English].

Ingram, T.W., Sharpe, S., Trandel, M., Perkins-Veazie, P., Louws, F.J., & Meadows, I. (2022). Vigorous rootstocks improve yields and increase fruit sizes of grafted tomatoes. Frontiers in Horticulture, 1, 1091342. https://doi.org/10.3389/fhort.2022.1091342 [in English].

Iriti, M., Scarafoni, A., Pierce, S., Castorina, G., & Vitalini, S. (2019). Soil application of effective microorganisms (EM) maintains leaf photosynthetic efficiency, increases seed yield and quality traits of bean (Phaseolus vulgaris L.) plants grown on different substrates. International Journal of Molecular Sciences, 20 (9), 2327. https://doi.org/10.3390/ijms20092327 [in English].

Johnson, S.J., & Miles, C.A. (2011). Effect of healing chamber design on the survival of grafted eggplant, tomato, and watermelon. HortTechnology, 21 (6), 752–758. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.6.752 [in English].

Lang, K.M., Nair, A., & Litvin, A.G. (2020). An alternative healing method for grafted tomato transplants: The effect of light exclusion and substrate temperature on plant survival and growth. HortTechnology, 30 (6), 677–687. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04626-20 [in English].

Morais, M.C., Lopez, de Andrade, Torres, L.F., &, Mazzafera, P. (2024). Plant grafting: Maximizing beneficial microbe-plant interactions. Rhizosphere, 29, 100825. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100825 [in English].

Msabila, S.E., Nordey, T., Ernest, Z., Mlowe, N., Manickam, R., Ramasamy, S., & Huat, J. (2024). Boosting tomato resilience in Tanzania: Grafting to combat bacterial wilt and abiotic stress. Horticulturae, 10 (4), 338. https://doi.org/10.3390/horticulturae10040338 [in English].

Nicotra, D., Ghadamgahi, F., Ghosh, S., Anzalone, A., Dimaria, G., Mosca, A., Massimino, M.E., Vetukuri, R. R., & Catara, V. (2024). Genomic insights and biocontrol potential of ten bacterial strains from the tomato core microbiome. Frontiers in Plant Science, 15, 1437947. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1437947 [in English].

Olle, M. (2022). The effect of effective microorganisms on the performance of tomato transplants. Biology and Life Sciences Forum, 11 (1), 68. https://doi.org/10.3390/IECPS2021-12007 [in English].

Poudel, R., Jumpponen, A., Kennelly, M.M., Rivard, C., Gomez-Montano, L., & Garrett, K.A. (2023). Integration of phenotypes in microbiome networks for designing synthetic communities: A study of mycobiomes in the grafted tomato system. Applied and Environmental Microbiology, 89 (6), e0184322. https://doi.org/10.1128/aem.01843-22 [in English].

Rivard, C.L., O'Connell, S., Peet, M.M., & Louws, F.J. (2010). Grafting tomato with interspecific rootstock to manage diseases caused by Sclerotium rolfsii and southern root-knot nematode. Plant Disease, 94 (8), 1015–1021. https://doi.org/10.1094/PDIS-94-8-1015 [in English].

Saleh, A.A., Elsheikh, M.H., El-Nakieb, F.A., Sobhy, S.E., Kabeil, S.S., & Hafez, E.E. (2024). New perspectives into the application of effective microorganism (EM) on phytopathogenic fungi: In-vitro antioxidant capacity, bioactive substances and fungicidal efficacy. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 38 (1), 2387190. https://doi.org/10.1080/13102818.2024.2387190 [in English].

Turhan, A., Ozmen, N., Serbeci, M.S., & Seniz, V. (2011). Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. Horticultural Science, 38 (4), 142–149. https://doi.org/10.17221/51/2011-HORTSCI [in English].

Wang, T., Ruan, Y., Xu, Q., Shen, Q., Ling, N., & Vandenkoornhuyse, P. (2024). Effect of plant-derived microbial soil legacy in a grafting system — A turn for the better. Microbiome, 12, 234. https://doi.org/10.1186/s40168-024-01938-2 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 10.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.161: 631.8
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.17

ПОКАЗНИКИ ПРОДУКТИВНОСТІ ЯЧМЕНЮ ЗВИЧАЙНОГО ЯРОГО ЗА ПРИПОСІВНОГО ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕННЯ САПРОПЕЛЮ

Б. М. Макарчук[1], Т. В. Герасько[2]

Україна посідає значне місце у світовому виробництві ячменю, експортуючи його до численних країн Африканського та Азійського континентів. З огляду на це, вдосконалення агротехнологій вирощування ячменю ярого є актуальним завданням як для наукової спільноти, так і для сільськогосподарських виробників. Локалізоване припосівне внесення органічних добрив, зокрема сапропелю, може сприяти не лише підвищенню показників продуктивності зернової культури, а й мати сприятливий вплив на екологічну ситуацію. Метою даної роботи було встановлення впливу припосівного рядкового внесення сапропелю в дозі 100 кг/га на показники продуктивності ячменю звичайного ярого за умов органічної системи землеробства у Лісостеповій зоні України. Упродовж трирічного експериментального періоду (2023–2025 рр.) припосівне внесення гранульованого сапропелю у дозі 100 кг/га сприяло підвищенню показника життєздатності рослин до фази збирання на 1–5 %, індексу продуктивного кущення – на 1–4 %, а також кількості зерен у колосі – на 2–3 %. Ці сприятливі тенденції корелювали зі зростанням біологічної урожайності ячменю ярого. У середньому за три роки досліджень, припосівне локальне внесення сапропелю зумовило підвищення біологічної врожайності ячменю ярого на 3–4 ц/га, що становить приріст від 7 до 11% відносно контрольного варіанту, де внесення сапропелю не здійснювалося. При цьому вплив внесення сапропелю на продуктивні характеристики ячменю ярого продемонстрував сортову специфічність: найбільший приріст врожаю після внесення сапропелю спостерігався для сорту Командор і становив 10–11%. Отримані нами результати узгоджуються з раніше задокументованими даними щодо сприятливого впливу сапропелевих субстанцій на культуру ячменю ярого (Hordeum vulgare L.). Ймовірно, цей позитивний ефект зумовлений присутністю у складі сапропелю гумінових сполук, які відомі своїм біостимулюючим впливом на рослинні організми. Крім того, локальне внесення сапропелю під час посіву може сприяти формуванню оптимального мікросередовища для розвитку симбіотичного мікробного угруповання у ґрунті. Наявні дані відкривають перспективи для подальших досліджень, а саме, з'ясування структури та таксономічного складу мікробних ценозів у ризосфері ячменю ярого, що формуються за умов припосівного внесення сапропелю.

Ключові слова: *ячмінь ярий, сапропель, припосівне рядкове внесення добрив, органічна технологія вирощування.*

[1] старший науковий співробітник
(Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ)
e-mail: bohdan.makarchuk@gmail.com
ORCID: 0009-0003-4957-8399
[2] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри рослинництва та садівництва імені професора В.В. Калитки
(Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя)
e-mail: tetiana.herasko@tsatu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1331-4397

PRODUCTIVITY INDICATORS OF COMMON SPRING BARLEY WITH LOCAL APPLICATION OF SAPROPEL AT SOWING

B. M. Makarchuk, T. V. Gerasko

Ukraine occupies a significant place in the world production of barley, exporting it to numerous countries of the African and Asian continents. In view of this, improving agricultural technologies for growing spring barley is an urgent task for both the scientific community and agricultural producers. Localized sowing application of organic fertilizers, in particular sapropel, can contribute not only to increasing the productivity of grain crops, but also have a beneficial effect on the ecological situation. The aim of this work was to establish the impact of sowing row application of sapropel at a dose of 100 kg/ha on the productivity of common spring barley under the conditions of an organic farming system in the Forest-Steppe zone of Ukraine. During the three-year experimental period (2023–2025), the application of granulated sapropel at a dose of 100 kg/ha at sowing contributed to an increase in the plant viability index to the harvesting phase by 1–5%, the productive tillering index by 1–4%, and the number of grains in the ear by 2–3%. These favorable trends correlated with an increase in the biological yield of spring barley. On average, over three years of research, the local application of sapropel at sowing resulted in an increase in the biological yield of spring barley by 3-4 c/ha, which is an increase of 7 to 11% compared to the control variant, where sapropel was not applied. At the same time, the effect of sapropel application on the productive characteristics of spring barley demonstrated varietal specificity: the greatest yield increase after sapropel application was observed for the Komandor variety and amounted to 10–11%. Our results are consistent with previously documented data on the beneficial effect of sapropel substances on the culture of spring barley (Hordeum vulgare L.). This positive effect is probably due to the presence of humic compounds in the composition of sapropel, which are known for their biostimulating effect on plant organisms. In addition, local application of sapropel during sowing can contribute to the formation of an optimal microenvironment for the development of a symbiotic microbial community in the soil. The available data open up prospects for further research, namely, elucidation of the structure and taxonomic composition of microbial coenoses in the rhizosphere of spring barley, which are formed under the conditions of the application of sapropel during sowing.

Key words: *spring barley, sapropel, in-row fertilizer application during sowing, organic growing technology.*

Вступ

Ячмінь ярий (*Hordeum vulgare L.*) традиційно посідає одне з ключових місць серед зернових культур у світовій сільськогосподарській практиці. Його значна поширеність зумовлена винятковою стійкістю до різноманітних стресових екологічних умов (Kaso & Guben, 2015). У теперішній час, як на глобальному рівні, так і в межах України, спостерігається загострення проблеми деградації ґрунтових ресурсів та нагальна потреба у відновленні їхньої продуктивної здатності (Hrytsiuk et al., 2020). Одним з ефективних підходів для підвищення родючості ґрунтів є впровадження органічних систем землеробства, що передбачає активне використання органічних добрив. Водночас, застосування органічних добрив у великих обсягах часто виявляється економічно невигідним для аграрних підприємств. У зв'язку з цим, аспект економного локального внесення мінімальних доз органічних добрив для вирощування ячменю ярого наразі потребує досліджень. Україна відіграє вагому роль у світовому виробництві ячменю, експортуючи його до низки держав Африканського та Азійського регіонів (Кирильчук та ін., 2023). Згідно з офіційними статистичними даними, у 2025 році загальна площа посівів ярого ячменю в межах України сягнула 781,4 тис. га, що зумовило збирання 2911,4 тис. т зерна із середньою врожайністю 3,73 т/га (за всіма категоріями господарств). Приміром, на території Київської області культивування ярого ячменю здійснювалося на 46,7 тис. га, звідки було отримано 212,8 тис. т зерна із врожайністю 4,55 т/га (Обсяг ..., 2025). З огляду на викладені факти, оптимізація методів вирощування ячменю ярого постає як першочергове завдання для українських науковців-аграріїв. Регенерація та збереження родючості ґрунтового покриву суттєво залежить від застосування органічних добрив. Натомість, актуальною є практика поверхневого внесення органічних добрив із подальшим глибоким обробітком ґрунту. Ефективні норми застосування при такому підході варіюються у діапазоні 3–20 т/га (Ali et al., 2025). Проте, переважна частина сільськогосподарських підприємств, орієнтованих на виробництво зернових культур,

позбавлена можливості власного продукування органічних добрив і вимушена вдаватися до їх закупівлі. Це нерідко провокує ситуацію, за якої приріст продуктивності з одиниці площі не завжди покриває економічні витрати на їхнє придбання. Відтак, в окреслених умовах доцільним та економічно виправданим заходом представляється локалізоване припосівне внесення біологічних добрив.

Сапропель представляє собою органічне добриво, що володіє значним агрономічним потенціалом для застосування в сільськогосподарському виробництві. Його потенційні сприятливі ефекти для рослин включають збільшення вмісту органічної матерії в ґрунті, активізацію мікробіологічної життєдіяльності та підвищення доступності мінеральних поживних елементів, що є наслідком синергетичної дії згаданих чинників (Grantina-Ievina et al., 2014). Подібно до інших органічних добрив, сапропелі здатні проявляти фітостимулюючий вплив на рослини завдяки присутності гормоноподібних сполук (Arthur et al., 2007). Таким чином, стимуляція ростових процесів рослин може бути зумовлена високою концентрацією гумінових речовин у складі сапропелів (Xu et al., 2012). Зокрема, прісноводний сапропель характеризується багатим вмістом органічних компонентів зі значною фізіологічною активністю, оскільки концентрації різноманітних вітамінів у ньому перевищують аналогічні показники в ґрунтах середньої родючості у 4–25 разів (Liužinas et al., 2005).

Проте, вплив сапропелю на показники продуктвиності ячменю ярого у польових умовах за органічної технології досі не визначений. Окремий науковий інтерес являє собою застосування економних малих доз сапропелю внесенням у рядки під час посіву.

Метою даної роботи є визначення впливу припосівного локального внесення сапропелю у дозі 100 кг/га на окремі показники продуктивності ячменю звичайного ярого в умовах органічної технології вирощування у Лісостепу України.

Матеріал і методи

Польові дослідження проводилися упродовж 2023–2025 років у Київській спеціалізованій філії Українського інституту експертизи сортів рослин (Україна, Київська область, Білоцерківський район). Ґрунт на дослідній ділянці – чорнозем типовий малогумусний. Його щільність (визначена за методом Йовенка) становила 1,18 г/см^3; вміст гумусу (відповідно до ДСТУ 4362:2004) складав 2,54%; кількість азоту, що легко гідролізується (ДСТУ 7863:2015), склала 109,2 мг/кг; концентрація рухомих сполук фосфору та калію (згідно з ДСТУ 4115-2002) становила 129,5 і 94,17 мг/кг відповідно. Агрохімічну та еколого-агрохімічну оцінки ґрунту було визначено на рівнях 62,54 і 56,29 бала. Метеодані для дослідної ділянки збиралися за допомогою польової метеостанції Meteotrek (Bitek, Україна). Погодні умови впродовж вегетаційного періоду ярого ячменю у 2023–2025 роках були тепліші за середню багаторічну норму на 0,5–5,5 °C. У березні 2023 року спостерігалася посуха: кількість опадів склала лише 13 % від норми. Натомість у квітні 2023 року випало рясно опадів, на 34 % більше за середню норму, однак травень і червень виявилися сухими – в ці місяці опадів було відповідно 30 % і 49 % від норми. Березень і квітень 2024 року відзначалися значними дощами – кількість опадів перевищила норму на 47 % та 49 % відповідно. Проте травень, червень та липень 2024 року стали посушливими: кількість опадів дорівнювала лише 17 %, 69 % та 7 % від норми відповідно. У березні й квітні 2025 року також спостерігалася нестача опадів – їх було лише 47 % від норми. Однак травень того ж року був сприятливим для зволоження: кількість опадів перевищила середню багаторічну норму на 46 %. Разом з тим у червні 2025 року знову настала посуха – рівень опадів становив лише 45 % від багаторічної норми, що повторювало умови двох попередніх років.

Умови вирощування та агротехніка в дослідних та контрольному варіантах були однаковими: ячмінь ярий звичайний вирощували за органічною технологією, без використання хімічних засобів захисту рослин і синтетичних мінеральних добрив. Попередником ярого ячменю в експерименті виступала конюшина лучна (*Trifolium pratense*), яку протягом її вегетації скошували двічі, після чого заорювали на глибину 20–22 см.

Рослинним матеріалом слугували сорти ячменю звичайного ярого Командор (Komandor), КВС Крісі (KWS Chrissie) і Абсолют (Absoliut).

Для припосівного внесення застосовували Сапропель гранульовний SaproLife виробництва Кліома Сервіс™ – натуральне органічне добриво з озерного мулу, що містить гумінові кислоти, мікро- та мезоелементи.

Сапропель у нормі 100 кг/га вносили у ґрунт сівалкою при посіві ячменю ярого відповідно до схеми досліду:

Контроль	Сапропель
Без внесення сапропелю	Припосівне внесення у ґрунт у нормі 100 кг/га

Кількість повторень – 3, загальна площа дослідної ділянки 120 м², облікова площа 80 м². Ширина захисних смуг 2 м. Розташування варіантів систематичне.

Густоту стояння рослин оцінювали двічі: після повних сходів і шляхом лабораторного аналізу снопових зразків, відібраних з ідентичних ділянок безпосередньо перед збиранням урожаю.

Рівень збереження рослин до фази збирання (%), число продуктивних стебел на одиницю площі (шт./м²) на момент збирання, коефіцієнт продуктивного кущіння, кількість зерен у колосі (шт.), маса тисячі зерен (г), а також біологічна врожайність (т/га) визначалися за результатами лабораторного аналізу снопових зразків (Методика …, 2016).

Статистичний аналіз отриманих результатів здійснювали методом дисперсійного аналізу із застосуванням програмного забезпечення MS Excel (Редмонд, Вашингтон, США). Різниці між середніми значеннями тестованих варіантів вважалися значущими, коли вони дорівнювали або перевищували розраховану межу найменш значущої різниці $НІР_{0,5}$ (Основи …, 2005).

Результати та їх обговорення

З даних, представлених у табл. 1, видно, що у 2023 році припосівне локальне внесення сапропелю сприяло збільшенню показнику виживаності рослин до збирання на 1–5 %, продуктивної кущистості – на 1–4 %, числа зерен у колосі – на 2–3 %. Такі позитивні тенденції призвели до збільшення біологічного врожаю ячменю звичайного ярого на 6–11 %, у залежності від реакції сорту. Так, наприклад, по сорту Командор біологічна врожайність за дії припосівного локального внесення сапропелю збільшилася у 2023 році на 11 %, порівняно з контрольним варіантом (без внесення сапропелю). По сортам КВС Кріссі і Абсолют ефект від внесення сапропелю був дещо меншим – біологічна урожайність збільшилася, відповідно, на 10 і 6 %.

Через екстремально посушливі умови 2023 року врожайність ячменю ярого була суттєво зменшена. Це пов'язано з фізіологічною відповіддю рослин на умови посухи. Як повідомляють наукові джерела, стресова ситуація, пов'язана з посухою, призводить до закриття продихів зі зниженням обміну вуглекислого газу шляхом зменшення швидкості фотосинтезу, що зрештою зменшує загальну біомасу рослин (Wahid et al., 2007).

Другий рік досліджень (2024) був більш сприятливим за кількістю опадів у березні і квітні, тому рослини мали кращі показники продуктивності у цей рік (на 47–62 %). Припосівне локальне внесення сапропелю у дозі 100 кг/га мало позитивний вплив на такі показники продуктивності ячменю ярого, як виживаність рослин до збирання, продуктивна кущистість, кількість зерен у колосі і маса 1000 зерен (табл. 2).

Таблиця 1

Показники продуктивності ячменю ярого за припосівного локального внесення сапропелю, 2023 рік

Варіант	Польова схожість, %	Виживаність рослин до збирання, %	Кількість продуктивних стебел (шт./м²) перед збиранням	Продуктивна кущистість	Число зерен в колосі, шт.	Маса 1000 зерен, г	Біологічний урожай, т/га
Сорт Командор							
Контроль	92,0	86,4	305	0,96	19,3	46,0	2,7
Сапропель	92,4	91,1	327	0,97	19,8	46,0	3,0
Сорт КВС Кріссі							
Контроль	93,3	97,2	363	1,00	18,5	46,0	3,1
Сапропель	94,0	98,1	376	1,02	19,0	47,0	3,4
Сорт Абсолют							
Контроль	95,0	97,7	379	1,02	19,7	48,0	3,6
Сапропель	95,1	98,3	396	1,06	20,1	48,0	3,8
$НІР_{0,5}$	7,98	7,54	35,9	0,12	1,65	3,96	0,29

Збільшення цих показників за дії припосівного внесення сапропелю було статистично неістотним (на 1–5 %), але сумарна дія таких ефектів призвела до збільшення біологічного врожаю на 7–11 %.

У 2025 році показники продуктивності ячменю ярого були меншими за попередній (2024) рік на 11–15 % (табл. 3).

Проте позитивні тенденції збільшення виживаності рослин до збирання, продуктивної кущистості і кількості зерен у колосі за дії припосівного внесення сапропелю збереглися. Так, виживаність рослин до збирання збільшувалася на 1–5 %, продуктивна кущистість і число зерен у колосі – відповідно, на 1–3 і 1–2 %.

Біологічний урожай ячменю звичайного ярого у 2025 році за дії припосівного локального внесення сапропелю збільшувався на 2–10 %, порівняно з контрольним варіантом (без внесення сапропелю).

За середньою врожайністю ячменю ярого за три роки досліджень (табл. 4) можна судити про сортові відмінності рослин.

Так, сорт Командор мав меншу врожайність (порівняно з сортами КВС Кріссі і Абсолют, відповідно, на 8 і 24 % у контрольному варіанті і на 5 і 20 % за припосівного локального внесення сапропелю), а прибавка врожаю від припосівного внесення сапропелю була по цьому сорту найбільшою у досліді. У середньому за три роки

Таблиця 2

Показники продуктивності ячменю ярого
за припосівного локального внесення сапропелю, 2024 рік

Варіант	Польова схожість, %	Виживаність рослин до збирання, %	Кількість продуктивних стебел (шт./м²) перед збиранням	Продуктивна кущистість	Число зерен в колосі, шт.	Маса 1000 зерен, г	Біологічний урожай, т/га
Сорт Командор							
Контроль	94,1	88,1	468	1,41	20,3	46,5	4,4
Сапропель	95,0	92,8	501	1,42	20,8	47,0	4,9
Сорт КВС Кріссі							
Контроль	95,0	98,9	545	1,45	19,5	45,0	4,8
Сапропель	96,1	99,8	564	1,47	20,0	46,0	5,2
Сорт Абсолют							
Контроль	97,0	99,4	567	1,47	20,7	46,0	5,4
Сапропель	97,2	99,8	586	1,51	21,1	47,0	5,8
$НІР_{0,5}$	8,02	8,75	42,9	0,15	1,77	3,98	0,35

Таблиця 3

Показники продуктивності ярого за припосівного локального внесення сапропелю, 2025 рік

Варіант	Польова схожість, %	Виживаність рослин до збирання, %	Кількість продуктивних стебел (шт./м²) перед збиранням	Продуктивна кущистість	Число зерен в колосі, шт.	Маса 1000 зерен, г	Біологічний урожай, т/га
Сорт Командор							
Контроль	93,2	87,7	396	1,21	20,3	48,1	3,9
Сапропель	93,6	92,4	422	1,22	20,8	48,5	4,3
Сорт КВС Кріссі							
Контроль	94,5	98,5	465	1,25	19,5	46,0	4,2
Сапропель	95,3	99,4	481	1,27	19,6	46,0	4,3
Сорт Абсолют							
Контроль	96,2	99,0	484	1,27	20,7	47,8	4,8
Сапропель	96,3	99,6	503	1,31	21,1	48,1	5,1
$НІР_{0,5}$	8,11	8,64	38,5	0,14	1,91	3,56	0,39

Таблиця 4

Середня врожайність ячменю звичайного ярого за 2023-2025 роки

Сорт	**Варіант**	**Середня врожайність за 2023-2025 роки**	**Прибавка до контролю**	
			ц/га	**%**
Командор	Контроль	37	-	-
	Сапропель	41	4	11
КВС Кріссі	Контроль	40	-	-
	Сапропель	43	3	8
Абсолют	Контроль	46	-	-
	Сапропель	49	3	7
$НІР_{0,5}$		2,5	0,2	0,6

досліджень за припосівного локального внесення гранульованого сапропелю біологічна урожайність ячменю ярого збільшилася на 3–4 ц/га, що склало прибавку врожаю від 7 до 11%, порівняно з контрольним варіантом, де сапропель не вносився.

Попри несприятливі погодні умови 2023 року, ячмінь ярий досліджуваних сортів мав не найгіршу урожайність для зони вирощування. Навіть контрольний варіант (без внесення сапропелю) показав урожай на рівні 2,7–3,6 т/га. Ми відносимо це на рахунок використання конюшини лучної, як попередника для ячменю ярого. Згідно з даними М. Лінге та ін. (Lynge et al., 2022), конюшина лучна, використана як сидерат, дозволяє отримати близько 500 кг/га азоту. В умовах України конюшина лучна, завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями, здатна залишати у ґрунті до 194 кг/га азоту (Козак і Панахид, 2023). Але велика частина цього азоту може бути втрачена через випаровування NH_3, якщо не заробити рештки конюшини у ґрунт. Анаеробне розкладання органічної речовини може підвищити доступність азоту з вихідної сировини (Reimer et al., 2025). Задля запобігання дегуміфікації, повітряної і водної ерозії ґрунтів у органічному землеробстві рекомендується відмова від оранки і заміна її поверхневим обробітком ґрунту (Стандарти). Проте, задля збереження азоту у ґрунті, після дискування конюшини ми проводили оранку на 20–22 см (щоб забезпечити анаеробне розкладання залишків конюшини). Для контролю бур'янів посіви двічі боронували штригельною бороною БП-7 Октавія – у фазі 2–3 листків (ВВСН 12–13) і у фазі кущення (ВВСН 22–23). Покращенню продуктивності ячменю ярого сприяв також біологічний захист від шкідливих організмів і підживлення. Упродовж вегетації проводили 3 обприскування посівів (у фазу кущіння (ВВСН 24–25), у фазі виходу в трубку (ВВСН 33–34) і у фазу наливу зерна (ВВСН 71–73), поєднуючи підживлення із біозахистом від хвороб і шкідників. Підживлення – рідким добривом Квантум-СіАмін. Добриво Квантум-СіАмін є сертифікованими органічними продуктами, рекомендованим для використання у органічному землеробстві (Перелік ..., 2024). Добриво Квантум-СіАмін – це Комплексне добриво на основі екстракту морських водоростей, збагачене важливими елементами живлення. Підживлення суміщали з обробкою рослин біофунгіцидом і біоінсектицидом (Споромакс™В і Бацитоксин). Споромакс™В і Бацитоксин (виробництва «Імекс Агро») є сертифікованими органічними продуктами, рекомендованим для використання у органічному землеробстві (Перелік ..., 2024). Споромакс™В – біологічний фунгіцид широкого спектру дії, що містить живі спори бактерій *Bacillus subtilis*. Бацитоксин – біологічний інсектицид на основі бактерій Bacillus thuringiensis var. Kurstaki. Усі зазначені заходи догляду за посівами ячменю ярого, безумовно, мали сприяти отриманню доброго врожаю.

Наші дослідження підтверджують позитивний вплив сапропелю на рослини ячменю звичайного ярого, описаний іншими науковцями (Klepeckas & Januškaitienė, 2016; Nsengumuremyi et al., 2019; Nazarova et al., 2021). Причиною такого позитивного впливу вбачається наявність у сапропелі гумінових речовин (Stankevica et al., 2019; Jarukas et al., 2021), які, як відомо, мають рістстимулюючий ефект на рослини. До того ж, припосівне локальне внесення сапропелю створює сприятливе середовище для розвитку симбіотичної до рослин ячменю мікрофлори ґрунту (Murunga et al., 2020). Розвиток симбіотичної мікрофлори у ризосфері рослин ячменю ярого, вірогідно, сприяв придушенню патогенної мікрофлори, що позитивно відбилося на показнику виживаності

рослин до збирання, продуктивної кущистості і числа зерен у колосі.

Проте, вплив сапропелю на ріст і розвиток рослин остаточно не з'ясований, результати досліджень залишають ще багато питань. Комплексне фізіологічне дослідження щодо впливу різних концентрацій і доз сапропелю на проростання, фотосинтез і ростові параметри рослин було проведено у контрольованих умовах Grantina-Ievina із співробітниками (Grantina-Ievina et al., 2014): насіння буряка звичайного (*Beta vulgaris L.*), ріпи шведської (*Brassica napus var.napobrassica L.*), моркви (*Daucus carota L.*) та помідорів (*Lycopersicon esculentum L.*) пророщували на водних екстрактах сапропелю з концентрацією від 0 до 50%; насіння озимого жита (*Secale cereale L.*) і салату (*Lactuca sativa L.*) вирощували на кварцевому піску (чистому або з додаванням оптимальної кількості поживних елементів) із додаванням сапропелю (10, 20 і 40 % об'ємних). Зразки прісноводного сапропелю, а також субстрат BioDeposit Agro, що містить сапропель, мали високу біологічну активність щодо стимуляції росту розсади овочевих культур. Вплив сапропелю на ріст рослин у горщикових дослідах був видоспецифічним, оскільки заміна субстрату на оптимальному рівні мінерального забезпечення призвела до значного збільшення накопичення сухої речовини лише у рослин салату, але не у рослин озимого жита. Зразки сапропелю містили відносно високий рівень аеробних гетеротрофних бактерій, високий рівень дріжджів та змінний рівень нитчастих грибів з низьким різноманіттям. Рістстимулююча активність негативно корелювала з кількістю як дріжджів, так і грибів. Кореляції між кількістю бактерій та рістстимулюючою активністю не було виявлено.

Таким чином, вплив сапропелю на показники продуктивності рослин є видоспецифічним і, як показує наше представлене тут дослідження, сортоспецифічним. Вбачається, що це пов'язано зі складними і неоднозначними процесами у мікробіомі ризосфери рослин. Одним із завдань наших подальших досліджень має стати вивчення зміни складу мікробного біоценозу ризосфери ячменю ярого за дії сапропелю.

Висновки

За умов органічної технології вирощування ячменю ярого у Лісостепу України упродовж трьох років досліджень (2023–2025 рр.) припосівне локальне внесення гранульованого сапропелю у дозі 100 кг/га сприяло збільшенню виживаності рослин до фази збирання на 1–5 %, продуктивної кущистості – на 1–4 %, а також кількості зерен у колосі – на 2–3 %.

У середньому за трирічний період досліджень, біологічна урожайність ячменю ярого за дії припосівного внесення сапропелю збільшилася на 3–4 ц/га (залежно від сортових особливостей), що становить приріст від 7 до 11% відносно контрольного варіанту (без внесення сапропелю).

Найбільш позитивний відгук на припосівне внесення сапропелю показав сорт Командор, приріст врожаю якого становив 10–11% упродовж усіх трьох років досліджень.

Список використаної літератури

Кирильчук А. М., Щербиніна Н. П., Чухлєб С. Л. Ячмінь – стан та шляхи збільшення виробництва зерна. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 131. С. 90–103. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.11

Козак Н., Панахид Г. Комбіноване використання конюшини лучної в короткоротаційній сівозміні. *Матеріали XV Міжнародної наукової конференції «Корми і кормовий білок» (19-20 вересня 2023 року)*. Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН. Вінниця. 2023. С. 86–89. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo2023conf

Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. [Електронний ресурс]. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e5c0ed8332.pdf (дата звернення 04.12.2025).

Обсяг виробництва, урожайність та зібрана площа сільськогосподарських культур за їх видами по регіонах. [Електронний ресурс]. URL: https://stat.gov.ua/uk/releases/ploshchi-valovi-zbory-ta-urozhaynist-silskohospodarskykh-kultur (дата звернення 04.12.2025).

Основи наукових досліджень в агрономії / В.О. Єщенко, П.Г.Копитко, В.П. Опришко, П.В. Костогриз; За ред .В.О. Єщенка. Київ : Дія, 2005. 288 с.

Перелік допоміжних продуктів та методів, дозволених для використання в органічному виробництві 2024. Київ : ТОВ «Органік Стандарт», 2024. 150 с. [Електронний ресурс].

URL: https://organicstandard.ua/content/docs/catalogs/list_of_inputs_and_methods_ua.pdf (дата звернення 04.12.2025).

Стандарти. [Електронний ресурс]. URL: https://organicstandard.ua/standards (дата звернення 04.12.2025).

Ali M., Rahul F., Ali S. et al. Impact of organic amendments on soil structure, fertility and growth of plants. In: Kausar, R., Nisa, Z.U., Jamil, M. & Bashir, I. (eds). *Integrated Health and Sustainability: Plants, Wildlife, and Genetic Resilience.* Faisalabad : Unique Scientific Publishers. 2025. P. 183–189. https://doi.org/10.47278/book.HH/2025.295

Arthur G.D., Stirk W.A., Novák O., Hekera P., van Staden J. Occurrence of nutrients and plant hormones (cytokinins and IAA) in the water fern Salvinia molesta during growth and composting. *Environmental and Experimental Botany*. 2007. №61. P. 137–144. http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.002

Grantina-Ievina L., Karlsons A., Andersone-Ozola U., Ievinsh G. Effect of freshwater sapropel on plants in respect to its growth-affecting activity and cultivable microorganism content. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2014. №101(4). P. 355–366. https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.045

Hrytsiuk N., Plotnytska N., Tymoshchuk T., Dovbysh L., Bondareva L. Influence of the tillage on weediness of winter wheat crops in conditions of Ukrainian Polissia. *Scientific Horizons*. 2020. 05 (90). P. 15–21. https://doi.org/10.33249/2663-2144- 2020-90-5-15-21.

Jarukas L., Ivanauskas L., Kasparaviciene G., Baranauskaite J., Marksa M., Bernatoniene, J. Determination of organic compounds, fulvic acid, humic acid, and humin in peat and sapropel alkaline extracts. *Molecules*. 2021. №26(10). 2995. https://doi.org/10.3390/molecules26102995

Kaso T., Guben G. Review of Barley Value Chain Management in Ethiopia. Journal of Biology. *Agriculture and Healthcare.* 2015. №5(10). P. 84–97. [Електронний ресурс]. URL: http://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/22519/23177 (дата звернення 04.12.2025).

Klepeckas M., Januškaitienė I. Changes in Triticum aestivum and Hordeum vulgare chlorophyll content and fluorescence parameters under impact of various sapropel concentrations. *Biologija*. 2016. №62(4). P. 216–226. https://doi.org/10.6001/biologija.v62i4.3409

Liužinas R., Jankevičius K., Šalkauskas M., Mikalajūnas M. 2005. Improvement of lake sapropel quality: a new method. *Geografijos metraštis*. 2005. №38. P. 44–51. [Електронний ресурс]. URL: https://gamtostyrimai.lt/wp-content/uploads/2022/06/275_cd3745c8d557ffdbd1fd8c1950e00035.pdf (дата звернення 04.12.2025).

Lynge M., Lakkenborg Kristensen H., Grevsen K., Nygaard Sorensen J. Strategies for high nitrogen production and fertilizer value of plant-based fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science.* 2022. 186 (1). P. 105–115. https://doi.org/10.1002/jpln.202200031

Murunga S.I., Wafula E.N., Sang J. The use of freshwater sapropel in agricultural production: A new frontier in Kenya. *Advances in Agriculture*. 2020. №1. 8895667. https://doi.org/10.1155/2020/8895667

Nazarova T.V., Dmitriyev P.S., Baryshnikov G.Y. Using the Extract of "Saprolin" for Enhancing Grain Crops. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. №670(1). 012002. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/670/1/012002

Nsengumuremyi D., Adadi P., Ukolova M. V., Barakova N. V. Effects of ultradisperse humic sapropel suspension on microbial growth and fermentation parameters of barley distillate. *Fermentation*. 2019. №5(1). P. 24. https://doi.org/10.3390/fermentation5010024

Reimer M., Møller H.B., Sørensen P. Utilization of cattle slurry, biogas digestates and separated digestates by injection to organically managed spring barley. *European Journal of Agronomy*. 2025. №164. 127457. https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127457

Stankevica K., Vincevica-Gaile Z., Klavins M. Role of humic substances in agriculture and variability of their content in freshwater lake sapropel. *Agronomy Research*. 2019. №17(3). P. 850–861. https://doi.org/10.15159/AR.19.094

Wahid A., Gelani S., Ashraf M., Foolad M.R. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*. 2007. №61(3). P. 199–223. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011

Xu D., Liu D., Tang Z., Yu G., Yuan J., Shen Q., Huang Q. Structure of chemical components in different compost extracts characterized by chromatogram and spectroscopy analysis and its influence on plant growth promotion. *Journal of Material Cycles and Waste Management.* 2012. №14. P. 325–333. http://doi.org/10.1007/s10163-012-0071-z

References

Kyrylchuk, A.M., Shcherbynina, N.P., & Chukhlieb, S.L. (2023). Yachmin – stan ta shliakhy zbilshennia vyrobnytstva zerna. [Barley – status and ways to increase grain production]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin],* 131, 90–103. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.11 [in Ukrainian]

Kozak, N., & Panahid, G. (2023). Kombinovane vykorystannia koniushyny luchnoi v korotkorotatsiinii sivozmini. [Combined use of meadow clover in short-rotation crop rotation]. *Materialy XV Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii «Kormy i kormovyi bilok» (19-20 veresnia 2023 roku). Instytut kormiv ta silskoho hospodarstva Podillia NAAN. Vinnytsia.* [Proceedings of the XV International Scientific Conference «Feeds and Feed Protein» (September 19–20, 2023). Institute of Feed and Agriculture of Podillia NAAS. Vinnytsia], 86–89. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo2023conf [in Ukrainian]

Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini (2016). [Methodology for conducting a qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine]. [Electronic resource] URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e5c0ed8332.pdf (access date 04.12.2025) [in Ukrainian]

Obsiah vyrobnytstva, urozhainist ta zibrana ploshcha silskohospodarskykh kultur za yikh vydamy po rehionakh. [Production volume, yield and harvested area of agricultural crops by type by region]. [Electronic resource] URL: https://stat.gov.ua/uk/releases/ploshchi-valovi-zbory-ta-urozhaynist-silskohospodarskykh-kultur (access date 04.12.2025) [in Ukrainian]

Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii (2005). [Fundamentals of scientific research in agronomy] / Yeshchenko V.O., Kopytko P.G., Opryshko V.P., Kostogryz P.V.; Edited by V.O. Yeshchenko. Kyiv: Diya. 288 p. [in Ukrainian]

Perelik dopomizhnykh produktiv ta metodiv, dozvolenykh dlia vykorystannia v orhanichnomu vyrobnytstvi (2024). [List of auxiliary products and methods permitted for use in organic production] Kyiv: Organic Standard LLC, 150 p. [Electronic resource] URL: https://organicstandard.ua/content/docs/catalogs/list_of_inputs_and_methods_ua.pdf (access date 04.12.2025) [in Ukrainian]

Standards. [Standards]. [Electronic resource] URL: https://organicstandard.ua/standards (access date 04.12.2025) [in Ukrainian]

Ali, M., Rahul, F., Ali, S. et al. (2025). Impact of organic amendments on soil structure, fertility and growth of plants. In: Kausar, R., Nisa, Z.U., Jamil, M. & Bashir, I. (eds). *Integrated Health and Sustainability: Plants, Wildlife, and Genetic Resilience.* Faisalabad : Unique Scientific Publishers, 183–189. https://doi.org/10.47278/book.HH/2025.295 [in English]

Arthur , G. D., Stirk, W. A., Novák, O., Hekera, P., van Staden, J. (2007). Occurrence of nutrients and plant hormones (cytokinins and IAA) in the water fern Salvinia molesta during growth and composting. *Environmental and Experimental Botany,* 61, 137–144. http://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.002 [in English]

Grantina-Ievina, L., Karlsons, A., Andersone-Ozola, U., Ievinsh, G. (2014). Effect of freshwater sapropel on plants in respect to its growth-affecting activity and cultivable microorganism content. *Zemdirbyste-Agriculture,* 101(4), 355–366. https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.045 [in English]

Hrytsiuk, N., Plotnytska, N., Tymoshchuk, T., Dovbysh, L., Bondareva, L. (2020). Influence of the tillage on weediness of winter wheat crops in conditions of Ukrainian Polissia. *Scientific Horizons,* 05 (90), 15–21. https://doi.org/10.33249/2663-2144- 2020-90-5-15-21 [in English]

Jarukas, L., Ivanauskas, L., Kasparaviciene, G., Baranauskaite, J., Marksa, M., Bernatoniene, J. (2021). Determination of organic compounds, fulvic acid, humic acid, and humin in peat and sapropel alkaline extracts. *Molecules,* 26(10), 2995. https://doi.org/10.3390/molecules26102995 [in English]

Kaso, T., & Guben, G. (2015). Review of Barley Value Chain Management in Ethiopia. Journal of Biology. *Agriculture and Health care,* 5(10), 84–97. [Electronic resource] URL: http://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/22519/23177 (access date 04.12.2025) [in English]

Klepeckas, M., & Januškaitienė, I. (2016). Changes in Triticum aestivum and Hordeum vulgare chlorophyll content and fluorescence parameters under impact of various sapropel concentrations. *Biologija,* 62(4), 216–226. https://doi.org/10.6001/biologija.v62i4.3409 [in English]

Liužinas, R., Jankevičius, K., Šalkauskas, M., Mikalajūnas, M. (2005). Improvement of lake sapropel quality: a new method. *Geografijos metraštis,* 38, 44–51. [Electronic resource] URL:

https://gamtostyrimai.lt/wp-content/uploads/2022/06/275_cd3745c8d557ffdbd1fd8c1950e00035.pdf (access date 04.12.2025) [in English]

Lynge, M., Lakkenborg Kristensen, H., Grevsen, K., & Nygaard Sorensen, J. (2022). Strategies for high nitrogen production and fertilizer value of plant-based fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science,* 186 (1), 105–115. https://doi.org/10.1002/jpln.202200031 [in English]

Murunga, S.I., Wafula, E.N., & Sang, J. (2020). The use of freshwater sapropel in agricultural production: A new frontier in Kenya. *Advances in Agriculture,* 1, 8895667. https://doi.org/10.1155/2020/8895667 [in English]

Nazarova, T.V., Dmitriyev, P.S., & Baryshnikov, G.Y. (2021). Using the Extract of "Saprolin" for Enhancing Grain Crops. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* 670(1), 012002. IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/670/1/012002 [in English]

Nsengumuremyi, D., Adadi, P., Ukolova, M.V., & Barakova, N.V. (2019). Effects of ultradisperse humic sapropel suspension on microbial growth and fermentation parameters of barley distillate. *Fermentation,* 5(1), 24. https://doi.org/10.3390/fermentation5010024 [in English]

Reimer, M., Møller, H.B., & Sørensen, P. (2025). Utilization of cattle slurry, biogas digestates and separated digestates by injection to organically managed spring barley. *European Journal of Agronomy,* 164, 127457. https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127457 [in English]

Stankevica, K., Vincevica-Gaile, Z., & Klavins, M. (2019). Role of humic substances in agriculture and variability of their content in freshwater lake sapropel. *Agronomy Research,* 17(3), 850–861. https://doi.org/10.15159/AR.19.094 [in English]

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany,* 61(3), 199–223. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011 [in English]

Xu, D., Liu, D., Tang, Z., Yu, G., Yuan, J., Shen, Q., & Huang, Q. (2012). Structure of chemical components in different compost extracts characterized by chromatogram and spectroscopy analysis and its influence on plant growth promotion. *Journal of Material Cycles and Waste Management,* 14, 325–333. http://doi.org/10.1007/s10163-012-0071-z [in English]

Дата першого надходження статті до видання: 23.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 635.657:631.526.32
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.18

АНАЛІЗ СОРТОВИХ РЕСУРСІВ НУТУ ЗВИЧАЙНОГО ЗА КОМПЛЕКСОМ ГОСПОДАРСЬКО-ЦІННИХ ОЗНАК В УКРАЇНІ

А. М. Рибальченко[1], А. В. Баган[2]

Одним із головних завдань ефективного виробництва зерна нуту є визначення факторів, що здатні впливати на урожайність культури. До таких факторів належать підбір сортів, що є адаптованими до ґрунтово-кліматичних умов зони вирощування. Варто враховувати сортові особливості нуту та господарсько-цінні ознаки для успішного вирощування культури. Сорти нуту характеризуються показниками господарської придатності, зокрема урожайністю, тривалістю періоду вегетації, висотою рослин, висотою прикріплення нижнього бобу, масою 1000 зерен, вмістом білка, стійкістю до вилягання рослин, стійкістю до обсипання насіння, стійкістю до посухи, стійкістю до аскохітозу, стійкістю до кореневих гнилей, стійкістю до зернівки.
У статті наведено результати дослідження, виконані на основі аналізу сортів нуту за показниками господарської придатності, що наявні в Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні на 2025 рік.
За рівнем урожайності сорти Державного реєстру розподілилися таким чином: Зехавіт – 3,9 т/га, Лара – 3,4 т/га, Кіра – 3,3 т/га, Єва – 3,2 т/га, Вента – 2,8 т/га, Зодіак – 2,8 т/га, Козерог – 2,7 т/га, Октавіус – 2,5 т/га, Овен – 2,0 т/га. Найбільш скоростиглим сортом нуту Державного реєстру був сорт Лара (74 доби), найбільш пізньостиглі сорти нуту – Вента, Октавіус (95 діб). Максимальний показник маси 1000 зерен формували сорти нуту Державного реєстру: Овен – 475 г, Козерог – 440 г, Зехавіт – 430 г. Максимальний вміст білка в зерні нуту – 28 % – відзначено у сорту Зодіак і сорту нуту Овен – 26,5 %.
Висота рослин у сортів нуту Державного реєстру максимальною була у сорту Вента – 70 см, мінімальною у сорту Зехавіт – 53 см. Висота прикріплення нижнього бобу найвищою була у сорту нуту Зехавіт – 28,5 см, у сорту Вента вона становила 25 см, Єва – 22 см, у сортів Кіра, Козерог, Октавіус – 20 см, у сорту Овен – 19 см, у сортів Лара, Зодіак – 18 см.
Важливим фактором у виборі сортів нуту до вирощування в певних ґрунтово-кліматичних умовах є їх стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища. Стійкість сортів нуту до вилягання становила 7–9 балів, у сорту нуту Кіра – 9 балів, Зодіак – 9 балів. Показник стійкості до обсипання насіння у сортів нуту становив 6–9 балів, у сорту нуту Кіра – 9 балів,

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: anna.rybalchenko@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0002-2308-7853
[2] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: alla.bagan@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0001-8851-5081

Козерог – 9 балів, Овен – 9 балів. Показник стійкості до обсипання насіння у сортів нуту становив 6–9 балів, у сорту нуту Кіра – 9 балів, Козерог – 9 балів, Овен – 9 балів. Стійкість до аскохітозу у сортів нуту перебувала в межах 6–9 балів, у сорту Зодіак – 9 балів, Овен – 9 балів. Стійкість до кореневих гнилей у сортів нуту перебувала в межах 5–8 балів, у сорту Зодіак – 8 балів, Козерог – 8 балів, Овен – 8 балів. Стійкість до зернівки у сортів нуту становила 5–9 балів, у сорту Овен – 9 балів.
Дослідження бази сортів нуту дасть можливість підвищити ефективність виробництва зерна нуту в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Ключові слова: *нут, сорт, сортові ресурси, урожайність, господарсько-цінні ознаки.*

ANALYSIS OF VARIETAL RESOURCES OF CHICKPEA BY A COMPLEX OF ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS IN UKRAINE

A. M. Rybalchenko, A. V. Bahan

One of the main tasks for effective chickpea production is to identify factors that can affect crop yields. These factors include the selection of varieties that are adapted to the soil and climatic conditions of the growing area. It is important to consider the varietal characteristics of chickpeas and their economic value for successful cultivation. Chickpea varieties are characterized by economic suitability indicators, in particular yield, length of the growing season, plant height, height of the lower pod attachment, weight of 1,000 grains, protein content, resistance to lodging, resistance to seed shedding, resistance to drought, resistance to ascochytosis, resistance to root rot, and resistance to grain rot. The article presents the results of a study based on the analysis of chickpea varieties according to economic suitability indicators listed in the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2025. In terms of yield, the varieties in the State Register were distributed as follows: Zehavit – 3.9 t/ha, Lara – 3.4 t/ha, Kira – 3.3 t/ha, Eva – 3.2 t/ha, Venta – 2.8 t/ha, Zodiac – 2.8 t/ha, Kozeroh – 2.7 t/ha, Octavius – 2.5 t/ha, Oven – 2.0 t/ha. The earliest maturing chickpea variety in the State Register was Lara (74 days), while the latest maturing varieties were Venta and Octavius (95 days). The maximum weight of 1,000 grains of chickpea varieties in the State Register was formed by: Oven – 475 g, Kozeroh – 440 g, Zechavit – 430 g. The maximum protein content in chickpea grains was 28% in the Zodiac variety and 26.5% in the Oven variety.
The maximum plant height among the chickpea varieties listed in the State Register was 70 cm for the Venta variety, and the minimum was 53 cm for the Zehavit variety. The height of the lower pod attachment was highest in the Zehavit chickpea variety – 28.5 cm, in the Venta variety it was 25 cm, in the Eva variety – 22 cm, in the Kira, Kozeroh and Octavius varieties – 20 cm, in the Oven variety – 19 cm, and 18 cm for the Lara and Zodiac varieties.
An important factor in selecting chickpea varieties for cultivation in specific soil and climatic conditions is their resistance to adverse environmental conditions. The resistance of chickpea varieties to lodging was 7–9 points, with the Kira chickpea variety scoring 9 points and Zodiac scoring 9 points. The resistance to seed shedding in chickpea varieties was 6–9 points, with the Kira chickpea variety scoring 9 points, Kozeroh 9 points, and Oven 9 points. The seed shedding resistance score for chickpea varieties was 6–9 points, with the Kira chickpea variety scoring 9 points, Kozeroh 9 points, and Oven 9 points. Resistance to ascochytosis in chickpea varieties ranged from 6 to 9 points, with the Zodiac variety scoring 9 points and Oven scoring 9 points.
Research into the chickpea variety base will make it possible to increase the efficiency of chickpea production in specific soil and climatic conditions.

Key words: *nut, variety, varietal resources, yield, economically valuable features.*

Вступ

Нут – високобілкова, продуктивна, посухостійка й економічно вигідна культура, що має важливе продовольче та екологічне значення. Культура нуту відзначається високим рівнем посухостійкості та здатна давати економічно обґрунтовані врожаї там, де вирощування інших зернобобових культур є збитковим. Білок нуту характеризується унікальною цінністю, а також він повністю збалансований за вмістом незамінних амінокислот (Pantsyreva et al., 2021; Любич та ін., 2023; Bahan et al., 2024).

Вітчизняні вчені відзначають, що станом на 2021 рік Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні, налічував 19 сортів нуту звичайного (*Cicer arietinum L.*). Для нуту звичайного основним шкідником є бобова зернівка (*Bruchus rufimanus Boh.*), а хворобами – аскохітоз

(*Ascochyta ervicola Syd.*) і кореневі гнилі (*Bipolaris sorokiniana Shoem*) (Мазур та ін., 2022b).

Станом на 2023 рік Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні, містив 20 сортів нуту звичайного. Частка сортів вітчизняної селекції становить 75 %. Компанії іноземної селекції представлено німецькою Klose Breeding International GmbH (сорти нуту Єва, Кіра, Лара), румунською Saaten union Romania Srl. (сорт нуту Родіон) та ізраїльською Hazera Seeds Ltd. (сорт нуту Зехавіт). Сорти нуту звичайного іноземної селекції відрізняються високою потенційною урожайністю, стійкістю до вилягання та розтріскування бобів. Сорти вітчизняної селекції добре адаптовані до умов вирощування, відрізняються стійкістю до хвороб і посухи, забезпечують стабільну урожайність в регіонах із недостатнім вологозабезпеченням. Інтенсивна селекційна робота в Україні з культурою нуту звичайного започаткована в Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннєзнавства та сортовивчення НААН України. У цій науково-дослідній установі було створено такі сорти нуту звичайного, як Буджак, Тріумф, Скарб, Ярина, Достаток, Маестро, Одисей, Пам'ять (Любченко та ін., 2023; Січкар та ін., 2024).

Державне сортовипробування нуту звичайного ґрунтується на експериментальній оцінці морфологічних, біологічних, а також цінних господарських ознаках сортів рослин, встановлення їх придатності для використання з дотриманням екологічних, технологічних принципів на основі загальноприйнятих методик (Гончар, 2023).

Правильний вибір сорту нуту звичайного та технології вирощування можуть значно підвищити врожайність культури в складних умовах для ведення рослинництва (Колояніді та ін., 2025).

Нут (*Cicer arietinum L.*) характеризується високою посухостійкістю та є однією з найпосухостійкіших зернобобових культур. Посухостійкість нуту обумовлена глибокою і добре розвиненою кореневою системою, що здатна використовувати вологу з глибоких шарів ґрунту. Також на посухостійкість нуту впливає здатність рослини зменшувати інтенсивність транспірації, відносно короткий вегетаційний період, біологічна здатність формувати урожай навіть за недостатньої кількості опадів. Найчутливіші періоди у нуту до нестачі вологи – фаза бутонізації, цвітіння та наливання насіння (Чернік і Тригуба, 2023).

Надлишкова волога для нуту небажана, оскільки сприяє розвитку хвороб. Нут успішно вирощують у посушливих степових і напівпосушливих регіонах. Культура забезпечує стабільні врожаї навіть за тривалих періодів без опадів (Yeremko et al., 2025).

Збільшення посівних площ нуту здатне забезпечити підвищення родючості ґрунту, а також вирішить проблему виробництва харчового та кормового білка для забезпечення економічної ефективності господарств. Останнім часом спостерігається зміна кліматичних умов, а саме подовження тривалості посушливих періодів під час вегетації сільськогосподарських культур. У такій ситуації досить актуальним є вирощування посухостійких культур. Нут звичайний серед зернобобових культур є типовим ксерофітом. У посушливих умовах вегетації нут звичайний формує досить високий рівень урожайності, що робить цю культуру унікальною (Петриченко та ін., 2023).

Головною особливістю зернобобових культур є їх здатність фіксувати азот із повітря та забезпечувати практично повністю формування урожаю. Такі зернобобові культури, як горох, соя, нут, сочевиця, здатні за період вегетації зв'язувати до 100–150 кг/га азоту в діючій речовині, що є еквівалентним внесенню до 300 кг аміачної селітри у ґрунт. Також кореневі рештки зернобобових культур є одним із головних джерел збільшення вмісту гумусу (Січкар та ін., 2023).

Основними аспектами в селекції нуту є напрям підвищення урожайності та стійкості до хвороб, шкідників, екстремальних температур, покращення харчових якостей продукції (Мазур та ін., 2022a).

Перспективним є створення продовольчих сортів нуту, насіння яких користується на ринку високим попитом. Доцільно використовувати вихідний матеріал морфотипу kabuli для створення таких сортів. Сорти цього типу нуту формують крупне насіння округлої форми з оболонкою світло-жовтого кольору (Баган та ін., 2023).

Для ефективного вирощування у виробництві зернобобових культур необхідним є вивчення сортового різноманіття для максимальної реалізації генетичного потенціалу зернобобових культур в умовах конкретного регіону (Рибальченко і Іваненко, 2024).

Мета дослідження – проаналізувати сортові ресурси нуту в Україні за комплексом

господарсько-цінних ознак (урожайністю, тривалістю періоду вегетації, висотою рослин, висотою прикріплення нижнього бобу, масою 1000 зерен, вмістом білка, стійкістю до вилягання рослин, стійкістю до обсипання насіння, стійкістю до посухи, стійкістю до аскохітозу, стійкістю до кореневих гнилей).

Матеріал і методи

Дослідження сортового складу нуту за показниками господарської придатності здійснено на основі аналізу Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні на 2025 рік (Державний …, 2025), офіційних описів сортів рослин за показниками господарської придатності в Інформаційно-довідковій системі «Сорт» (Офіційні …, 2025). Стійкість сортів нуту до хвороб, шкідників, посухи, вилягання рослин і обсипання насіння визначено за дев'ятибальною шкалою (1–9 балів), згідно з якою 9 балів – найвища стійкість, а 1 бал – найнижча. Використовують таку градацію стійкості: 9 балів – відмінна; 7 балів – добра; 5 балів – задовільна; 3 бали –погана; 1 бал – дуже погана. Кореляційний аналіз досліджуваних ознак проведено відповідно до загальноприйнятої методики (Єщенко та ін., 2005).

Результати та їх обговорення

Сорти нуту за державної кваліфікаційної експертизи з визначення придатності до поширення в Україні обов'язково оцінюють за показниками господарської придатності. Агроекологічну стійкість сортів нуту до хвороб та шкідників визначають за величиною показників стійкості до ураження найпоширенішими хворобами та шкідниками. Державний реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні, станом на 10.12.2025 налічує 9 сортів нуту як вітчизняного, так і іноземного походження (5 сортів вітчизняної селекції та 4 іноземної): Вента (UA), рік реєстрації 2024, Єва (DE) – 2020 рік, Зехавіт (IL) – 2019 рік, Зодіак (UA) – 2019 рік, Кіра (DE) – 2020 рік, Козерог (UA) – 2019 рік, Лара (DE) – 2020 рік, Овен (UA) – 2019 рік, Октавіус (UA) – 2023 рік.

Основними господарсько-цінними ознаками сортів нуту є урожайність, тривалість періоду вегетації, висота рослин, висота прикріплення нижнього бобу, маса 1000 зерен, вміст білка, а також показники агроекологічної стійкості.

Головним показником у підборі сортів нуту до вирощування є їх урожайність. Вона варіювала у сортів нуту від 2,0 до 3,9 т/га. За рівнем урожайності сорти Державного реєстру розподілилися таким чином: Зехавіт – 3,9 т/га, Лара – 3,4 т/га, Кіра – 3,3 т/га, Єва – 3,2 т/га, Вента – 2,8 т/га, Зодіак – 2,8 т/га, Козерог – 2,7 т/га, Октавіус – 2,5 т/га, Овен – 2,0 т/га. Встановлено, що урожайність у сортів нуту Державного реєстру змінювалась на 1,9 т/га.

Тривалість періоду вегетації у сортів нуту Державного реєстру становила: Лара – 74 доби, Кіра – 76 діб, Єва – 78 діб, Зодіак, Овен – 81 доба, Козерог – 85 діб, Зехавіт – 90 діб, Вента, Октавіус – 95 діб. Найбільш скоростиглим сортом нуту Державного реєстру був сорт Лара (74 доби), найбільш пізньостиглі сорти нуту – Вента, Октавіус (95 діб).

На показник маси 1000 зерен впливають: сортові особливості, забезпечення вологою, рівень мінерального живлення, густота стояння, погодні умови протягом періоду вегетації. Показник маси 1000 зерен у сортів нуту варіював у межах від 290 до 475 г. За рівнем формування маси 1000 зерен сорти нуту Державного реєстру розподілилися таким чином: Овен – 475 г, Козерог – 440 г, Зехавіт – 430 г, Вента – 360 г, Кіра – 350 г, Лара – 330 г, Єва, Октавіус – 310 г, Зодіак – 290 г.

Висота рослин у сортів нуту Державного реєстру становила у сорту Вента 70 см, Лара, Октавіус – 65 см, Кіра, Козерог – 60 см, Зодіак, Овен – 57 см, Зехавіт – 53 см. Висота прикріплення нижнього бобу найвищою була у сорту нуту Зехавіт – 28,5 см, у сорту Вента вона становила 25 см, Єва – 22 см, у сортів Кіра, Козерог, Октавіус – 20 см, у сорту Овен – 19 см, у сортів Лара, Зодіак – 18 см.

Нут є цінною білковою культурою з добре збалансованим амінокислотним складом, що робить його важливим продуктом харчування та кормовою сировиною. Максимальний вміст білка в зерні нуту – 28 % – відзначено у сорту Зодіак та сорту нуту Овен – 26,5 %, у сорту Лара – 26,2 %, Кіра – 26 %, Єва – 25,9 %, Козерог, Октавіус – 25 %, Зехавіт, Вента – 23 % (табл. 1).

Важливим фактором у виборі сортів нуту до вирощування в певних ґрунтово-кліматичних умовах є їх стійкість до несприятливих умов навколишнього середовища, а саме: стійкість до вилягання рослин, стійкість до обсипання насіння, стійкість до посухи, стійкість до хвороб і шкідників.

Стійкість сортів нуту до вилягання становила 7–9 балів: у сорту нуту Кіра – 9 балів, Зодіак – 9 балів, Лара – 8 балів, Єва – 8 балів,

Таблиця 1

Показники господарської придатності сортів нуту

Сорт	Урожайність, т/га	Тривалість періоду вегетації, діб	Висота рослин, см	Висота прикріплення нижнього бобу, см	Маса 1000 зерен, г	Вміст білка, %
Зехавіт	3,9	90	53	28,5	430	23
Лара	3,4	74	65	18	330	26,2
Кіра	3,3	76	60	20	350	26
Єва	3,2	78	65	22	310	25,9
Вента	2,8	95	70	25	360	23
Зодіак	2,8	81	57	18	290	28
Козерог	2,7	85	60	20	440	25
Октавіус	2,5	95	65	20	310	25
Овен	2,0	81	57	19	475	26,5

Таблиця 2

Стійкість сортів нуту до несприятливих екологічних умов вегетації

Сорт	Стійкість, балів					
	до вилягання рослин	до обсипання насіння	до посухи	до аскохітозу	до кореневої гнилі	до зернівки
Зехавіт	7	6	5	6	5	5
Лара	8	8	9	7	7	7
Кіра	9	9	8	7	7	7
Єва	8	8	8	8	7	7
Вента	8	8	7	7	7	7
Зодіак	9	8	9	9	8	8
Козерог	8	9	9	8	8	8
Октавіус	8	8	7	7	7	7
Овен	8	9	8	9	8	9

Вента – 8 балів, Козерог – 8 балів, Октавіус – 8 балів, Овен – 8 балів, Зехавіт – 7 балів.

Стійкість до обсипання насіння у сортів нуту становила 6–9 балів: у сорту нуту Кіра – 9 балів, Козерог – 9 балів, Овен – 9 балів, Лара – 8 балів, Єва – 8 балів, Вента – 8 балів, Зодіак – 8 балів, Октавіус – 8 балів, Зехавіт – 6 балів.

Стійкість до посухи у сортів нуту становила 5–9 балів: у сорту Лара – 9 балів, Зодіак – 9 балів, Козерог – 9 балів, Кіра – 8 балів, Єва – 8 балів, Овен – 8 балів, Вента – 7 балів, Октавіус – 7 балів, Зехавіт – 5 балів.

Стійкість до аскохітозу у сортів нуту перебувала в межах 6–9 балів: у сорту Зодіак – 9 балів, Овен – 9 балів, Єва – 8 балів, Козерог – 8 балів, Лара – 7 балів, Кіра – 7 балів, Вента – 7 балів, Октавіус – 7 балів, Зехавіт – 6 балів.

Стійкість до кореневих гнилей у сортів нуту перебувала в межах 5–8 балів: у сорту Зодіак – 8 балів, Козерог – 8 балів, Овен – 8 балів, Лара – 7 балів, Кіра – 7 балів, Єва – 7 балів, Вента – 7 балів, Октавіус – 7 балів, Зехавіт – 5 балів.

Стійкість до зернівки у сортів нуту становила 5–9 балів: у сорту Овен – 9 балів, Зодіак – 8 балів, Козерог – 8 балів, Лара – 7 балів, Кіра – 7 балів, Єва – 7 балів, Вента – 7 балів, Октавіус – 7 балів, Зехавіт – 5 балів.

За ознаками, що вивчалися, було проведено кореляційний аналіз. Слабкі позитивні кореляційні зв'язки встановлено між тривалістю вегетаційного періоду та масою 1000 зерен (r = 0,12), між масою 1000 зерен та стійкістю до зернівки (r = 0,15), між тривалістю вегетаційного періоду та висотою рослин (r = 0,18), між висотою рослин та стійкістю до вилягання рослин (r = 0,10), між висотою рослин та стійкістю до кореневих гнилей (r = 0,16), між висотою рослин та стійкістю до посухи (r = 0,19), між висотою рослин та стійкістю до обсипання насіння (r = 0,24), між висотою прикріплення нижнього бобу та масою 1000 зерен (r = 0,27).

Позитивний кореляційний зв'язок відзначено лише між урожайністю та висотою прикріплення нижнього бобу (r = 0,51) (рис. 1).

Позитивний середній кореляційний зв'язок встановлено між стійкістю до вилягання рослин та стійкістю до обсипання насіння (r = 0,64), між стійкістю до вилягання рослин та стійкістю до посухи (r = 0,67), між стійкістю до вилягання рослин та стійкістю до аскохітозу (r = 0,50), між стійкістю до вилягання рослин та стійкістю до кореневих гнилей (r = 0,64), між стійкістю до вилягання рослин та стійкістю до зернівки (r = 0,52), між стійкістю до обсипання насіння та вмістом білка (r = 0,50).

Встановлено сильні позитивні кореляційні зв'язки між стійкістю до вилягання рослин та вмістом білка (r = 0,71), між стійкістю до обсипання насіння та стійкістю до посухи (r = 0,74), між стійкістю до обсипання насіння та стійкістю до кореневих гнилей (r = 0,85), між стійкістю до обсипання насіння та стійкістю до зернівки (r = 0,83), між стійкістю до зернівки та стійкістю до кореневих гнилей (r = 0,95), між стійкістю до аскохітозу та стійкістю до кореневих гнилей (r = 0,85).

Між стійкістю до посухи та такою важливою господарською ознакою, як вміст білка, встановлено найбільш сильний позитивний кореляційний зв'язок (r = 0,76) (рис. 2).

Проведення кореляційного аналізу між цінними господарськими ознаками нуту підвищує ефективність селекційного процесу та забезпечує створення високопродуктивних і стійких сортів.

Висновки

Нут є цінною сільськогосподарською культурою універсального призначення. На цей час в Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення в Україні, сортимент нуту представлений 9 сортами. На основі аналізу сортових ресурсів нуту за комплексом господарсько-цінних ознак в Україні виділено сорти, які відрізнялися високою урожайністю насіння, стійкістю до вилягання рослин та обсипання насіння, вмістом білка, стійкістю до шкідників і хвороб. Сучасні сортові ресурси дають можливість підібрати адаптивний до відповідних ґрунтово-кліматичних умов сорт нуту, що буде стійким до хвороб, несприятливих умов навколишнього середовища.

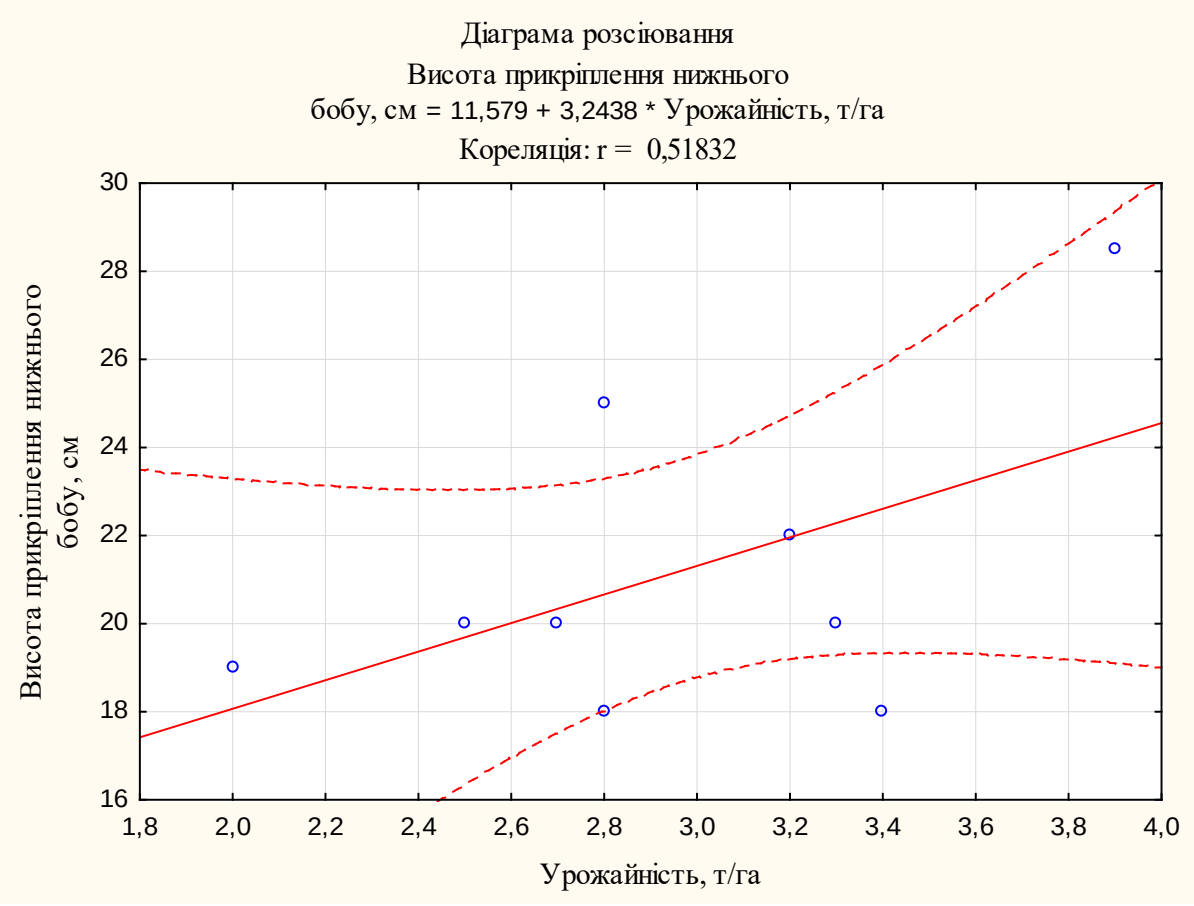


Рис. 1. Кореляційна залежність між висотою прикріплення нижнього бобу й урожайністю

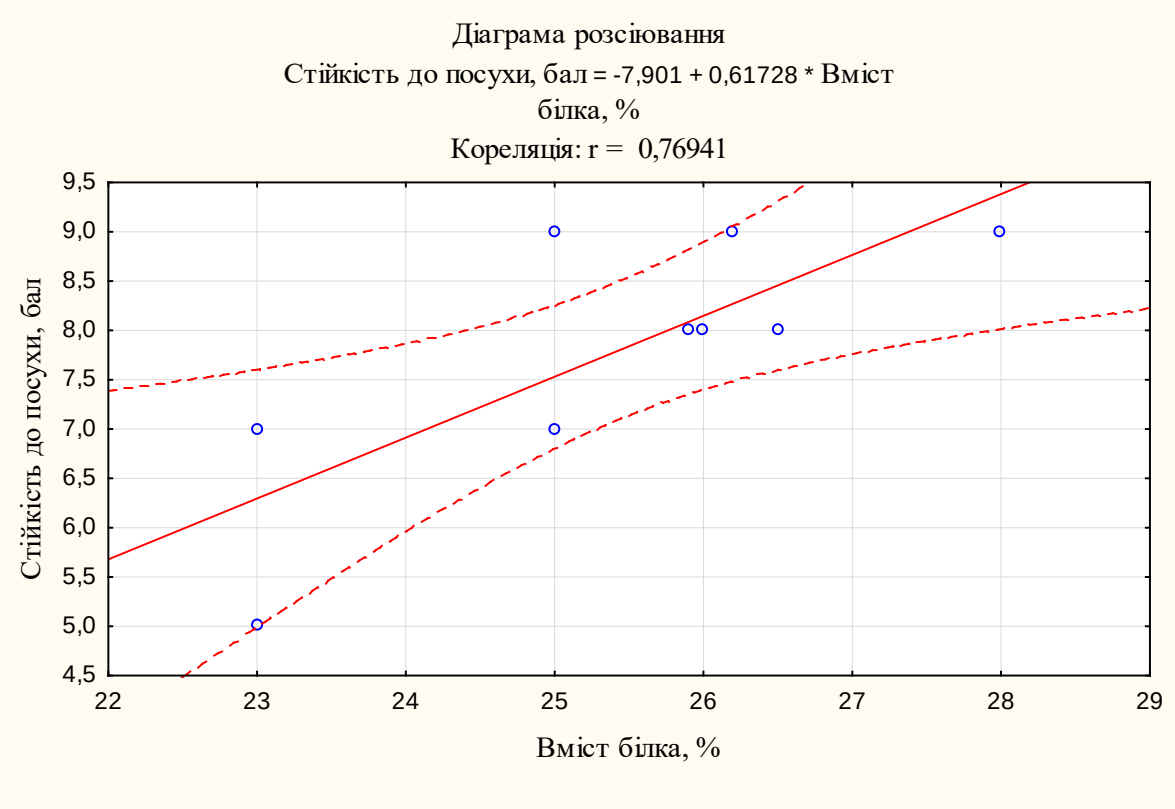


Рис. 2. Кореляційна залежність між стійкістю до посухи та вмістом білка

Список використаної літератури

Баган А.В., Шакалій С.М., Барат Ю.М. Формування насіннєвої продуктивності нуту залежно від сорту та інокуляції насіння. *Таврійський науковий вісник.* 2020. Вип. 111. С. 14–21. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.2.

Гончар М.В. Дослідження сортових ресурсів нуту (Cicer Arietinum L.) в Україні. *Аграрні інновації.* 2023. № 22. С. 31–35. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.5

Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2025 рік. Київ, 2025. [Електронний ресурс]. URL: https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin (дата звернення 10.12.2025).

Єщенко В.О., Копитко П.Г., Опришко В.П., Костогриз П.В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Дія, 2005. 288 с.

Колояніді Н.О., Зелінський Ю.А. Сучасні сорти нуту (Cicer Arietinum L.) для півдня України. *Аграрні інновації.* 2025. № 29. С. 319–324. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.49.

Любич В.В., Красноштан В.І., Войтовська В.І., Климович Н.М. Формування якості насіння різних сортів нуту. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва.* 2023. Вип. 102. Ч. 1. С. 109–115. https://doi:10.32782/2415-8240-2023-102-1-109-115.

Любченко І.О., Любченко А.І., Баландюк М.С., Дем'янок Д.Р. Сортові ресурси нуту в Україні. *Селекційно-генетична наука і освіта (Парієві читання) :* матеріали XII Міжнародної наукової конференції (м. Умань, 20–22 березня 2023 р.). Умань : УНУС, 2023. С. 144–145.

Мазур В.А., Дідур І.М., Панцирева Г.В., Мордванюк М.О. Енергетична ефективність технологічних прийомів вирощування нуту в умовах зміни клімату. *Сільське господарство та лісівництво.* 2022a. № 2 (25). С. 5–13. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-2-1.

Мазур В.А., Ткачук О.П., Панцирева Г.В., Алексєєв О.О. Сортові ресурси зернобобових культур в Україні: сучасний стан і перспективи використання. Вінниця : ТВОРИ, 2022b. 196 с.

Офіційні описи сортів рослин та показники господарської придатності в Інформаційно-довідковій системі «Сорт». [Електронний ресурс]. URL: http://sort.sops.gov.ua/about (дата звернення 11.12.2025).

Петриченко В.Ф., Кобак С.Я., Чорна В.М. Сортова реакція нуту звичайного на кількісне та просторове розміщення рослин на площі в умовах Лісостепу Правобережного. *Корми і кормовиробництво.* 2023. Вип. 96. С. 10–18. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202396-01.

Рибальченко А.М., Іваненко Р.С. Оцінка сортових ресурсів гороху за комплексом господарсько-цінних ознак в умовах Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник.* 2024. Вип. 139. Ч. 2. С. 31–40. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.5.

Січкар В.І., Лаврова, Г.Д., Колояніді Н.О., Джус, Т.О. Нут – перспективне джерело харчового білка. *Journal of Native and Alien Plant Studies.* 2023. Вип. 19. С. 172–193. https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.295154.

Січкар В.І., Лаврова, Г.Д., Джус, Т.О. Використання адаптивного потенціалу світового генофонду нуту (Cicer arietinum L.) для покращення врожайності нових сортів. *Journal of Native and Alien Plant Studies.* 2024. Вип. 20. С. 198–215. https://doi.org/10.37555/2707-3114.20.2024.318692.

Чернік І.В., Тригуба О.В. Нут звичайний (Cicer arietinum L.) – перспективна бобова культура Західного Лісостепу України. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія «Біологія».* 2023. Т. 83. № 3–4. С. 117–126. https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.3–4.13.

Bahan A.V., Shakalii S.M., Yurchenko S.O., Marenych M.M., Mykhailenko H.M. The effect of humic growth stimulants on the productivity of chickpea (Cicer arietinum L.) varieties. *Scientific Horizons.* 2024. Vol. 27 (7). P. 53–61. https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.53.

Pantsyreva H., Stroyanovskiy V., Mazur K., Chynchyk O., Myalkovsky R. The influence of bio-organic growing technology on the productivity of legumins. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2021. Vol. 11 (3). P. 35–39. https://doi.org/10.15421/2021_139.

Yeremko L., Czopek K., Staniak M., Marenych M., Hanhur V. Role of environmental factors in Legume-*Rhizobium* symbiosis: a review. *Biomolecules.* 2025. Vol. 15 (1). P. 118. https://doi.org/10.3390/biom15010118.

References

Bahan, A.V., Shakalii, S.M., & Barat, Yu.M. (2020). Formuvannia nasinnievoi produktyvnosti nutu zalezhno vid sortu ta inokuliatsii nasinnia [Formation of chickpea seed productivity depending on the variety and seed inoculation]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin],* 111, 14–21. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.2 [in Ukrainian].

Honchar, M.V. (2023). Doslidzhennia sortovykh resursiv nutu (Cicer Arietinum L.) v Ukraini [Research on varietal resources of chickpeas (Cicer Arietinum L.) in Ukraine.]. *Ahrarni innovatsii [Agricultural Innovations],* 22, 31–35. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.22.5 [in Ukrainian].

Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2025 rik [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2025]. Kyiv, 2025. [Electronic resource] URL: https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin (access date 10.12.2025) [in Ukrainian].

Yeshchenko, V.O., Kopytko, P.H., Opryshko, V.P., & Kostohryz, P.V. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv: Diia, 288. [in Ukrainian].

Koloianidi, N.O., & Zelinskyi, Yu.A. (2025). Suchasni sorty nutu (Cicer Arietinum L.) dlia pivdnia Ukrainy [Modern chickpea varieties (Cicer Arietinum L.) for southern Ukraine]. *Ahrarni innovatsii [Agricultural Innovations],* 29, 319–324. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.49 [in Ukrainian].

Liubych, V.V., Krasnoshtan, V.I., Voitovska, V.I., & Klymovych, N.M. (2023). Formuvannia yakosti nasinnia riznykh sortiv nutu [Formation of seed quality of different chickpea varieties]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva [Collection of Scientific Papers of the Uman National University of Horticulture],* 102, 1, 109–115. https://doi:10.32782/2415-8240-2023-102-1-109-115 [in Ukrainian].

Liubchenko, I.O., Liubchenko, A.I., Balandiuk, M.S., & Demianok, D.R. (2023). Sortovi resursy nutu v Ukraini [Chickpea varietal resources in Ukraine]. Selektsiino-henetychna nauka i osvita (Pariievi chytannia): materialy XII Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii. (m. Uman, 20–22 bereznia 2023 r.). Uman: UNUS (pp. 144–145) [in Ukrainian].

Mazur, V.A., Didur, I.M., Pantsyreva H.V., & Mordvaniuk M.O. (2022a). Enerhetychna efektyvnist tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia nutu v umovakh zminy klimatu [Energy efficiency of

chickpea growing techniques in climate change]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo [Agriculture and Forestry],* 2 (25), 5–13. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-2-1 [in Ukrainian].

Mazur, V.A., Tkachuk, O.P., Pantsyreva, H.V., & Alieksieiev, O.O. (2022b). Sortovi resursy zernobobovykh kultur v Ukraini: suchasnyi stan i perspektyvy vykorystannia [Varietal resources of leguminous crops in Ukraine: current status and prospects for use]. Vinnytsia : TVORY, 196 p. [in Ukrainian].

Ofitsiini opysy sortiv roslyn ta pokaznyky hospodarskoi prydatnosti v Informatsiino-dovidkovii systemi "Sort" [Official descriptions of plant varieties and indicators of economic suitability in the Information and Reference System "Varieties"]. [Electronic resource] URL: http://sort.sops.gov.ua/about (access date 11.12.2025) [in Ukrainian].

Petrychenko, V.F., Kobak, S.Ya., & Chorna, V.M. (2023). Sortova reaktsiia nutu zvychainoho na kilkisne ta prostorove rozmishchennia roslyn na ploshchi v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Varietal response of common chickpea to quantitative and spatial arrangement of plants on the area in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe]. *Kormy i kormovyrobnytstvo [Feed and Feed production],* 96, 10–18. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202396-01 [in Ukrainian].

Rybalchenko, A.M., & Ivanenko, R.S. (2024). Otsinka sortovykh resursiv horokhu za kompleksom hospodarsko-tsinnykh oznak v umovakh Lisostepu Ukrainy [Evaluation of pea varietal resources by a complex of economically valuable traits in the Forest-Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [*Tavria Scientific Bulletin*], 139, 2, 31–40. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.5 [in Ukrainian].

Sichkar, V.I., Lavrova, H.D., Koloianidi, N.O., & Dzhus, T.O. (2023). Nut – perspektyvne dzherelo kharchovoho bilka [Chickpeas – a promising source of dietary protein]. *Journal of Native and Alien Plant Studies*, 19, 172–193. https://doi.org/10.37555/2707-3114.19.2023.295154 [in Ukrainian].

Sichkar, V.I., Lavrova, H.D., & Dzhus, T.O. (2024). Vykorystannia adaptyvnoho potentsialu svitovoho henofondu nutu (Cicer arietinum L.) dlia pokrashchennia vrozhainosti novykh sortiv [Utilization of the adaptive potential of the global gene pool of chickpea (Cicer arietinum L.) to improve the yield of new varieties]. *Journal of Native and Alien Plant Studies,* 20, 198–215. https://doi.org/10.37555/2707-3114.20.2024.318692 [in Ukrainian].

Chernik, I.V., & Tryhuba, O.V. (2023). Nut zvychainyi (Cicer arietinum L.) – perspektyvna bobova kultura Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Chickpea (Cicer arietinum L.) – a promising legume crop in the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriia "Biolohiia" [Scientific notes of the Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University. Series "Biology"],* 83, 3–4, 117–126. https://doi.org/10.25128/2078-2357.23.3–4.13 [in Ukrainian].

Bahan, A.V., Shakalii, S.M., Yurchenko, S.O., Marenych, M.M., & Mykhailenko, H.M. (2024). The effect of humic growth stimulants on the productivity of chickpea (Cicer arietinum L.) varieties. *Scientific Horizons,* 27 (7), 53–61. https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.53 [in English].

Pantsyreva H., Stroyanovskiy V., Mazur K., Chynchyk O., & Myalkovsky R. (2021). The influence of bio-organic growing technology on the productivity of legumins. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11, 3, 35–39. https://doi.org/10.15421/2021_139 [in English].

Yeremko, L., Czopek, K., Staniak, M., Marenych, M., & Hanhur, V. (2025). Role of environmental factors in Legume-Rhizobium symbiosis: a review. *Biomolecules*, 15 (1), 118. https://doi.org/10.3390/biom15010118 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 30.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.11:631.526.3:631.559(816.2)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.19

ВПЛИВ СИСТЕМИ ПІДЖИВЛЕННЯ НА ВРОЖАЙНІСТЬ СОРТІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ*

С. В. Тараненко[1], М. І. Кулик[2], І. І. Рожко[3], С. О. Антонюк[4], Д. О. Коваль[5]

На сьогодні актуальним є збільшення виробництва зернових культур в Україні як основного експортера продукції за кордон. Важливим також є забезпечення внутрішнього споживання продуктів переробки зерна для продовольчої безпеки в реаліях сьогодення. Тому з метою встановлення впливу системи підживлення на врожайність сортів пшениці озимої різного походження в умовах агрогосподарства Полтавської області було проведено експеримент. Матеріалом для дослідження були сорти пшениці озимої: українські – Довіра Одеська і Спадщина Одеська та зарубіжної селекції: Мейса та Кубус. Польові дослідження здійснено відповідно методики дослідної справи в агрономії та відповідних наукових рекомендацій.

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри землеробства і агрохімії ім. В.І. Сазанова
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: sergii.taranenko@pdau.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2450-4388
[2] доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: kulykmaksym@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0394-5846
[3] доктор філософії спеціальність 201 Агрономія,
доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: ilona.rozhko1@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0646-4004
[4] здобувач ступеня доктор філософії кафедра землеробства і агрохімії ім. В.І.Сазанова
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: serhii.antoniuk@pdau.edu.ua
ORCID: 0009-0004-8481-3769
[5] здобувач ступеня доктор філософії кафедра селекції, насінництва і генетики
(Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава)
e-mail: dmytro.koval@pdau.edu.ua
ORCID: 0009-0002-3514-463X

* Наукові дослідження виконані за рахунок коштів гранту Президента України молодим вченим та докторам наук «Розробка фітомеліоративних заходів відновлення деградованих ґрунтів внаслідок бойових дій в контексті гарантування продовольчої та енергетичної безпеки України» (грантоотримувач Олександр Ткачук), наданого Національним фондом досліджень України.

За результатами досліджень визначено, що залежно від системи підживлення та погодних чинників, в умовах 2023 року було сформовано найбільшу врожайність зерна пшениці озимої – від 3,8 до 5,2 т/га, в умовах 2025 року – від 3,8 до 5,2 т/га, а у 2024 році – найнижчі, від 2,7 до 3,3 т/га. Встановлено, що сорти українського походження, порівняно із іноземними збільшують врожайність за зменшеної дози азотних добрив у підживлення. Так, у середньому за роки порівняно з контрольними варіантами зафіксовано істотне збільшення врожаю у сортів Довіра Одеська, Спадщина Одеська на варіантах підживлення N_{57} та N_{63}. Зарубіжні сорти: Мейса і Кубус формували високу врожайність на варіантах збільшених доз внесення добрив N_{69-75}, прибавка до контролю сягала 0,4–0,5 т/га.
За встановлення впливу факторів на врожайність пшениці озимої виявлено найбільший вплив погодних умов року (за гідро-термічним коефіцієнтом – ГТК) 70,6 % (фактор А), сорту (фактор Б) – 10,2 % та підживлення (фактор В) – 11,4 % і незначної їх взаємодії – 0,05-3,1 % Таким чином, визначено, що з-поміж сортів пшениці озимої найбільш суттєву прибавку врожаю до контролю забезпечують сорти іноземного походження Мейса (0,6 т/га) і Кубус (0,5 т/га т/га) на варіантах збільшених доз внесення добрив (N_{69-75}). Українські сорти (Довіра Одеська та Спадщина Одеська) формують порівняно високий рівень врожайності, відповідно 4,3 і 3,9 т/га з прибавкою врожаю до контролю 0,5-0,8 т/га при внесенні менших норм азоту у підживленні посівів (N_{57-63}).

Ключові слова: *пшениця озима, сорти, підживлення, умови року, врожайність, зерно.*

EFFECT OF THE FERTILIZATION SYSTEM ON THE YIELD OF WINTER WHEAT VARIETIES OF DIFFERENT ORIGINS

S. V. Taranenko, M. I. Kulyk, I. I. Rozhko, S. O. Antonyuk, D. O. Koval

As the main exporter of grain products abroad, Ukraine's increased production of grain is currently a relevant issue. It is also important to ensure domestic consumption of processed grain products to guarantee food security in the current climate. Therefore, an experiment was conducted to determine the influence of the fertilisation system on the yield of winter wheat varieties of different origins under the conditions of an agricultural farm in the Poltava region. The research material included the following winter wheat varieties: 'Dovira Odeska' (Ukrainian breeding), 'Spadshchyna Odeska' (Ukrainian breeding), 'Meisa' (foreign breeding) and 'Kubus' (foreign breeding). Field studies were conducted in accordance with the experimental agronomy methodology and relevant scientific recommendations. The research results showed that the highest winter wheat grain yield, depending on the fertilisation system and weather factors, was formed in 2023 and 2025, ranging from 3.8 to 5.2 t/ha. The lowest yield was observed in 2024, ranging from 2.7 to 3.3 t/ha. It was established that Ukrainian varieties, compared to foreign varieties, increase productivity with a reduced dose of nitrogen fertilisers during top-dressing. On average over the research period, a significant increase in yield was recorded for the "Dovira Odeska" and "Spadshchyna Odeska" varieties on the N_{57} and N_{63} fertilisation variants compared to the control variants. The foreign varieties "Meisa" and "Kubus" produced high yields on variants with increased fertiliser application doses (N_{69-75}). The increase in the control variant was 0.4–0.5 t/ha. Around of studied factors that impact winter wheat yield, year's weather conditions had the highest impact (70.6%), followed by variety (10.2%) and fertilisation (11.4%).
It was therefore determined that the most significant yield increase compared to the control was provided by the foreign varieties "Meisa" (0.6 t/ha) and "Kubus" (0.5 t/ha) when fertiliser was applied at rates of N_{69-75}. The Ukrainian varieties 'Dovira Odeska' and 'Spadshchyna Odeska' achieved comparatively high yields (4.3 t/ha and 3.9 t/ha, respectively) with lower nitrogen application rates (N_{57-63}). The yield increase over the control variant was 0.5–0.8 t/ha.

Key words: *winter wheat, varieties, fertilization, weather conditions, yield, grain.*

Вступ

Пшениця озима є однією з провідних зернових культур світового та українського землеробства. Вона відіграє ключову роль у формуванні продовольчої безпеки та забезпеченні тваринництва високоякісними кормами. Значення пшениці зростає в умовах глобальних кліматичних змін, зростання попиту на продовольство та необхідності інтеграції України у світові аграрні ринки (Вінюкова, 2020; Шинкарук та ін., 2022). Підвищення продуктивності цієї культури можливе завдяки оптимізації елементів технології вирощування, серед яких система живлення є однією з найвагоміших складових (Марковська і Гречишкіна, 2020; Єрашова, 2021; Берднікова, 2021; Білоусова і Кенєва, 2023).

За аналізом літературних джерел зарубіжних та українських науковців підтверджено, що ефективне управління азотним живленням є головним чинником формування врожайності та якості зерна озимої пшениці. Дослідники відмічають, що

поетапне внесення азоту протягом вегетації сприяє зростанню врожаю в середньому на 5–10 % та підвищенню вмісту сирого протеїну порівняно з одноразовим внесенням (Ma et al., 2019; Zhang et al., 2021a). Водночас виявлено, що реакція рослин на норму азоту має нелінійний характер. Після досягнення певного порогу подальше збільшення дози призводить до зниження ефективності використання азоту, погіршення агроекологічних показників та зростання ризику втрат азоту (Fatholahi et al., 2020; Петриченко і Лихочвор, 2020; Лихочвор і Петриченко, 2021).

Актуальність оптимізації азотного живлення зростає також через значну просторову мінливість ґрунтово-кліматичних умов у регіонах вирощування. Наприклад, для зони Лівобережного Лісостепу України, де ґрунти характеризуються різним вмістом гумусу, кислотністю та забезпеченістю доступними формами поживних елементів, встановлено суттєві відмінності у реакції рослин пшениці на азотні підживлення залежно від умов вологозабезпечення весняно-літнього періоду (Ямковий та ін., 2021).

Погодні аномалії, зокрема весняні дефіцити вологи або надмірні опади, стають визначальними факторами реалізації сортового потенціалу продуктивності та впливають на ефективність використання азотних добрив (Nehe et al., 2018).

Особливу увагу науковці приділяють взаємодії азоту з іншими елементами живлення, насамперед із сіркою. Встановлено, що сірка відіграє ключову роль у синтезі білків, сприяє оптимальному використанню азоту та забезпечує формування високої якості зерна. За даними польових експериментів, поєднане внесення N і S здатне підвищувати врожайність пшениці на 4–12% та збільшувати вміст протеїну й клейковини у порівнянні з одноелементним азотним живленням (Withers et al., 1995; Naeem & MacRitchie, 2003; Jarvan et al., 2012; Tabak et al., 2020; Dawar et. al., 2023; Antosovský et al., 2024; Bongiovani et al., 2025).

Не менш важливою є роль генетичних особливостей сортів, що визначають ефективність засвоєння азоту, рівень його віддачі у формуванні врожайності та реакцію на різні системи підживлення. Доведено, що сорти іноземної селекції частіше демонструють підвищену чутливість на збільшені дози азоту, тоді як українські сорти проявляють кращу адаптивність до середніх рівнів живлення та більш стабільну продуктивність за коливань погодних умов (Shahsavani & Gholami, 2008; Hirzel et al., 2010; Кулик et al., 2020; Шакалій та ін., 2022; Фанін і Литвиненко, 2023). Це підкреслює необхідність вивчення взаємодії генотипу та елементів агротехнологій в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

На особливу увагу заслуговує вплив термінів внесення азотних підживлень. Результати польових досліджень в Україні свідчать, що ранньовесняне підживлення, зокрема проведене у фазу відновлення весняної вегетації та кущіння є одним з найбільш дієвих прийомів забезпечення інтенсивного росту, формування продуктивного стеблостою та підвищення якості зерна (Мостіпан і Умрихін, 2022).

Водночас надмірно високі дози азоту або несвоєчасне внесення можуть призводити до нераціонального використання добрив, вилягання рослин, погіршення структурних елементів колоса та зниження якості продукції.

Паралельно з класичними підходами до мінерального живлення стрімко розвиваються сучасні технології застосування азоту, що полягають у використанні інгібіторів нітрифікації, контрольованого вивільнення азоту та цифрових технологій точного землеробства. Ці інновації дозволяють підвищити коефіцієнт використання азоту рослинами, оптимізувати просторовий розподіл добрив та зменшити негативний вплив на довкілля (Guzman-Bustamante et al., 2022).

Таким чином, аналіз наукових джерел дає підстави вважати, що система азотного живлення залишається ключовим фактором реалізації потенційної продуктивності озимої пшениці. Проте ефективність її застосування визначається взаємодією низки чинників: нормою, формою, часом внесення добрив, рівнем забезпечення ґрунту поживними елементами, сортовими особливостями та умовами року (Кліпакова та ін., 2021; Zhang et al., 2021b; Abdelraheem et al., 2025).

Тому пошук оптимальних режимів ранньовесняного підживлення в поєднанні з аналізом реакції сортів різного походження є актуальним завданням сучасної аграрної науки.

У зв'язку з цим мета нашого дослідження полягає у встановленні впливу ранньовесняного підживлення на врожайність сортів озимої м'якої пшениці різного походження.

Матеріал і методи

Польові дослідження проведено в умовах СФГ «Довіра» Полтавського району (цен-

тральна частина Лівобережного Лісостепу). Ґрунти господарства – чорноземи типові опідзолені з умістом гумусу 3,8 %, N38, P24 K24, pH 5,75.

Погодні умови років дослідження весняно-літньої вегетації пшениці озимої відрізнялися: 2023 рік за ГТК – сприятливий, 2024 – посушливий та 2025 рік – достатній за умовами зволоження (рис. 1).

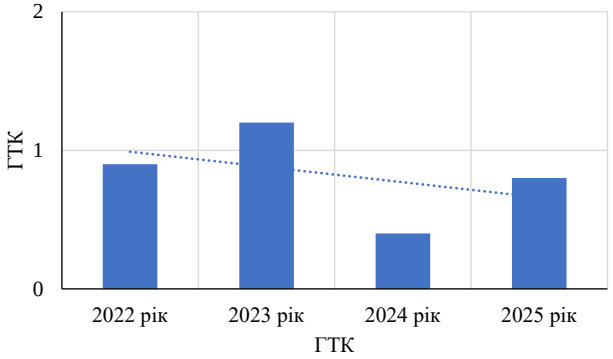


Рис. 1. Гідротермічний коефіцієнт за період весняно-літньої вегетації пшениці озимої, 2023–2025 рр.

Отже, погодні умови вегетаційного періоду років дослідження були задовільними для відновлення вегетації, нормального росту та розвитку рослин пшениці озимої протягом весняно-літнього періоду, окрім 2024 року.

Матеріалом для дослідження були сорти пшениці озимої: українські – Довіра Одеська (С1) і Спадщина Одеська (С2) та зарубіжної селекції: Мейса (С3) та Кубус (С4) – фактор А. Фактор Б: варіанти підживлення азотом: вар.1 – контроль (без добрив), вар.2 – внесення у підживлення N_{51}, вар.3 – внесення у підживлення N_{57}, вар.4 – внесення у підживлення N_{63}, вар.5 – внесення у підживлення N_{69}, вар.6 – внесення у підживлення N_{75}.

Технологія вирощування культури – загальноприйнята, згідно рекомендацій для центрального Лісостепу України, окрім чинників, що вивчалися. Система удобрення поєднувала основне внесення мінеральних добрив: $(NPK)_{60}$, ранньовесняне підживлення аміачною селітрою (150-210 кг/га), у фазу весняного кущення вносили карбамід (43 кг/га).

Загальна площа ділянки становила 60 м^2, облікової – 50 м^2. Загальна площа досліду – 960 м^2. Повторюваність дослідів – чотириразова. Дослід закладався за методом систематичних повторень із чотириразовою повторюваністю: в кожному повторенні варіанти досліду розміщувалися на ділянках рандомізовано (рис. 2).

Роки	Сорти	Повторення											
		I		II		III		VI	
2023 2024 2025	С.1	в.4	в.3	в.1	в.4	в.3	в.5	в.4	в.3
		в.6	в.5	в.5	в.2	в.2	в.1	в.1	в.6
		в.2	в.1	в.3	в.6	в.6	в.4	в.5	в.2
	С.2	в.1	в.4	в.4	в.3	в.3	в.5	в.4	в.3
		в.5	в.2	в.6	в.5	в.2	в.1	в.1	в.6
		в.3	в.6	в.2	в.1	в.6	в.4	в.5	в.2
	С.3	в.3	в.5	в.1	в.4	в.4	в.3	в.4	в.3
		в.2	в.1	в.5	в.2	в.6	в.5	в.1	в.6
		в.6	в.4	в.3	в.6	в.2	в.1	в.5	в.2
	С.4	в.4	в.3	в.3	в.5	в.1	в.4	в.4	в.3
		в.1	в.6	в.2	в.1	в.5	в.2	в.6	в.5
		в.5	в.2	в.6	в.4	в.3	в.6	в.2	в.1

Рис. 2. Схема експерименту з вивчення сортів та системи підживлення пшениці озимої

Примітка: С1 – Довіра Одеська, С2 – Спадщина Одеська, С3 – Мейса, С4 – Кубус; вар.1 – контроль (без добрив), вар.2 – внесення у підживлення N_{51}, вар.3 – внесення у підживлення N_{57}, вар.4 – внесення у підживлення N_{63}, вар.5 – внесення у підживлення N_{69}, вар.6 – внесення у підживлення N_{75}.

Під час проведення багаторічних досліджень застосовувались як загальнонаукові методи, так і спеціальні методи. Закладка дослідних ділянок та проведення польових експериментів здійснено відповідно методики дослідної справи в агрономії (Рожков та ін., 2016a; Рожков та ін., 2016b).

Статистичний обрахунок цифрових даних проводили відповідно рекомендацій (Ермантраут та ін., 2007).

Результати та їх обговорення

Результати досліджень засвідчують, що урожайність зерна пшениці озимої в розрізі років та варіантів підживлення змінювалася у широких межах – від 3,0 до 5,2 т/га (рис. 3).

Порівняно з іншими роками в умовах 2023 року було сформовано найбільшу врожайність зерна пшениці озимої – від 3,8 до 5,2 т/га, у 2024 році – найнижча, від 2,7 до 3,3 т/га, а у 2025 році – від 3,8 до 5,2 т/га (табл. 1).

Встановлено, що сорти українського походження, порівняно із іноземними суттєво збільшують врожайність за зменшеної дози азотних добрив у підживлення. Так, у середньому за роки порівняно з контрольними варіантами зафіксовано збільшення врожаю у сорту Довіра Одеська (0,4 /та) на варіанті 3 і 4, у сорту Спадщина Одеська прибавка становила (0,5 т/га). Зарубіжні сорти: Мейса і Кубус формували збільшену

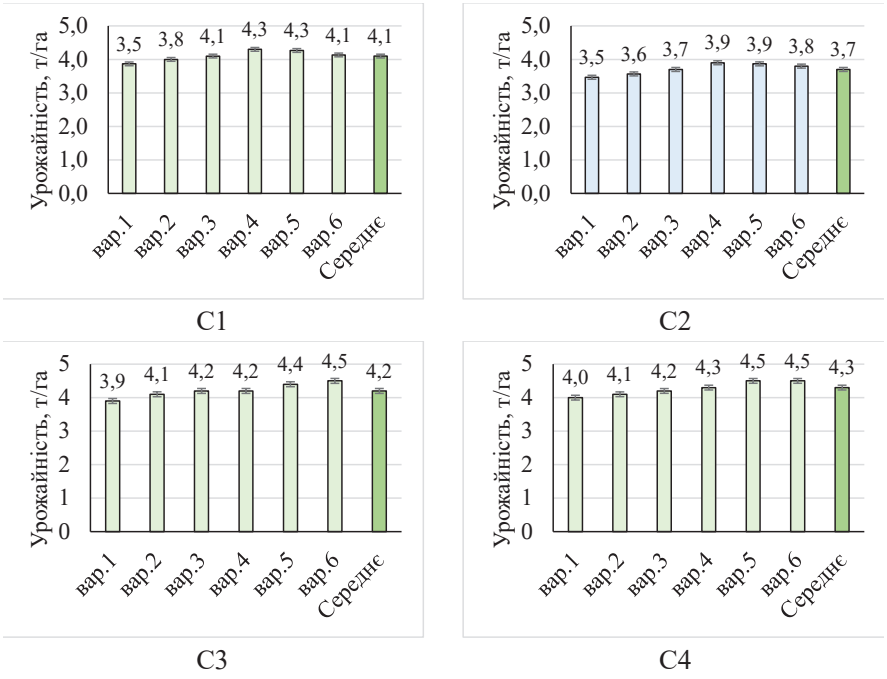


Рис. 3. Урожайність пшениці озимої, середнє за 2023–2025 рр.

Примітка: вар.1 – контроль (без добрив), вар.2 – внесення у підживлення N_{51}, вар.3 – внесення у підживлення N_{57}, вар.4 – внесення у підживлення N_{63}, вар.5 – внесення у підживлення N_{69}, в ар.6 – внесення у підживлення N_{75}; С1 – Довіра Одеська, С2 – Спадщина Одеська, С3 – Мейса, С4 – Кубус.

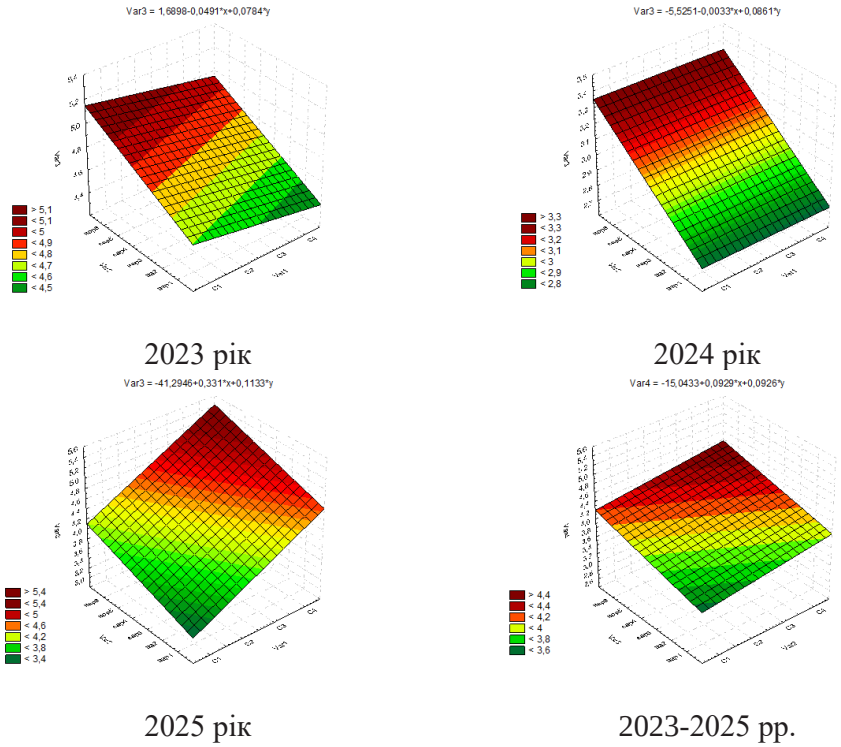


Рис. 4. Графіки залежностей врожайності пшениці озимої від сорту та підживлення

Примітка: С1 – Довіра Одеська, С2 – Спадщина Одеська, С3 – Мейса, С4 – Кубус.

врожайність на варіантах 5 і 6, прибавка до контролю відповідно становила 0,4–0,5 т/га та 0,5 т/га. Це свідчить про те, що іноземні сорти пшениці більшою мірою реагують на внесення збільшених доз азотних добрив, аніж сорти української селекції. Дана закономірність чітко прослідковується на графіках (рис. 4).

За встановлення взаємодії факторів з врожайністю пшениці озимої виявлено найбільший вплив умов року 70,6 % (фактор А), сорту (фактор Б) – 10,2 %, підживлення (фактор В) – 11,4 %, та незначної їх взаємодії – 0,05-3,1 % (рис. 5).

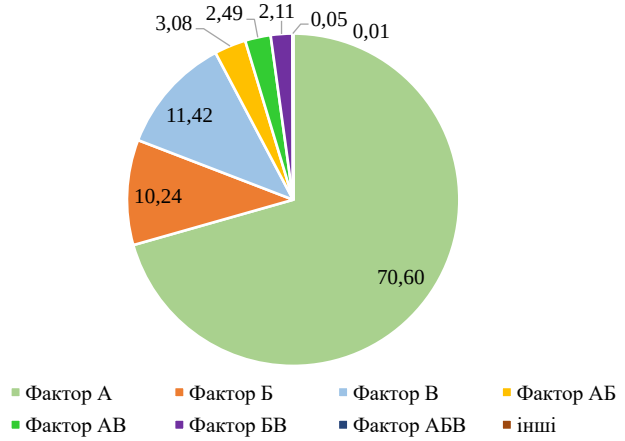


Рис. 5. Частки впливу досліджуваних факторів на врожайність зерна пшениці озимої, 2023–2025 рр.

Відповідно інших досліджень встановлено, що сортові властивості впливають на мінливість врожайності пшениці озимої. Згідно результатів досліджень, що були проведені в умовах Західного Лісостепу середня врожайність за чотири роки по 12 сортам пшениці озимої варіювала – від 6,47 до 7,79 т/га. Ці ж автори (Польовий, та ін., 2018) визначили, що фон мінеральних добрив і додаткове внесення MgO+S в основне удобрення суттєво збільшує врожайність пшениці озимої (до 7,47 т/га). Що цілком узгоджується з результатами наших досліджень, в яких доведено зростання врожайності на варіантах збільшених доз азотних добрив.

Наші дослідження знайшли підтвердження у отриманих результатах інших науковців, які визначили, що суттєві прибавки врожаю пшениці озимої (1,94 т/га) забезпечуються за системи удобрення із застосуванням $N_{70}P_{40}K_{40}$ у ланці сівозміни соя–соя–пшениця озима. Авторами доведено істотну факторіальну залежність продуктивності пшениці озимої від ланки сівозміни та мінеральної системи удобрення. (Мащенко і Соколовська, 2023).

Таблиця 1

Урожайність пшениці озимої за роки досліджень, т/га

Сорт	Підживлення	Рік			Середнє
		2023	2024	2025	
Довіра Одеська	вар.1	3,9	2,7	3,8	3,5
	вар.2	4,4	3,0	4,1	3,8
	вар.3	5,0	3,1	4,2	4,1
	вар.4	5,2	3,2	4,5	4,3
	вар.5	5,2	3,2	4,4	4,3
	вар.6	4,7	3,1	4,4	4,0
Середнє		4,7	3,0	4,3	4,1
Спадщина Одеська	вар.1	4,4	2,7	3,0	3,4
	вар.2	4,5	2,9	3,3	3,6
	вар.3	4,6	3,0	3,5	3,7
	вар.4	4,8	3,2	3,7	3,9
	вар.5	4,8	3,1	3,7	3,9
	вар.6	4,7	3,1	3,6	3,8
Середнє		4,6	3,0	3,5	3,7
Мейса	вар.1	4,4	2,7	4,6	3,9
	вар.2	4,6	2,9	4,8	4,1
	вар.3	4,6	3,0	4,9	4,2
	вар.4	4,7	3,0	5,0	4,2
	вар.5	4,9	3,1	5,1	4,4
	вар.6	4,9	3,4	5,1	4,5
Середнє		4,7	3,0	4,9	4,2
Кубус	вар.1	4,6	2,8	4,5	4,0
	вар.2	4,7	2,9	4,7	4,1
	вар.3	4,7	3,0	4,8	4,2
	вар.4	4,9	3,1	4,9	4,3
	вар.5	5,0	3,3	5,2	4,5
	вар.6	5,0	3,3	5,1	4,5
Середнє		4,8	3,1	4,9	4,3
$НІР_{05}$ (фактор А)		-	-	-	0,076
$НІР_{05}$ (фактор Б)		0,11	0,10	0,14	-
$НІР_{05}$ (фактор В)		0,13	0,07	0,49	-

Примітка: вар.1 – контроль (без добрив), вар.2 – внесення у підживлення N_{51}, вар.3 – внесення у підживлення N_{57}, вар.4 – внесення у підживлення N_{63}, вар.5 – внесення у підживлення N_{69}, вар.6 – внесення у підживлення N_{75}.

Як відмічає А. О. Дубицька разом із співавторами, що найбільш ефективним чинником, що має істотний вплив на збільшення врожайності пшениці озимої – це дворазова обробка посівів гумусним добривом на фоні застосування соломи кормових бобів із додаванням $N_{90}P_{60}K_{60}$ разом із біостимулятором (приріст до контролю склав 2,65 т/га), або ж застосування $N_{150}P_{120}K_{120}$, що забезпечило прибавку врожаю 3,00 т/га (Дубицька та ін., 2024). Що свідчить про зростання врожайності пшениці озимої від збільшених доз мінеральних добрив, саме це знайшло підтвердження і в наших дослідженнях.

Висновки

Визначено, що в умовах 2023 року було сформовано найбільшу врожайність зерна пшениці озимої, що варіювала для сортів: Довіра Одеська – від 3,9 до 5,2 т/га, Спадщина Одеська – від 4,4 до 4,8 т/га, Мейса – від 4,4 до 4,9 т/га та Кубус – від 4,6 до 5,0 т/га.

Встановлено, що з-поміж сортів пшениці озимої найбільш суттєву прибавку врожаю до контролю (без добрив) забезпечують сорти іноземного походження Мейса (0,6 т/га) і Кубус (0,5 т/га т/га) на варіантах збільшених доз внесення добрив (N_{57-63}). Українські сорти (Довіра Одеська та Спадщина Одеська) формують порівняно високий рівень врожайності, відповідно 4,3 і 3,9 т/га з прибавкою врожаю до контролю 0,5-0,8 т/га при внесенні менших норм азоту у підживленні посівів (N_{69-75}). Таким чином, обґрунтовано, що з-поміж сортів пшениці озимої найбільш суттєву прибавку врожаю до контролю забезпечують сорти іноземного походження Мейса (0,6 т/га) і Кубус (0,5 т/га т/га) на варіантах збільшених доз внесення добрив (N_{69-75}). Українські сорти (Довіра Одеська та Спадщина Одеська) формують порівняно високий рівень врожайності, відповідно 4,3 і 3,9 т/га з прибавкою врожаю до контролю 0,5-0,8 т/га при внесенні менших норм азоту у підживленні посівів (N_{57-63}).

Перспективи подальших досліджень полягатимуть у визначення впливу системи удобрення на основні показники якості зерна сортів пшениці озимої.

Список використаної літератури

Берднікова О.Г. Удосконалення елементів технології вирощування пшениці озимої різного сортового складу залежно від режимів живлення та зрошення в умовах південного степу України. Формування нової парадигми розвитку агропромислового сектору в XXI столітті: колективна монографія : у 2 ч. Ч. 1. Львів-Торунь: Ліга-Прес, 2021. С. 188–215.

Білоусова З.В., Кенєва В.А. Вплив системи живлення на структуру врожаю пшениці озимої. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, присвяченої до Дня науки в Україні.* Одеса, 2023. С. 25–28.

Вінюкова М.Л. Аналіз конкурентоспроможності зернових культур на аграрному світовому ринку. *Науковий вісник Херсонського державного університету.* 2020. № 37. С. 14–17. https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2020-37-2

Дубицька А.О., Качмар О.Й., Дубицький О.Л., Вавринович О.В., Щерба М.М. Вплив систем удобрення з використанням біостимулятора та гумусного добрива на врожайність і якість зерна пшениці озимої. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2024. № 76 (1). С. 16–25. https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-1-2

Єрашова М.В. Формування елементів структури врожайності різних сортів пшениці озимої залежно від умов вирощування. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021. № 2. С. 86–92. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.11

Кліпакова Ю.О., Білоусова З.В., Кенєва В.А. Коротка І.О. Вплив системи живлення на урожайність та якість зерна пшениці озимої. *Аграрні інновації.* 2021. № 8. С. 41–46. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.8.6

Кулик М. І., Онопрієнко О. В., Сиплива Н. О., Божок Ю. О. Урожайність сортів пшениці м'якої (озимої) залежно від системи удобрення. *Таврійський науковий вісник.* 2020. № 114. С. 55–62. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.8

Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур: підручник. Львів : Растр-7. 2021. 288 с.

Марковська О.Є., Гречишкіна Т.А. Продуктивність сортів пшениці озимої залежно від елементів технології вирощування в умовах Південного Степу України. *Агробіологія*: збірник наукових праць. Біла Церква, 2020. № 1. С. 96 –103. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-96-103

Мащенко Ю.В., Соколовська І.М. Урожайність, продуктивність та економічна ефективність вирощування пшениці озимої залежно від ланки сівозмін і систем удобрення.

Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2023. № 40. С. 21–27. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.3

Мостіпан М.І., Умрихін Н.Л. Урожайність різновікових посівів пшениці озимої залежно від строків підживлень у Північному Степу України. *Таврійський науковий вісник.* 2022. № 123. С. 89–98. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.13

Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид. Львів: Українські технології, 2020. 806 с.

Польовий В.М., Лукащук Л.Я., Гук Л.І. Ефективність інтенсифікації технології вирощування пшениці озимої в Західному Лісостепу. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 11. С. 35–40. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201811-05

Рожков А.О., Пузік В.К., Каленська С.М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. – Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи; за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016a. 316 с.

Рожков А.О., Пузік В.К., Каленська С.М. та ін. Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.: у 2 кн. – Кн. 2. Статистична обробка результатів досліджень; за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016b. 352 с.

Статистичний аналіз агрономічних досліджень даних в пакеті Statistica 6.0: методичні вказівки / уклад.: Е. Р. Ермантраут, О. І. Присяжнюк, І. Л. Шевченко. Полтава : Поліграф Консалтинг, 2007. 55 с.

Фанін Я.С., Литвиненко М.А. Урожайність та елементи продуктивності рослин у сучасних вітчизняних і закордонних сортів озимої м'якої пшениці. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2023. № 38. С. 70–77. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.10

Шакалій С.М., Баган А.В, Юрченко С.О., Головаш Л.М. Вплив сортових властивостей пшениці м'якої озимої на мінливість продуктивності. *Scientific Progress & Innovations.* 2022. № 1. С. 11–17. https://doi.org/10.31210/visnyk2022.01.01

Шинкарук Л.В., Алексеєва К.А., Биховченко В.П., Власенко Т.О., Геращенко М.В., Дергач А.В., Дєліні М.М., Кендус Д.І., Попова О.Л., Свердан М.М., Сова О.Ю., Суханова А.В., Сагайдак І.С., Цоколь О.П. Продовольча безпека: світові тенденції та можливості агропродовольчого комплексу України: монографія / за ред. Л.В. Шинкарук. Київ. 2022. 307 с.

Ямковий В.Ю., Буняк О.І., Ящук Н.О. Продуктивність та якість зерна пшениці озимої залежно від позакореневого підживлення в лівобережному Лісостепу України. *Аграрні інновації.* 2021. № 5. С. 101–107. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.16

Abdelraheem K.M., Eldamarawy Y., El-Azab M. Impact of amino acid application on growth, yield and nutrients status of wheat plant under nitrogen fertilization. *Egyptian Journal of Agronomy*. 2025. V 4. PP. 951–958. https://doi.org/10.21608/agro.2025.336200.1563

Antosovský J., Skarpa P., Ryant P. The effect of nitrogen-sulphur fertilizer with nitrification inhibitor on winter wheat (Triticum aestivum L.) nutrition. *Heliyon 10*. 2024, e33035 c10.1016/j.heliyon.2024.e33035

Bongiovani P.F., Herrera J. M., Frossard E., Nóia Júnior R., Pequeno D.N.L., Burton A., Häner L. L., Asseng S. Nitrogen fertilization strategy for Swiss winter wheat under climate-induced rainfall reduction: A model-based assessment. *European Journal of Agronomy*. 2025. Vol. 170. 127728. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127728

Dawar K., Khan A.A., Jahangir M.M.R., Mian I.A., Khan B., Ahmad B., Fahad S., Moustafa M., Al-Shehri M., Mubashir M., Datta R., Danish S. Effect of nitrogen in combination with different levels of sulfur on wheat growth and yield. *ACS Omega.* 2023. 8(1). PP. 279–288. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04054

Fatholahi S, Ehsanzadeh P, Karimmojeni H. Ancient and improved wheats are discrepant in nitrogen uptake, remobilization, and use efficiency yet comparable in nitrogen assimilating enzymes capabilities. *Field Crops Research*. 2020. Vol. 249. PP.107761. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107761

Guzman-Bustamante I., Schulz R., Müller T., Ruser R. Split N application and DMP based nitrification inhibitors mitigate N_2O losses in a soil cropped with winter wheat. *Nutrient Cycle Agroecosystem*. 2022. Vol. 123. PP. 119–135 https://doi.org/10.1007/s10705-022-10211-7

Hirzel J., Matus I., Madariaga R. Effect of split nitrogen applications on durum wheat cultivars in volcanic soil. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2010. Vol. 70. PP. 590–595. https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000400009

Jarvan M., Edesi L., Adamson A. The content and quality of protein in winter wheat grains depending on sulphur fertilization. *Acta Agric Scand B Soil Plant Sci.* 2012. Vol. 62. PP. 627–636. https://doi.org/10.1080/09064710.2012.683495

Ma G., Liu W.g, Li Sh., Zhang P., Wang Ch., Lu H., Wang L., Xie Yi., Ma D., Kang G. Determining the optimal N input to improve grain yield and quality in winter wheat with reduced apparent N loss in the North China Plain. *Frontiers in Plant Science*. 2019. PP. 1–12. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00181

Naeem H.A., MacRitchie F. Effect of sulphur nutrition on agronomic and quality attributes of wheat, in: Sulphur in Plants. *Springer.* 2003. PP. 305–322. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8_17.

Nehe A.S., Misra S., Murchie E.H., Chinnathambi K., Foulkes M.J. Genetic variation in N-use efficiency and associated traits in Indian wheat cultivars. *Field Crops Research.* 2018. V. 225. PP. 152–162. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.06.002

Shahsavani S., Gholami A. Effect of sulphur fertilization on breadmaking quality of three winter wheat varieties. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* 2008. 11. PP. 2134–2138. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.2134.2138.

Tabak M., Lepiarczyk A., Filipek-Mazur B., Lisowska A. Efficiency of nitrogen fertilization of winter wheat depending on sulfur fertilization. *Agronomy.* 2020. Vol. 10. 1304. https://doi.org/10.3390/agronomy10091304

Withers P.J.A., Tytherleigh A.R.J., O'Donnell F.M. Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. *The Journal of Agricultural Science.* 1995. Vol. 125. PP. 317–324 https://doi.org/10.1017/S0021859600084811.

Zhang Z, Yu Z, Zhang Y, Shi Y. Optimized nitrogen fertilizer application strategies under supplementary irrigation improved winter wheat (Triticum aestivum L.) yield and grain protein yield. *PeerJ.* 2021a. 9. e11467. https://doi.org/10.7717/peerj.11467. PMID: 34141470

Zhang Zh., Yu Zh., Zhang Y., Shi Yu. Split nitrogen fertilizer application improved grain yield in winter wheat (Triticum aestivum L.) via modulating antioxidant capacity and 13 C photosynthate mobilization under water-saving irrigation conditions. *Ecological Processes.* 2021b. Vol. 10. PP. 21. https://doi.org/10.1186/s13717-021-00290-9

References

Berdnikova, O. H. (2021). Udoskonalennia elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi riznoho sortovoho skladu zalezhno vid rezhymiv zhyvlennia ta zroshennia v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy [Improvement of elements of winter wheat growing technology of different varietal composition depending on nutrition and irrigation regimes in the conditions of the southern steppe of Ukraine]. Formuvannia novoi paradyhmy rozvytku ahropromyslovoho sektoru v XXI stolitti: kolektyvna monohrafiia [Formation of a new paradigm for the development of the agro-industrial sector in the 21st century: a collective monograph]: u 2 ch. Ch. 1. Lviv-Torun: Liha-Pres, pp. 188 – 215. [in Ukrainian].

Bilousova, Z.V., & Kenieva, V.A. (2023). Vplyv systemy zhyvlennia na strukturu vrozhaiu pshenytsi ozymoi [The influence of the feeding system on the yield structure of winter wheat]. *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh, prysviachenoi do Dnia nauky v Ukraini [Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, dedicated to the Day of Science in Ukraine].* Odesa,. pp. 25–28. [in Ukrainian].

Dubytska, A.O., Kachmar, O.Y., Dubytskyi, O.L., Vavrynovych, O.V., & Shcherba, M.M. (2024). Vplyv system udobrennia z vykorystanniam biostymuliatora ta humusnoho dobryva na vrozhainist i yakist zerna pshenytsi ozymoi [The effect of fertilization systems using biostimulant and humus fertilizer on the yield and quality of winter wheat grain.]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo [Foothill and mountain agriculture and animal husbandry]*, 76, 16–25. https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-1-2 [in Ukrainian].

Viniukova, M. L. (2020). Analiz konkurentospromozhnosti zernovykh kultur na ahrarnomu svitovomu rynku [Analysis of the competitiveness of grain crops on the world agricultural market]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu [Scientific Bulletin of Kherson State University]*, 37, 14–17. https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2020-37-2 [in Ukrainian].

Yerashova, M.V. (2021). Formuvannia elementiv struktury vrozhainosti riznykh sortiv pshenytsi ozymoi zalezhno vid umov vyroshchuvannia [Formation of elements of the yield structure of different varieties of winter wheat depending on growing conditions]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy],* 2, 86–92. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.11 [in Ukrainian].

Klipakova, Yu.O., Bilousova, Z.V., Kenieva, V.A., & Korotka, I.O. (2021). Vplyv systemy zhyvlennia na urozhainist ta yakist zerna pshenytsi ozymoi [The influence of the nutrition system on the yield and quality of winter wheat grain]. *Ahrarni innovats [Agricultural innovations],* 8, 41–46. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.8.6 [in Ukrainian].

Kulyk, M.I., Onopriienko, O.V., Syplyva, N.O., & Bozhok, Yu.O. (2020). Urozhainist sortiv pshenytsi miakoi (ozymoi) zalezhno vid systemy udobrennia [Yield of soft (winter) wheat varieties depending on the fertilization system]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 114, 55–62. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.8 [in Ukrainian].

Lykhochvor, V.V., & Petrychenko, V.F. (2021). Fiziolohichna rol elementiv zhyvlennia ta systemy udobrennia polovykh kultur: pidruchnyk [Physiological role of nutrients and fertilization systems of field crops: textbook]. Lviv: Rastr-7. 288s. [in Ukrainian].

Markovska O. Ye., & Hrechyshkina T. A. (2020). Produktyvnist sortiv pshenytsi ozymoi zalezhno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Productivity of winter wheat varieties depending on elements of growing technology in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine]. *Ahrobiolohiia: zbirnyk naukovykh prats. Bila Tserkva [Agrobiology: collection of scientific papers]*, 1, 96–103. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-96-103 [in Ukrainian].

Mashchenko, Yu.V., & Sokolovska, I.M. (2023). Urozhainist, produktyvnist ta ekonomichna efektyvnist vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi zalezhno vid lanky sivozmin i system udobrennia [Yield, productivity and economic efficiency of winter wheat cultivation depending on the crop rotation link and fertilization systems]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics]*, 40, 21–27. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-3.3 [in Ukrainian].

Mostipan, M.I., & Umrykhin, N.L. (2022). Urozhainist riznovikovykh posiviv pshenytsi ozymoi zalezhno vid strokiv pidzhyvlen u Pivnichnomu Stepu Ukrainy [Yield of winter wheat crops of different ages depending on the timing of top dressing in the Northern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, 123, 89–98. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.13 [in Ukrainian].

Petrychenko, V.F., & Lykhochvor, V.V. (2020). Roslynnytstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh kultur : pidruchnyk [Crop production. New technologies for growing field crops: textbook]. 5-te vyd. Lviv: Ukrainski tekhnolohii, 806 p. [in Ukrainian].

Polovyi, V.M., Lukashchuk, L.Ya., & Huk, L.I. (2018). Efektyvnist intensyfikatsii tekhnolohii vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi v Zakhidnomu Lisostepu [Efficiency of intensification of winter wheat growing technology in the Western Forest-Steppe.]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agrarian Science.]*, 11, 35–40. https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2018_11_05.pdf [in Ukrainian].

Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., & Kalenska, S.M. et al. (2016a). Doslidna sprava v ahronomii: navch. posib. [Research in agronomy: a manual: in 2 books – Book 1. Theoretical aspects of research]: u 2 kn. – Kn. 1. Teoretychni aspekty doslidnoi spravy; za red. A. O. Rozhkova. Kharkiv: Maidan, 316 s. [in Ukrainian].

Rozhkov, A.O., Puzik, V.K., & Kalenska, S.M. et al. (2016b). Doslidna sprava v ahronomii: navch. posib. [Research in agronomy: a manual: in 2 books – Book 2. Statistical processing of research results]: u 2 kn. – Kn. 2. Statystychna obrobka rezultativ doslidzhen; za red. A. O. Rozhkova. Kharkiv: Maidan, 352 s. [in Ukrainian].

Statystychnyi analiz ahronomichnykh doslidzhen danykh v paketi Statistica 6.0: metodychni vkazivky (2007). [Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package: methodological guidelines] / uklad.: E. R. Ermantraut, O. I. Prysiazhniuk, I. L. Shevchenko. Poltava: Polihraf Konsaltynh. 55 s. [in Ukrainian].

Fanin, Ya.S., & Lytvynenko, M.A. (2023). Urozhainist ta elementy produktyvnosti roslyn u suchasnykh vitchyznianykh i zakordonnykh sortiv ozymoi miakoi pshenytsi [Yield and elements of plant productivity in modern domestic and foreign varieties of soft winter wheat]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics]*, 38, 70–77. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.10 [in Ukrainian].

Shakalii, S.M., Bahan, A.V, Yurchenko, S.O., & Holovash, L.M. (2022).Vplyv sortovykh vlastyvostei pshenytsi miakoi ozymoi na minlyvist produktyvnosti [The influence of varietal properties of soft winter wheat on productivity variability]. *Scientific Progress & Innovation*, 1, 11–17. https://doi.org/10.31210/visnyk2022.01.01 [in Ukrainian].

Shynkaruk, L.V., Alekseieva, K.A., Bykhovchenko, V.P., Vlasenko, T.O., Herashchenko, M.V., Derhach, A.V., Dielini, M.M., Kendus, D.I., Popova, O.L., Sverdan, M.M., Sova, O.Iu., Sukhanova, A.V., Sahaidak, I.S., & Tsokol, O.P. (2022). Prodovolcha bezpeka: svitovi tendentsii ta mozhlyvosti ahroprodovolchoho kompleksu Ukrainy: monohrafiia [Food Security: Global Trends and Opportunities of Ukraine's Agro-Food Complex: Monograph] / za red. L.V.Shynkaruk. Kyiv. 307 s. [in Ukrainian].

Yamkovyi, V.Yu., Buniak, O.I., & Yashchuk, N.O. (2021). Produktyvnist ta yakist zerna pshenytsi ozymoi zalezhno vid pozakorenevoho pidzhyvlennia v livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Productivity and Quality of Winter Wheat Grain Depending on Foliar Fertilization in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, 5, 101–107. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.16 [in Ukrainian].

Abdelraheem, K.M., Eldamarawy, Y., & El-Azab, M. (2025). Impact of amino acid application on growth, yield and nutrients status of wheat plant under nitrogen fertilization. *Egyptian Journal of Agronomy,* 4, 951–958. https://doi.org/10.21608/agro.2025.336200.1563 [in English].

Antosovský, J., Skarpa, P., & Ryant, P. (2024). The effect of nitrogen-sulphur fertilizer with nitrification inhibitor on winter wheat (Triticum aestivum L.) nutrition. *Heliyon 10.*, e33035 c10.1016/j.heliyon.2024.e33035 [in English].

Bongiovani, P.F., Herrera, J. M., Frossard, E., Nóia Júnior, R., Pequeno, D.N.L., Burton, A., Häner, L. L., & Asseng, S. (2025). Nitrogen fertilization strategy for Swiss winter wheat under climate-induced rainfall reduction: A model-based assessment. *European Journal of Agronomy*, 170, 127728. https://doi.org/10.1016/j.eja.2025.127728 [in English].

Dawar, K., Khan, A.A., Jahangir, M.M.R., Mian, I.A., Khan, B., Ahmad, B., Fahad, S., Moustafa, M., Al-Shehri, M., Mubashir, M., Datta, R., Danish, S. (2023). Effect of nitrogen in combination with different levels of sulfur on wheat growth and yield. *ACS Omega, 8*(1), 279–288. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04054 [in English].

Fatholahi, S, Ehsanzadeh, P, & Karimmojeni, H. (2020). Ancient and improved wheats are discrepant in nitrogen uptake, remobilization, and use efficiency yet comparable in nitrogen assimilating enzymes capabilities. *Field Crops Research*, 249, 107761. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107761 [in English].

Guzman-Bustamante, I., Schulz, R., Müller, T., & Ruser, R. (2022). Split N application and DMP based nitrification inhibitors mitigate N_2O losses in a soil cropped with winter wheat. *Nutrient Cycle Agroecosystem,* 123, 119–135 https://doi.org/10.1007/s10705-022-10211-7 [in English].

Hirzel, J., Matus, I., & Madariaga, R. (2010). Effect of split nitrogen applications on durum wheat cultivars in volcanic soil. *Chilean Journal of Agricultural Research,* 70, 590–595. https://doi.org/10.4067/S0718-58392010000400009 [in English].

Jarvan, M., Edesi, L., & Adamson, A. (2012). The content and quality of protein in winter wheat grains depending on sulphur fertilization. *Acta Agric Scand B Soil Plant Sci,* 62, 627–636. https://doi.org/10.1080/09064710.2012.683495 [in English].

Ma, G., Liu, W.g, Li, Sh., Zhang, P., Wang, Ch., Lu, H., Wang, L., Xie, Yi., Ma, D., & Kang, G. (2019). Determining the optimal N input to improve grain yield and quality in winter wheat with reduced apparent N loss in the North China Plain. *Frontiers in Plant Science,* 10, 1–12. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00181 [in English].

Naeem, H.A., & MacRitchie, F. (2003). Effect of sulphur nutrition on agronomic and quality attributes of wheat, in: Sulphur in Plants. *Springer,* Chapter, 305–322. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8_17 [in English].

Nehe, A. S., Misra, S., Murchie, E. H., Chinnathambi, K., & Foulkes, M. J. (2018). Genetic variation in N-use efficiency and associated traits in Indian wheat cultivars. *Field Crops Research,* 225, 152–162. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.06.002 [in English].

Shahsavani, S., & Gholami, A. (2008). Effect of sulphur fertilization on breadmaking quality of three winter wheat varieties. *Pakistan Journal of Biological Sciences,* 11, 2134–2138. https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.2134.2138 [in English].

Tabak, M., Lepiarczyk, A., Filipek-Mazur, B., & Lisowska, A. (2020). Efficiency of nitrogen fertilization of winter wheat depending on sulfur fertilization. *Agronomy,* 10, 1304. https://doi.org/10.3390/agronomy10091304 [in English].

Withers, P.J.A., Tytherleigh, A.R.J., & O'Donnell, F.M. (1995). Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. *The Journal of Agricultural Science,* 125, 317–324 https://doi.org/10.1017/S0021859600084811 [in English].

Zhang, Z, Yu, Z, Zhang, Y, & Shi, Y. (2021a). Optimized nitrogen fertilizer application strategies under supplementary irrigation improved winter wheat (Triticum aestivum L.) yield and grain protein yield. *Peer J,* 9, e11467. https://doi.org/10.7717/peerj.11467. PMID: 34141470 [in English].

Zhang, Zh., Yu, Zh., Zhang, Y., & Shi, Yu. (2021b). Split nitrogen fertilizer application improved grain yield in winter wheat (Triticum aestivum L.) via modulating antioxidant capacity and 13 C photosynthate mobilization under water-saving irrigation conditions. *Ecological Processes*, 10:21. https://doi.org/10.1186/s13717-021-00290-9 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 27.11.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 16.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.2.631.4/631.6
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.20

ВИКОРИСТАННЯ ЕСПАРЦЕТУ ПІЩАНОГО (*ONOBRYCHIS ARENARIA* KIT.) ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ҐРУНТІВ

О. П. Ткачук[1], В. І. Вергеліс[2]

Подальша деградація ґрунтів в Україні, що зумовлена інтенсифікацією землеробства, посилюється військовою агресією. Понад 16 млн. га українських ґрунтів деградовано. За таких умов для українських ґрунтів характерна низька екологічна стійкість, сильна уразливість до антропогенних та кліматичних впливів, що зумовлює скорочення обсягів виробленої сільськогосподарської продукції, зниження її екологічної безпеки, що ставить під пряму загрозу здоров'я і життя населення. Багаторічні бобові трави відіграють важливу фітомеліоративну роль на орних землях. Серед фітомеліоративних властивостей бобових багаторічних трав важливу роль, особливо в умовах зміни клімату, відіграє еспарцет піщаний (Onobrychis arenaria Kit.).

Мета дослідження – встановити комплексний агроекологічний вплив на стан ґрунту дво- і чотирирічного вирощування еспарцету піщаного (Onobrychis arenaria Kit.). Оцінка еколого-агрохімічного стану ґрунту здійснювалася за такими показниками: вміст гумусу, гідролізованого азоту, рухомих форм фосфору і калію, рівень pH ґрунтового розчину та гідролітична кислотність.

Дворічне вирощування еспарцету піщаного (Onobrychis arenaria Kit.) сприяє покращенню агроекологічного стану ґрунту завдяки формуванню розвиненої кореневої маси трав, яка еквівалентна внесенню 35–40 т/га гною. Це забезпечує підвищення вмісту рухомих форм фосфору на 5,1%, калію – на 23,8%, зменшення гідролітичної кислотності до 26,4% і підвищення рівня pH ґрунтового розчину на 0,3–0,7 одиниць. При чотирирічному вирощуванні цієї культури у ґрунті фіксується збільшення вмісту гумусу на 0,3%, гідролізованого азоту – на 6,3%, рухомих форм фосфору – на 12,2%, калію – на 30,4% та зростає реакція pH ґрунтового розчину на 2,8%.

Дворічне вирощування еспарцету піщаного (Onobrychis arenaria Kit.) сприяє значному зменшенню вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті: свинцю – на 74,6%, кадмію – на 96,7%, міді – на 11,8% та цинку – на 69,2%. При чотирирічному вирощуванні еспарцету піщаного встановлено ще істотніше зниження цих показників: свинцю – на 74,6%, кадмію – на 98,3%, міді – на 94,1% та цинку – на 73,6%.

Ключові слова: *гумус, азот, фосфор, калій, кислотність, бобові багаторічні трави.*

[1] доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: tkachukop@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0647-6662
[2] асистент кафедри екології та охорони навколишнього середовища
(Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця)
e-mail: viktoriya_iv47@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1699-0064

USING SAND SAINFOIN (ONOBRYCHIS ARENARIA KIT.) TO RESTORE DEGRADED SOILS

O. P. Tkachuk, V. I. Verhelis

Further soil degradation in Ukraine, caused by the intensification of agriculture, is being exacerbated by military aggression. More than 16 million hectares of Ukrainian soils have been degraded. Under such conditions, Ukrainian soils are characterized by low ecological stability, high vulnerability to anthropogenic and climatic influences, which leads to a reduction in the volume of agricultural production, a decrease in its ecological safety, which directly threatens the health and life of the population.

Perennial leguminous grasses play an important phytomeliorative role on arable lands. Among the phytomeliorative properties of perennial leguminous grasses, sand sainfoin (Onobrychis arenaria Kit.) plays an important role, especially in conditions of climate change.

The aim of the study was to establish the complex agroecological impact on the soil condition of two- and four-year cultivation of sand sainfoin (Onobrychis arenaria Kit.). The assessment of the ecological and agrochemical condition of the soil was carried out according to the following indicators: the content of humus, hydrolyzed nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium, the pH level of the soil solution and hydrolytic acidity.

Two-year cultivation of sand sainfoin (Onobrychis arenaria Kit.) contributes to the improvement of the agroecological condition of the soil due to the formation of a developed root mass of grasses, which is equivalent to the application of 35–40 t/ha of manure. This provides an increase in the content of mobile forms of phosphorus by 5.1%, potassium by 23.8%, a decrease in hydrolytic acidity to 26.4% and an increase in the pH level of the soil solution by 0.3–0.7 units. With four-year cultivation of this crop, an increase in the content of humus by 0.3%, hydrolyzed nitrogen by 6.3%, mobile forms of phosphorus by 12.2%, potassium by 30.4% and an increase in the pH reaction of the soil solution by 2.8%.

Two-year cultivation of sand sainfoin (Onobrychis arenaria Kit.) contributes to a significant reduction in the content of mobile forms of heavy metals in the soil: lead – by 74.6%, cadmium – by 96.7%, copper – by 11.8% and zinc – by 69.2%. With four-year cultivation of sand sainfoin, an even more significant reduction of these indicators was found: lead – by 74.6%, cadmium – by 98.3%, copper – by 94.1% and zinc – by 73.6%.

Key words: *humus, nitrogen, phosphorus, potassium, acidity, leguminous perennial herbs.*

Вступ

Деградація ґрунтів в Україні розвивається прискореними темпами, спричиняючи втрату прибутку понад 30 млрд. грн. щороку. Із загальної площі деградованих земель в Україні, яка складає на сьогодні понад 16 млн. га, близько 43% припадає на дегуміфікацію, 39% – на переущільнення ґрунту, 38% – на руйнування структури ґрунту, 33% – на водну ерозію, 22% – на вітрову ерозію, 20% – на підвищену кислотність, 11% – на забруднення радіонуклідами, 10% – на забруднення залишками пестицидів, 8% – на забруднення важкими металами, 5% – на засолення, 1% – на опустелювання (Волощук, 2017).

Посилилися деградаційні процеси внаслідок збройної агресії, коли близько 25% території України зазнали забруднення важкими металами та радіонуклідами та фактично стали непридатними для ведення сільського господарства без дієвих відновлюючих заходів (Filatov et al., 2015; Razanov et al., 2024).

За таких умов для українських ґрунтів характерна низька екологічна стійкість, прискорена деградація, сильна уразливість до антропогенних та кліматичних впливів, що зумовлює скорочення обсягів виробленої сільськогосподарської продукції, зниження її екологічної безпеки, що ставить під пряму загрозу здоров'я і життя населення (Грановська і Вожегова, 2020).

Однією з ключових екологічних проблем агропромислового комплексу України залишається пошук ефективних методів зменшення антропогенного впливу, зокрема наслідків військової агресії, на стан ґрунтів. Це незаперечно формує нові завдання для науки, спрямовані на розробку стратегій у виробництві сільськогосподарської продукції та продовольчої сировини (Bulba et al., 2024).

В Україні дедалі частіше спостерігаються різні порушення екологічної рівноваги ґрунтів, які виникають як через аграрну діяльність, так і внаслідок зростаючого військового впливу під час бойових дій та кліматичних змін, що підсилюють ці негативні явища. У зв'язку з цим особливого значення набуває ширше викори-

стання видового різноманіття багаторічних бобових трав, здатних позитивно впливати на стан ґрунтів. Ці рослини можуть виконувати відновлювальні, стабілізаційні та поліпшувальні функції, слугуючи ефективним інструментом для фітомеліоративного відновлення деградованих земель України. Реалізація такого підходу потребує агроекологічного обґрунтування щодо доцільності та ефективності використання різних видів багаторічних бобових рослин для покращення стану агроценозів і ґрунтів (Разанов і Ткачук, 2017; Hetman et al., 2025).

Багаторічні бобові трави відіграють важливу фітомеліоративну роль на орних землях. Збалансоване співвідношення розораних площ, сінокосів і пасовищ сприятиме усуненню деструктивних процесів в агроландшафтах, зменшенню ерозії, а також підвищить родючість ґрунтів і врожайність сільськогосподарських культур. Серед фітомеліоративних властивостей бобових багаторічних трав важливу роль, особливо в умовах зміни клімату, відіграє еспарцет піщаний (*Onobrychis arenaria* Kit.) (Демидась та ін., 2017).

За усередненими даними багатьох українських наукових установ, азотфіксуюча здатність еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) досягає 230 кг/га. В результаті трирічного використання травостою цієї культури агрохімічні показники сірого лісового ґрунту значно покращилися: вміст гумусу підвищився з 2,3% до 2,8%, кислотність ґрунтового розчину зменшилася з pH 4,6 до 5,4, а концентрація фосфору збільшилася з 14 до 18 мг на 100 г ґрунту (Коваленко, 2020).

Після трирічного вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) на сірих лісових ґрунтах відзначалося підвищення вмісту гумусу на 0,1%. Кількість гідролізованого азоту не змінилася, тоді як вміст рухомого фосфору збільшився на 3 мг/100 г ґрунту. Вміст обмінного калію також зріс на 1,7 мг/100 г ґрунту. Гідролітична кислотність була нижчою на 1,26 мг/100 г ґрунту у порівнянні з показниками після чорного пару (Коваленко і Бутенко, 2018).

Проте комплексний агроекологічний вплив еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) на стан ґрунту не встановлений, особливо в умовах глобального потепління. Тому метою нашого дослідження було встановити комплексний агроекологічний вплив на стан ґрунту дво- і чотирирічного вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.).

Матеріал і методи

Польові дослідження проводилися протягом 2021–2025 років у Науково-дослідному господарстві «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету на сірих опідзолених середньосуглинкових ґрунтах. Метою досліджень було оцінити вплив агроценозів еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) за двох- і чотирирічним терміном вирощування на агроекологічний стан ґрунту, а також дослідити рівень його забруднення рухомими формами важких металів, такими як свинець, кадмій, мідь і цинк. Оцінка еколого-агрохімічного стану ґрунту здійснювалася за такими показниками: вміст гумусу, гідролізованого азоту, рухомих форм фосфору і калію, рівень pH ґрунтового розчину та гідролітична кислотність.

Було проведено наступні спостереження, обліки та вимірювання: визначення рівня забруднення ґрунту рухомими формами важких металів, оцінка фізико-хімічних та агроекологічних показників родючості ґрунту виконувалися в сертифікованих та акредитованих лабораторіях – Випробувальному центрі Вінницької філії Державної установи «Держґрунтоохорона» Міністерства аграрної політики та продовольства України та Науково-вимірювальній агрохімічній лабораторії кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету. Відбір ґрунтових проб здійснювався з шару 0–20 см за стандартом ДСТУ ISO 10381-1:2004 (ДСТУ, 2005a). Вміст гумусу в ґрунті визначався методом Тюріна відповідно до ДСТУ 4289:2004 (ДСТУ, 2005b). Аналіз концентрації рухомих форм важких металів (свинцю, кадмію, міді та цинку) після вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином з рівнем pH 4,8 проводився методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії згідно з ДСТУ 4362:2004 (ДСТУ, 2005c) та ДСТУ 4770.(1, 3, 7, 8):2007. (ДСТУ, 2009a, b, c, d). Показник pH ґрунтового розчину визначався іонометричним методом згідно зі стандартом ДСТУ ISO 10390-2001 (ДСТУ, 2002a). Гідролітичну кислотність аналізували методом Каппена відповідно до ДСТУ 7863:2015 (ДСТУ, 2016a). Визначення вмісту гідролізованого азоту виконували за методом Корнфілда згідно з ДСТУ 7862:2015 (ДСТУ, 2016b). Оцінка рухомих форм фосфору і калію проводилася методами Чирикова відповідно до ДСТУ 4115-2002 (ДСТУ, 2002b).

Результати

Наприкінці другого року вегетації еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) були зафіксовані зміни агрохімічного стану ґрунту. Вміст гумусу за цей період майже не змінився, навіть попри те, що еспарцет розвинув потужну кореневу систему. Це пояснюється тим, що процес розкладу коренів починається лише з другого року їх життя, коли відбувається ущільнення ґрунту. Підвищення вмісту гумусу склало лише 0,02% (рис. 1).

Перед початком вирощування трав вміст гідролізованого азоту в ґрунті складав 133 мг/кг. Дворічне вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) призвело до зменшення цього показника на 1 мг/кг, що відповідає 0,8%.

Багаторічні бобові трави завдяки здатності до симбіотичної азотфіксації активно накопичують мінеральний азот у ґрунті. Однак цей азот використовується для росту еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.), що призводить до зменшення його запасів у ґрунті. Водночас це компенсується високою врожайністю зеленої маси еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.).

До початку вирощування багаторічних бобових трав, вміст рухомих форм фосфору в ґрунті складав 390 мг/кг. За два роки вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) спостерігалося зростання цього показника на 5,6% порівняно з вихідним рівнем, що склало 413 мг/кг. Щодо рухомих форм калію, їх початковий вміст у ґрунті становив 64 мг/кг. Після дворічного вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) вміст рухомих форм калію зріс на 23,8%.

Перед початком вирощування бобових багаторічних трав гідролітична кислотність ґрунту (Нг) дорівнювала 0,53 мг-екв./100 г. Через два роки культивування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) спостерігалося зменшення гідролітичної кислотності ґрунту на 48,6% порівняно з початковим рівнем.

Реакція ґрунтового розчину перед вирощуванням трав становила 7,0 pH. Через два роки вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) відбулося зниження кислотності ґрунтового розчину на 5,7% у порівнянні з початковим показником.

Після чотирьох років вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) відзначено стабілізацію основних показників агрохімічного складу ґрунту. За цей період рівень гумусу в ґрунті підвищився на 0,3%, що свідчить про позитивний вплив культури на якість ґрунтового середовища.

Протягом чотирьох років вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) було зафіксовано збільшення вмісту гідро-

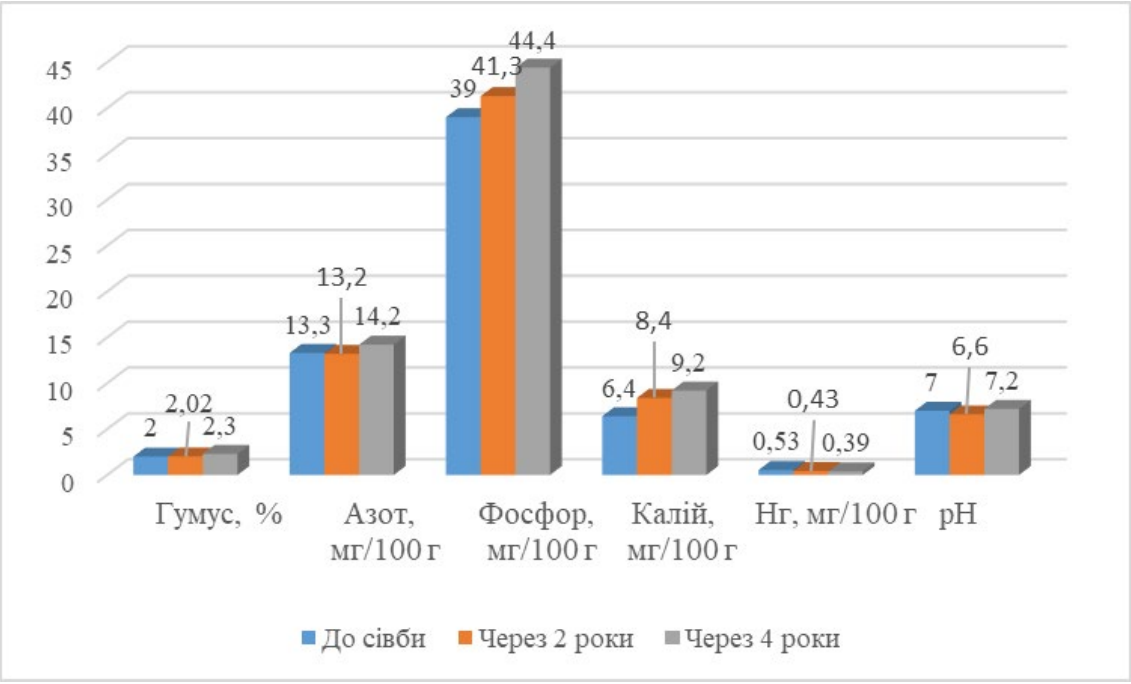


Рис. 1. Динаміка еколого-агрохімічних параметрів ґрунту залежно від терміну вирощування еспарцету піщаного (Onobrychis arenaria Kit.)

лізованого азоту в ґрунті на 6,3% завдяки процесу симбіотичної азотфіксації. У зв'язку з тим, що жодних мінеральних добрив для посівів еспарцету піщаного не застосовували, рослини використовували поживні речовини, які накопичувалися завдяки попереднім трав'яним рослинам.

Чотирирічне вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) сприяло підвищенню вмісту рухомих форм фосфору в ґрунті на 12,2%. За цей період у порівнянні з дворічним вирощуванням, кількість рухомих форм фосфору в ґрунті збільшилася на 31 мг/кг. Крім того, чотирирічна вегетація культури забезпечила зростання вмісту рухомих форм калію на 30,4%. Водночас рівень кальцію в ґрунті залишився майже незмінним, коливаючись у межах 130–133 мг/кг протягом усього досліджуваного періоду.

Протягом чотирьох років вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) гідролітична кислотність ґрунту зменшилася на 26,4%. Порівняно з дворічним періодом вегетації, ця величина скоротилася вже на 62,1%. Реакція ґрунтового розчину pH після чотирьох років підвищилася на 2,8%, досягнувши значення 7,2 pH, що свідчить про нейтральний рівень кислотності. За чотирирічний період у порівнянні з дворічним, показник pH ґрунтового розчину зріс на 8,3%.

Резюмуючи результати дослідження впливу чотирирічного вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) на агроекологічні характеристики ґрунту, слід зазначити значне накопичення гумусу, гідролізованого азоту, рухомих форм фосфору, калію в ґрунті, а також забезпечення підвищення рівня pH ґрунтового розчину до нейтрального значення.

Перед висівом трав вміст рухомих форм свинцю у ґрунті становив 5,9 мг/кг, що було зумовлене використанням вапнякового матеріалу дефекату, а також попереднім застосуванням мінеральних добрив на дослідній ділянці. Протягом двох років вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) вдалося знизити рівень рухомих форм свинцю в ґрунті на 74,6% (рис. 2).

Граничнодопустима концентрація свинцю в ґрунті становить 6,0 мг/кг. Дворічне вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) сприяє зменшенню вмісту рухомих форм свинцю у ґрунті на 75% від рівня ГДК. Після цього процесу концентрація рухомих форм свинцю в ґрунті знизилась до 1,5 мг/кг.

Дворічне вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) забезпечує

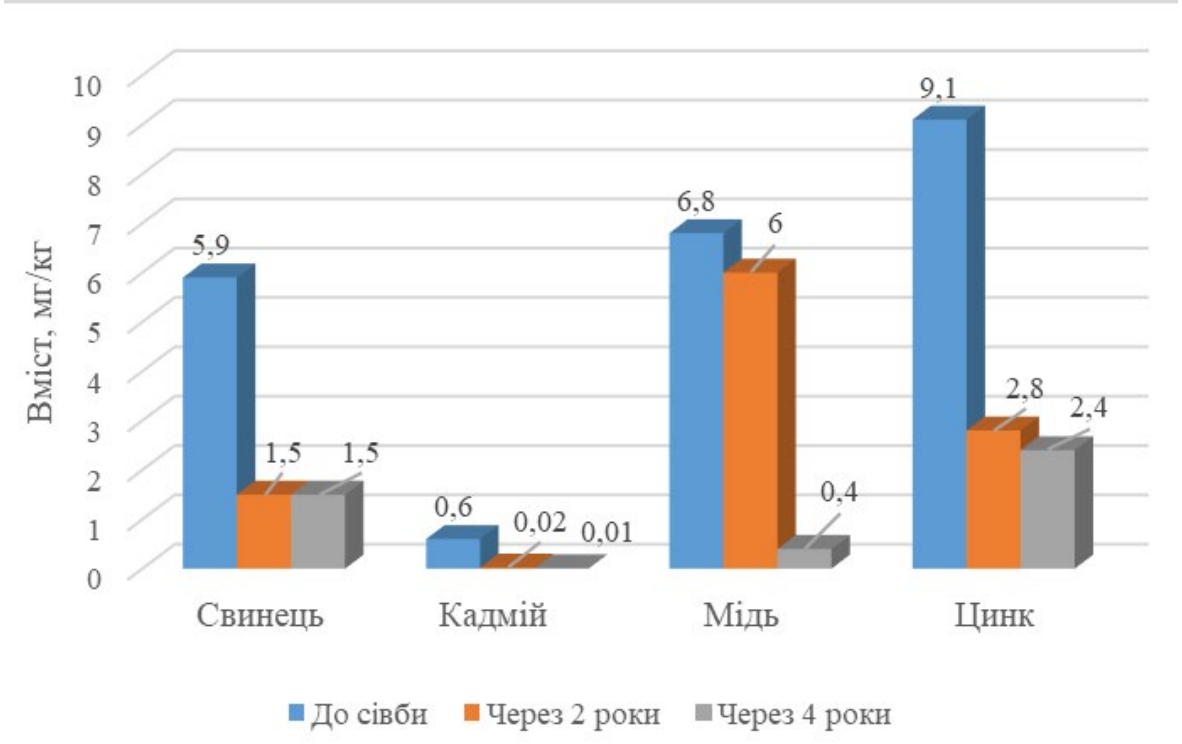


Рис. 2. Динаміка вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті залежно від терміну вирощування еспарцету піщаного (Onobrychis arenaria Kit.)

значне зниження рівня рухомих форм кадмію в ґрунті, до 96,7%. Гранично допустима концентрація (ГДК) кадмію в ґрунті визначена як 0,70 мг/кг. Використання еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) дозволяє знизити вміст кадмію на 97,2% відносно ГДК. Після застосування цієї культури концентрація кадмію в ґрунті становила всього 0,02 мг/кг.

Після двох років вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) вміст міді у ґрунті знизився на 11,8% у порівнянні зі станом ґрунту до початку культивації багаторічних бобових трав. Однак у порівнянні з гранично допустимою концентрацією (ГДК) міді в ґрунті, яка становить 3,0 мг/кг, її рівень після вирощування еспарцету перевищував норму на 50%. У результаті, вміст міді в ґрунті сягав 6,0 мг/кг. Мідь є подвійним фактором: з одного боку, вона виступає важливим мікроелементом, а з іншого – токсичним важким металом.

Дворічне вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) спричинило зниження вмісту рухомих форм цинку у ґрунті на 69,2% у порівнянні з періодом до його вирощування. Після завершення цього процесу концентрація рухомих форм цинку у ґрунті становила 2,8 мг/кг, що значно нижче граничнодопустимої концентрації (ГДК), яка дорівнює 23,0 мг/кг. Зокрема, найменший рівень вмісту цинку, у співвідношенні до ГДК, був зафіксований саме після вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) – лише 12,2% від допустимої норми. Під час дослідження встановлено, що фактична концентрація рухомих форм цинку у ґрунті склала 2,8 мг/кг після закінчення періоду зростання цієї рослини.

Після чотирьох років вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) рівень рухомих форм свинцю у ґрунті зменшився на 74,6%. Концентрація свинцю в ґрунті після завершення цього періоду була на 75% нижчою за гранично допустиму концентрацію (ГДК) і становила 1,5 мг/кг. Протягом чотирирічного циклу вирощування рослини, вміст рухомих форм свинцю у ґрунті залишився стабільним, не відрізняючись від показників дворічного терміну.

Протягом чотирьох років вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) вміст рухомих форм кадмію у ґрунті знижується на 98,3%, досягаючи лише 1,4% від його граничнодопустимої концентрації (ГДК), яка становить 0,01 мг/кг. Щодо зменшення вмісту рухомих форм міді, то за цей же період її рівень у ґрунті зменшується на 94,1%. У порівнянні з ГДК, концентрація рухомих форм міді після вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) стає на 86,7% меншою за допустимий рівень. Після завершення вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) фактичний вміст рухомих форм міді у ґрунті становив 0,4 мг/кг.

За чотири роки вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) вміст цинку у ґрунті скоротився на 73,6%. По завершенню цього періоду концентрація рухомих форм цинку була на 89,6% нижчою за гранично допустиму концентрацію (ГДК) і становила 2,4 мг/кг. У порівнянні з двома роками вирощування, за чотири роки вміст цинку у ґрунті зменшився додатково на 14,3%.

Обговорення

Підсумовуючи результати досліджень щодо впливу дворічного вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) на якість і стан ґрунту, виявлено зростання вмісту гумусу на 0,01%, підвищення рівня рухомого фосфору на 5,6% і рухомого калію на 23,8%. Також спостерігалося зменшення гідролітичної кислотності ґрунту на 48,6%, водночас відбулося незначне зниження вмісту гідролізованого азоту на 0,8% та поліпшення реакції ґрунтового розчину ($pH_{сол.}$) на 5,6%. Чотирирічне вирощування цієї культури забезпечує збільшення гумусу на 0,3%, гідролізованого азоту – на 6,3%, рухомого фосфору – на 12,2% і рухомого калію – на 30,4%. Крім того, фіксується зменшення гідролітичної кислотності на 26,4% і покращення реакції ґрунтового розчину pH на 2,8%.

Ключовим фактором, завдяки якому бобові багаторічні трави позитивно впливають на властивості ґрунту, є здатність накопичувати кореневу масу з високим вмістом поживних елементів. Обсяги цих поживних речовин залежать від рівня розвитку підземної частини їхніх кореневих систем.

За даними Демиденка (Демиденко, 2024), вирощування багаторічних бобових трав завдяки накопиченню кореневої маси в ґрунті сприяє збільшенню вмісту гумусу, що за ефективністю прирівнюється до внесення 35–40 т/га гною. Процес перетворення кореневої маси на гумус розпочинається з другого року життя трав, коли ґрунт поступово ущільнюється, а мінералізація сповільнюється.

Дослідження кругообігу азоту показують, що більша його частина, згідно з даними

Центило (Центило, 2019), виводиться з ґрунту господарською частиною врожаю багаторічних бобових трав. При цьому 75% загального обсягу азоту, який засвоюють ці рослини, надходить завдяки процесу азотфіксації з повітря, а решта – за рахунок виносу з ґрунту. Це може спричинити зниження рівня гідролізованого азоту в ґрунті після вирощування бобових трав. Після їхнього збору мінеральний азот накопичується переважно в кореневій масі рослин, тоді як його вміст у самому ґрунті зменшується приблизно в шість разів, що особливо помітно у період сухої погоди під час вегетації. Крім того, за даними Антипової (Антипова та ін., 2018), азот, накопичений бобовими багаторічними травами, концентрується головним чином у їхніх кореневих системах і стає доступним для рослин лише після розкладання кореневих залишків. Водночас обсяг нагромадження азоту в ґрунті значною мірою залежить від рівня зволоження. Як зазначає Войтовик (Войтовик, 2024), Лихошерст (Лихошерст, 2024), за умов посухи кількість азоту, який накопичується в ґрунті, скорочується у 3,5 рази.

Зміна вмісту рухомих форм фосфору і калію в ґрунті пов'язана з варіацією урожайності зеленої маси багаторічних бобових трав. Це, у свою чергу, впливає на рівень вилучення біогенних елементів, таких як азот, фосфор і калій, з надземної вегетативної маси.

Аналізуючи результати досліджень щодо впливу дворічного вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) на вміст рухомих форм важких металів у ґрунті, варто відзначити значне зменшення концентрації свинцю, кадмію, міді та цинку. Зокрема, їх вміст у ґрунті знизився на 74,6%, 96,7%, 11,8% та 69,2% відповідно.

Аналізуючи результати досліджень щодо впливу чотирьохрічного вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) на концентрацію рухомих форм важких металів в ґрунті, можна виділити, що найбільш помітним є зменшення вмісту свинцю та кадмію, тоді як міді та цинку цей процес є менш вираженим.

Як зазначає Разанов (Razanov et al., 2018), тривале вирощування цієї рослини сприяє поступовому зниженню концентрації рухомих форм міді, цинку і кадмію, однак інтенсивність цього процесу знижується через біологічні особливості еспарцету піщаного як середньорічної трави. У старшому віці (через чотири роки) його рослинність слабшає, і частина рослин випадає з травостою, що впливає на ефективність очищення ґрунту.

Висновки

Дворічне вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) сприяє покращенню агроекологічного стану ґрунту завдяки формуванню розвиненої кореневої маси трав, яка еквівалентна внесенню 35–40 т/га гною. Це забезпечує підвищення вмісту рухомих форм фосфору на 5,1%, калію – на 23,8%, зменшення гідролітичної кислотності до 26,4% і підвищення рівня pH ґрунтового розчину на 0,3–0,7 одиниць. При чотирирічному вирощуванні цієї культури у ґрунті фіксується збільшення вмісту гумусу на 0,3%, гідролізованого азоту – на 6,3%, рухомих форм фосфору – на 12,2%, калію – на 30,4% та зростає реакція pH ґрунтового розчину на 2,8%.

Дворічне вирощування еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) сприяє значному зменшенню вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті: свинцю – на 74,6%, кадмію – на 96,7%, міді – на 11,8% та цинку – на 69,2%. При чотирирічному вирощуванні еспарцету піщаного встановлено ще істотніше зниження цих показників: свинцю – на 74,6%, кадмію – на 98,3%, міді – на 94,1% та цинку – на 73,6%.

Список використаної літератури

Антипова Л.К., Цуркан Н.В., Адамович О.М., Пойша Л.А. Багаторічні трави – важлива складова екологічного землеробства і кормовиробництва. *Вісник аграрної науки Причорномор'я.* 2018. Вип. 4. С. 35-41. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-4(100)-5

Войтовик М.В. Наукове обґрунтування продуктивності коротко ротаційних сівозмін і відтворення родючості чорнозему типового Правобережного Лісостепу України. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.01 – загальне землеробство. Дніпровський аграрно-економічний університет, Дніпро, 2024. 534 с.

Волощук М. Деградація ґрунтів – глобальна екологічна проблема. *Вісник Львівського університету. Серія географічна.* 2017. Випуск 51. С. 63–70. https://doi.org/10.30970/vgg.2017.51.8738

Грановська Л.М., Вожегова Р.А. Деградація ґрунтів в умовах південного степу України: причини, наслідки та заходи з їх попередження. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2020. Вип. 68 (I). С. 82–96. https://doi.org/10.32636/01308521.2020-(68)-1-6

Демидась Г.І., Лихошерст Е.С., Свистунова І.В. Еспарцет – перспективна культура в кормовиробництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Агрономія».* 2017. Вип. 269. С. 17–23.

Демиденко О.В. Секвестраційна здатність сівозмін з довгою ротацією центральної частини Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 8 (857). С. 19–30. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202408-03

Коваленко В.П. Агробіологічні основи підвищення продуктивності багаторічних бобових трав у різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.09 «Рослинництво». ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет», Херсон, 2020. 473 с.

Коваленко І.М., Бутенко А.О., Собко М.Г. Формування продуктивності еспарцету піщаного під впливом способів та глибини основного обробітку ґрунту. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 99. С. 60–67. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2018.99.9

Лихошерст Е.С. Вплив технологічних способів вирощування на формування врожайності еспарцету в умовах Лісостепу Правобережного. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 7. С. 83–86. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-12

Разанов С.Ф., Ткачук О.П. Динаміка зміни концентрації важких металів у ґрунті при вирощуванні бобових багаторічних трав. *Збалансоване природокористування*. 2017. № 4. С. 140–143.

Центило Л.В. Параметри вмісту гумусу в чорноземі типовому залежно від агровиробничого використання. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2019. № 2. https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.02.017

Якість ґрунту. Визначання вмісту рухомих сполук кадмію в модифікації ДСТУ 4287 (ISO 11048, MOD). Частина 8: ДСТУ 4770.8:2007. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Визначання вмісту рухомих сполук міді в модифікації ДСТУ 4287 (ISO 11048, MOD). Частина 3: ДСТУ 4770.3:2007. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Визначання вмісту рухомих сполук свинцю в модифікації ДСТУ 4287 (ISO 11048, MOD). Частина 7: ДСТУ 4770.7:2007. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Визначання вмісту рухомих сполук цинку в модифікації ДСТУ 4287 (ISO 11048, MOD). Частина 1: ДСТУ 4770.1:2007. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Визначання гідролітичної кислотності: ДСТУ 7863:2015. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Визначання легкогідролізованого азоту методом Корнфілда: ДСТУ 7862:2015. [Чинний від 2016-07-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Визначання pH (ISO 10390:1994, IDT): ДСТУ ISO 10390-2001. [Чинний від 2002-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2002. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за методом Чирікова в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського: ДСТУ 4115:2002. [Чинний від 2003-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2002. 10 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT): ДСТУ ISO 10381-1:2004. [Чинний від 2006-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 26 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини: ДСТУ 4289:2004. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 14 с. (Національний стандарт України).

Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів: ДСТУ 4362:2004. [Чинний від 2006-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 32 с. (Національний стандарт України).

Bulba I., Drobitko A., Zadorozhnii Yu., Pismennyi O. Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. № 7. P. 107–117. https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.107

Filatov V.M., Rudenko D.M., Krainiukov O.M. Soil degradation in the context of armed conflict:a conceptual framework. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 340–348. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.32

Hetman N., Karbivska U., Tkachuk O., Gamajunova V., Kurhak V., Stotska S., Kulyk R., Senyk I., Hryhoriv Y., Tytun O. The role of *Medicago sativa* L. in the ecologization of agricultural production. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26(8). P. 342–349. https://doi.org/10.12912/27197050/208367

Razanov S., Tkachuk O., Lebedieva N., Shkatula Y., Polishchuk M., Melnyk M., Razanova A. Phytoremediation of heavy metal contamination by perennial legumes. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. № 81(1). P. 216–222. https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2296764

Razanov S.F., Tkachuk O.P., Mazur V.A., Didur I.M. Effect of bean perennial plants growing on soil heavy metal concentrations. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8(2). P. 294–300. https://doi.org/10.15421/2018_341

References

Antypova, L.K., Curkan, N.V., Adamovych, O.M., & Pojsha, L.A. (2018). Baghatorichni travy – vazhlyva skladova ekologhichnogho zemlerobstva i kormovyrobnyctva [Perennial grasses are an important component of ecological agriculture and feed production]. *Visnyk aghrarnoji nauky Prychornomor'ja [Bulletin of Agricultural Science of the Black Sea Region]*, 4, 35–41. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-4(100)-5 [in Ukrainian].

Vojtovyk, M.V. (2024). Naukove obgruntuvannja produktyvnosti korotko rotacijnykh sivozmin i vidtvorennja rodjuchosti chornozemu typovogho Pravoberezhnogho Lisostepu Ukrajiny [Scientific substantiation of the productivity of short-rotation crop rotations and the reproduction of the fertility of chernozem of the typical Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Dysertacija na zdobuttja naukovogho stupenja doktora siljsjkoghospodarsjkykh nauk za specialjnistju 06.01.01 – zaghaljne zemlerobstvo [Dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences in the specialty 06.01.01 – General Agriculture].* Dnipro Agrarian and Economic University, Dnipro. 534 p. [in Ukrainian].

Voloshhuk, M. (2017). Deghradacija gruntiv – ghlobaljna ekologhichna problema [Soil degradation – a global environmental problem]. *Visnyk Ljvivsjkogho universytetu. Serija gheoghrafichna [Bulletin of Lviv University. Geographical series]*, 51, 63–70. https://doi.org/10.30970/vgg.2017.51.8738 [in Ukrainian].

Ghranovsjka, L.M., & Vozheghova, R.A. (2020). Deghradacija gruntiv v umovakh pivdennogho stepu Ukrajiny: prychyny, naslidky ta zakhody z jikh poperedzhennja [Soil degradation in the conditions of the southern steppe of Ukraine: causes, consequences and measures to prevent them]. *Peredghirne ta ghirsjke zemlerobstvo i tvarynnyctvo [Foothill and mountain agriculture and animal husbandry]*, 68 (I), 82–96. https://doi.org/10.32636/01308521.2020-(68)-1-6 [in Ukrainian].

Demydasj, Gh.I., Lykhosherst, E.S., & Svystunova, I.V. (2017). Esparcet – perspektyvna kuljtura v kormovyrobnyctvi [Sainfoin – a promising crop in feed production]. *Naukovyj visnyk Nacionaljnogho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrajiny. Serija «Aghronomija» [Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine. Series "Agronomy"],* 269, 17–23 [in Ukrainian].

Demydenko, O.V. (2024). Sekvestracijna zdatnistj sivozmin z dovghoju rotacijeju centraljnoji chastyny Lisostepu [Sequestration capacity of crop rotation with long rotation in the central part of the Forest-Steppe]. *Visnyk aghrarnoji nauky [Bulletin of Agrarian Science],* 8 (857), 19–30. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202408-03 [in Ukrainian].

Kovalenko, V.P. (2020). Aghrobiologhichni osnovy pidvyshhennja produktyvnosti baghatorichnykh bobovykh trav u riznykh gruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrajiny [Agrobiological foundations of increasing the productivity of perennial leguminous grasses in different soil and climatic zones of Ukraine]. *Dysertacija na zdobuttja naukovogho stupenja doktora siljsjkoghospodarsjkykh nauk za specialjnistju 06.01.09 «Roslynnyctvo» [Dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences in the specialty 06.01.09 "Plant Growing"].* State Higher Educational Institution "Kherson State Agrarian University", Kherson. 473 p. [in Ukrainian].

Kovalenko, I.M., Butenko, A.O., & Sobko, M.Gh. (2018). Formuvannja produktyvnosti esparcetu pishhanogho pid vplyvom sposobiv ta ghlybyny osnovnogho obrobitku gruntu [Formation of productivity of sandy sainfoin under the influence of methods and depth of main soil cultivation]. *Tavrijsjkyj naukovyj visnyk [Tavria Scientific Bulletin],* 99, 60–67. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2018.99.9 [in Ukrainian].

Lykhosherst, E.S. (2021). Vplyv tekhnologhichnykh sposobiv vyroshhuvannja na formuvannja vrozhajnosti esparcetu v umovakh Lisostepu Pravoberezhnogho [The influence of technological methods of cultivation on the formation of sainfoin yield in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe]. *Visnyk aghrarnoji nauky [Bulletin of Agrarian Science],* 7, 83–86. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-12 [in Ukrainian].

Razanov, S.F., & Tkachuk, O.P. (2017). Dynamika zminy koncentraciji vazhkykh metaliv u grunti pry vyroshhuvanni bobovykh baghatorichnykh trav [Dynamics of changes in the concentration of heavy metals in the soil during the cultivation of perennial leguminous grasses]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannja [Balanced Nature Management],* 4, 140–143 [in Ukrainian].

Centylo, L.V. (2019). Parametry vmistu ghumusu v chornozemi typovomu zalezhno vid aghrovyrobnychogho vykorystannja [Parameters of humus content in typical black soil depending on agricultural use]. *Naukovi dopovidi Nacionaljnogho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrajiny [Scientific reports of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine].* No. 2. https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.02.017 [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia vmistu rukhomykh spoluk kadmiiu v modyfikatsii DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Chastyna 8: DSTU 4770.8:2007. Chynnyi vid 2009-01-01. [Soil quality. Determination of the content of mobile cadmium compounds in the modification of DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Part 8: DSTU 4770.8:2007. Valid from 2009-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia vmistu rukhomykh spoluk midi v modyfikatsii DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Chastyna 3: DSTU 4770.3:2007. Chynnyi vid 2009-01-01. [Soil quality. Determination of the content of mobile copper compounds in the modification of DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Part 3: DSTU 4770.3:2007. Valid from 2009-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu v modyfikatsii DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Chastyna 7: DSTU 4770.7:2007. Chynnyi vid 2009-01-01. [Soil quality. Determination of the content of mobile lead compounds in the modification of DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Part 7: DSTU 4770.7:2007. Valid from 2009-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia vmistu rukhomykh spoluk tsynku v modyfikatsii DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Chastyna 1: DSTU 4770.1:2007. Chynnyi vid 2009-01-01. [Soil quality.

Determination of the content of mobile zinc compounds in the modification of DSTU 4287 (ISO 11048, MOD). Part 1: DSTU 4770.1:2007. Valid from 2009-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia hidrolitychnoi kyslotnosti: DSTU 7863:2015. Chynnyi vid 2016-07-01. [Soil quality. Determination of hydrolytic acidity: DSTU 7863:2015. Valid from 2016-07-01]. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2016. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia lehkohidrolizovanoho azotu metodom Kornfilda: DSTU 7862:2015. Chynnyi vid 2016-07-01. [Soil quality. Determination of readily hydrolyzed nitrogen by the Kornfield method: DSTU 7862:2015. Valid from 2016-07-01]. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2016. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia rN (ISO 10390:1994, IDT): DSTU ISO 10390-2001. Chynnyi vid 2002-07-01. [Soil quality. Determination of pH (ISO 10390:1994, IDT): DSTU ISO 10390-2001. Valid from 2002-07-01]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2002. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vyznachannia rukhomykh sposluk fosforu i kaliiu za metodom Chyrikova v modyfikatsii NNTs IHA im. O. N. Sokolovskoho: DSTU 4115:2002. Chynnyi vid 2003-01-01. [Soil quality. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the Chirikov method modified by the O. N. Sokolovsky National Research Center of Agricultural Sciences: DSTU 4115:2002. Valid from 2003-01-01]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2002. 10. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. Chastyna 1. Nastanovy shchodo skladannia prohram vidbyrannia prob (ISO 10381-1:2002, IDT): DSTU ISO 10381-1:2004. Chynnyi vid 2006-01-01. [Soil quality – Sampling – Part 1: Guidance on the preparation of sampling programmes (ISO 10381-1:2002, IDT): DSTU ISO 10381-1:2004. Valid from 2006-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 26. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Metody vyznachennia orhanichnoi rechovyny: DSTU 4289:2004. Chynnyi vid 2005-07-01. [Soil quality. Methods for determining organic matter: DSTU 4289:2004. Valid from 2005-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 14. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Yakist gruntu. Pokaznyky rodiuchosti gruntiv: DSTU 4362:2004. [Chynnyi vid 2006-01-01. [Soil quality. Soil fertility indicators: DSTU 4362:2004. Valid from 2006-01-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2005. 32. (Natsionalnyi standart Ukrainy). [in Ukrainian].

Bulba, I., Drobitko, A., Zadorozhnii, Yu., & Pismennyi, O. (2024). Identification and monitoring of agricultural land contaminated by military operations. *Scientific Horizons*, Vol. 27, № 7, 107–117. https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.107. [in Ukrainian].

Filatov, V.M., Rudenko, D.M., & Krainiukov, O.M. (2025). Soil degradation in the context of armed conflict:a conceptual framework. *Ukrajinsjkyj zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences],* 13, 340–348. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.32 [in Ukrainian].

Hetman, N., Karbivska, U., Tkachuk, O., Gamajunova, V., Kurhak, V., Stotska, S., Kulyk, R., Senyk, I., Hryhoriv, Y., & Tytun, O. (2025). The role of *Medicago sativa* L. in the ecologization of agricultural production. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, Vol. 26(8), 342–349. https://doi.org/10.12912/27197050/208367 [in English].

Razanov, S., Tkachuk, O., Lebedieva, N., Shkatula, Y., Polishchuk, M., Melnyk, M., & Razanova, A. (2024). Phytoremediation of heavy metal contamination by perennial legumes. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 216–222. https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2296764 [in English].

Razanov, S.F., Tkachuk, O.P., Mazur, V.A., & Didur, I.M. (2018). Effect of bean perennial plants growing on soil heavy metal concentrations. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(2), 294–300. https://doi.org/10.15421/2018_341 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 22.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 633.34:631.847:631.559
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.21

ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ ПІД ВПЛИВОМ УДОБРЮВАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В. О. Триус[1], А. О. Бутенко[2], А. С. Готвянська[3], І. М. Сологуб[4]

У статті представлено результати досліджень щодо впливу передпосівної інокуляції насіння препаратом Ризогумін та систем позакореневого підживлення стимуляторами Гуміфілд ВР-18 і Фульвігрін Бор на формування продуктивності сої сорту Сіверка в умовах Лісостепу України протягом 2024–2025 рр. Встановлено, що застосування інтегрованої схеми обробки (варіант А2В4) забезпечило формування найвищих середніх показників індивідуальної продуктивності: кількості бобів (12,8 шт.), кількості насінин на рослині (26,1 шт.) та маси зерна з рослини (4,85 г). Середня врожайність у даному варіанті досягла 2,88 т/га, а маса 1000 насінин – 185,5 г, що перевищувало показники контролю на 11,6% та 14,9 г відповідно. Однак результати статистичного оцінювання за критерієм Дункана свідчать про відсутність математично достовірної різниці між варіантами досліду, оскільки зафіксований фактичний приріст урожайності (0,30 т/га) та маси насіння не подолав поріг критичного розмаху значущості (0,84 т/га та 61,7 г відповідно). Це дозволяє констатувати, що незалежно від інтенсивності використання інокулянтів та добрив, статистично істотної переваги жодного з варіантів не зафіксовано, а виявлена варіабельність показників зумовлена значною внутрішньою мінливістю ознак та домінуючим впливом гідротермічних умов вегетаційного періоду над дією агротехнічних факторів.

***Ключові слова**: соя, інокуляція, Ризогумін, Гуміфілд ВР-18, Фульвігрін Бор, структура врожаю, врожайність, маса 1000 насінин.*

[1] аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: 112233tvo@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6670-1139
[2] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри агротехнологій та ґрунтознавства
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: andb201727@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9639-9826
[3] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри рослинництва
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: hotvjanska.a.s@dsau.dp.ua
ORCID: 0000-0003-3887-3192
[4] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри рослинництва
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: sologub.i.m@dsau.dp.ua
ORCID: 0000-0002-0822-6480

SOYBEAN PRODUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF FERTILIZING PRODUCTS IN THE CONDITIONS OF THE NORTH-EASTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE

V. O. Tryus, A. O. Butenko, A. S. Hotvianska, I. M. Solohub

The article presents the research results on the influence of pre-sowing seed inoculation with Rhizohumin and foliar nutrition systems with Humifield VR-18 and Fulvigreen Bor stimulants on the productivity of Siverka variety soybean in the Ukrainian Forest-Steppe conditions during 2024–2025. It was established that the application of an integrated treatment scheme (variant A2B4) ensured the formation of the highest average indicators of individual productivity: the number of pods (12.8 pcs), the number of seeds per plant (26.1 pcs), and the seed weight per plant (4.85 g). The average yield in this variant reached 2.88 t/ha, and the 1000-seed weight was 185.5 g, which exceeded the control indicators by 11.6% and 14.9 g, respectively. However, the results of statistical evaluation according to Duncan's test indicate the absence of a mathematically significant difference between the experimental variants, as the recorded actual yield increase (0.30 t/ha) and seed weight did not exceed the threshold of the critical range of significance (0.84 t/ha and 61.7 g, respectively). This allows for the conclusion that regardless of the intensity of inoculants and fertilizers used, no statistically significant advantage of any variant was recorded, and the revealed variability of indicators is due to significant internal variability of traits and the dominant influence of hydrothermal conditions of the growing season over the effect of agrotechnical factors.

Key words: *soybean, inoculation, Rhizohumin, Humifield VR-18, Fulvigreen Bor, yield structure, productivity, 1000-seed weight.*

Вступ

Зернобобові культури посідають стратегічне місце в сучасному світовому та вітчизняному агровиробництві, виступаючи фундаментальним елементом продовольчої та екологічної безпеки. Їхня унікальна біологічна цінність зумовлена збалансованим хімічним складом, зокрема високим вмістом високоякісного рослинного білка та незамінних амінокислот, що робить їх незамінними у харчуванні людини (Torún et al., 1981) та тваринництві (Delele, 2021). Особливого значення зернобобові набувають завдяки своїй здатності до біологічної азотфіксації: вступаючи у симбіотичні відносини з бульбочковими бактеріями (*Rhizobium*), вони трансформують атмосферний азот у доступні для рослин форми (James, 2013). Це не лише забезпечує культури природним живленням і знижує залежність від енергомістких мінеральних добрив, а й значно покращує родючість ґрунту, залишаючи цінний азотний резерв для наступних культур у сівозміні (Дацько, 2021).

Сою ж можна вважати однією із лідерів у питанні вмісту білка, залежно від агротехнічних умов, клімату та, звісно ж, сортового потенціалу кількість протеїну у ній може варіювати від 30% і більше (Шевніков та ін., 2014) . Така значна амплітуда коливань вмісту білка підкреслює пластичність культури та її високу чутливість до елементів технології вирощування. Окрім генетичного фактора (Guo et al., 2022), визначальну роль у формуванні якісних показників насіння відіграє повноцінне забезпечення рослин доступними формами азоту протягом усієї вегетації. В сучасних умовах Північно-східного Лісостепу України, де кліматичні зміни вносять корективи у гідротермічний режим, традиційне мінеральне живлення все частіше доповнюється або частково замінюється застосуванням інноваційних біологічних продуктів (Вишнівський і Фурман, 2020; Білявська та ін., 2021; Івасик, 2023).

Використання високоефективних штамів бульбочкових бактерій та комплексних біостимуляторів дозволяє не лише активізувати потенціал симбіотичного апарату, а й нівелювати вплив стресових чинників довкілля. Зазвичай удобрювальні продукти, тобто речовини, що містять мікробіологічні культури, гриби, ферменти та мінеральні елементи мають на меті покращення живлення рослин, стимулювання їхнього росту та підвищення врожайності. На відміну від традиційних добрив, вони діють комплексно: не лише постачають поживні речовини, а й активізують природні процеси в ґрунті та самій рослині, що особливо важливо для органічного землеробства (Дацько, 2023). Це сприяє інтенсифікації азотного обміну в рослині, що безпосередньо корелює з накопиченням сирого протеїну в зерні (Фурман та ін., 2022). Відтак, оптимізація системи удобрення через інтеграцію біопрепаратів постає як ключовий інструмент управління продуктивністю сої, забезпечуючи стабільно

високі врожаї навіть за мінливих погодних умов.

Дослідники в Україні та світі детально вивчали питання використання удобрювальних продуктів як для зернобобових так і для культур, що не утворюють симбіозу з ефективними мікроорганізмами. Згідно з міжнародними дослідженнями (Mirriam et al., 2023), соя демонструє найвищий рівень потенційної врожайності серед бобових культур (до 4,6 т/га), проте ключовим дефіцитним фактором залишається низький рівень азоту та фосфору в ґрунті. Для подолання цієї проблеми перспективним є використання інокуляції штамами *Bradyrhizobium japonicum* у поєднанні з оптимізацією фосфорного живлення, що активізує процеси біологічної фіксації азоту та забезпечує сталий ріст продуктивності культури. (Jabborova et al., 2021) було доведено, що синергічна взаємодія *Bradyrhizobium japonicum* та фосфатмобілізуючих бактерій (зокрема *Pseudomonas putida*) є ефективним інструментом подолання абіотичного стресу, зокрема посухи. Спільна інокуляція цими штамами забезпечує суттєве зростання морфометричних показників сої: довжини кореня – на 56%, сухої маси пагонів – на 48%, а також кількості бульбочок – на 17% порівняно з контролем у стресових умовах. Використання таких мікробних консорціумів не лише покращує споживання поживних речовин, а й активує ґрунтові ферменти, що є критично важливим для сталого виробництва сої в умовах мінливого клімату. Дослідженнями в умовах південно-східного Балтійського регіону встановлено, що максимальна продуктивність сої сорту Aldana досягається за поєднання інокуляції штамами *B. japonicum* (зокрема препаратом HiStick Soy) із внесенням помірних доз мінерального азоту (30–60 кг/га). Такий комплексний підхід забезпечив суттєве покращення біометричних показників, компонентів структури врожаю та вмісту сирого протеїну в насінні порівняно з варіантами без інокуляції. Автори підкреслюють, що інтеграція азотних добрив та специфічних біопрепаратів є вирішальним фактором підвищення врожайності зерна, білка та жиру в умовах помірного клімату (Panasiewicz et al., 2023).

Тому, мета статті полягає в науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні ефективності застосування сучасних удобрювальних продуктів і засобів інокуляції насіння для оптимізації формування продуктивності сої в ґрунтово-кліматичних умовах Північно-східного Лісостепу України протягом 2024–2025 рр.

Матеріал і методи

Експериментальну частину роботи виконували на базі Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН у 2024–2025 рр. в межах польової сівозміни. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом типовим, що характеризується середнім вмістом гумусу (4,6%) та слабокислою реакцією ґрунтового розчину (pH_{KCl} 5,5). Детальна агрохімічна характеристика орного шару щодо забезпеченості основними макроелементами до початку закладання дослідів відображена у таблиці 1.

Таблиця 1

Вміст доступних форм макроелементів на досліджуваній ділянці

Показник	**Кількість, мг/100 г ґрунту**
Азот легкогідрозований (Корнфілд)	14,2
Фосфор рухомий	19,3
Калій обмінний	8,1

Аналіз гідротермічних умов вегетаційного періоду 2024–2025 років (квітень–вересень) виявив виражену сезонну динаміку, притаманну помірно-континентальному клімату Сумської області (рис. 1). Вегетаційний період 2024 року характеризувався помірним температурним режимом у квітні (9,8°C) та травні (15,5°C), проте супроводжувався дефіцитом вологи у критичні фази розвитку: у червні випало лише 17 мм опадів при середньодобовій температурі 21,2°C, що створювало передумови для виникнення повітряної посухи. Особливо гостра нестача вологи спостерігалася у вересні (5 мм), що на фоні температури 17,3°C призводило до прискореного завершення вегетації.

Натомість 2025 рік відзначався вищими температурними показниками на старті вегетації (квітень – 11,3°C) та суттєвим зростанням рівня зволоження у середині сезону. Пік опадів зафіксовано у липні (75 мм), що у поєднанні з максимальною середньодобовою температурою (23,9°C) забезпечило інтенсивне проходження процесів фотосинтезу та формування генеративних органів. Серпень також був достатньо зволоженим (58 мм), а вересень характеризувався дещо вищим рівнем опадів порівняно з попереднім роком (10,5 мм), що створювало більш сприятливі умови для наливу зерна та реалізації потенційної продуктивності культури.

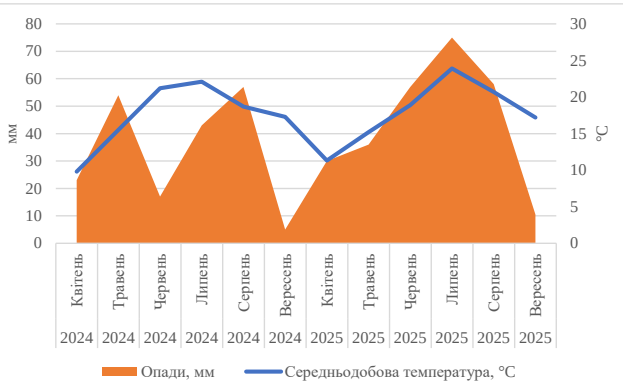


Рис. 1. Кліматичні дані вегетаційних сезонів 2024–2025 рр.

Джерело: сформовано автором

Агротехніка вирощування сої сорту Сіверка базувалася на загальноприйнятих галузевих рекомендаціях для умов Північно-східного Лісостепу України з використанням пшениці ярої як попередника в сівозміні. Експериментальні дослідження проводили на ділянках з обліковою площею 100 м^2 за двофакторною схемою, деталізованою у таблиці 2. Система передпосівної підготовки насіннєвого матеріалу передбачала обов'язковий фунгіцидний захист препаратом Максим XL 035 FS у нормі 1,0 л/т за два тижні до висіву, а також стимуляцію росту безпосередньо в день сівби. Контрольний варіант передбачав зволоження насіння водою (1% від маси), тоді як у дослідних варіантах застосовували регулятор росту Ризогумін (2 кг/т насіння). Подальший догляд за посівами включав позакореневі обробки вегетуючих рослин препаратами Гуміфілд ВР-18 в.с. та Фульвігрін Бор в.с. згідно з регламентами дослідних варіантів та рекомендованими виробником концентраціями діючих речовин. Польові досліди закладалися у трикратному повторенні з рандомізованим розміщенням ділянок.

Фенологічні спостереження в польових дослідах проводили з метою отримання достовірної оцінки згідно з «Методикою Державного сортовипробування сільськогосподарських культур» за редакцією В. В. Волкодава (Методика …, 2001).

Перед початком збиральних робіт із кожної дослідної ділянки відбирали пробні снопи для проведення детального аналізу індивідуальної продуктивності рослин. Збирання врожаю здійснювали методом прямого комбайнування з використанням селекційної техніки «Massey Ferguson» у фазі повної стиглості зерна. Облік урожайності проводили поділянково, попередньо вимірювали показники вологості зерна за допомогою вологоміра «Wile 55». Для подальшого вивчення якісних характеристик відбирали репрезентативні зразки зерна. Масу 1000 зерен визначали згідно з державним стандартом "Насіння сільськогосподарських культур. Терміни та визначення" (ДСТУ 2949-94). Статистичну обробку даних було проведено із використанням програмного забезпечення Statistica 10.0.

Результати та їх обговорення

Аналіз індивідуальної продуктивності сої сорту Сіверка засвідчив позитивний вплив досліджуваних препаратів на всі структурні елементи врожаю (рис. 2). Встановлено, що найменші показники були характерні для варіанта А1В1 (абсолютний контроль), де кількість насінин на рослині становила 21,4 шт., а маса зерна з рослини – 4,52 г.

Таблиця 2

Схема польового досліду

№ з/п	Фактор А: Обробка насіння (Доза)	Фактор В: Обробка рослин по вегетації	Комбінація (Варіант досліду)
1	Контроль (обробка насіння водою)	1. Контроль (без обробки препаратами)	А1В1 (Абсолютний контроль)
2	Контроль (обробка насіння водою)	2. Гуміфілд ВР-18 в.с. (0,4 л/га) – фаза бутонізації	А1В2
3	Контроль (обробка насіння водою)	3. Фульвігрін Бор в.с. (0,5 л/га) – фаза наливу бобів	А1В3
4	Контроль (обробка насіння водою)	4. Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) + Фульвігрін Бор (0,5 л/га)	А1В4
5	Ризогумін (2 кг/т насіння)	1. Контроль (без обробки препаратами)	А2В1
6	Ризогумін (2 кг/т насіння)	2. Гуміфілд ВР-18 в.с. (0,4 л/га) – фаза бутонізації	А2В2
7	Ризогумін (2 кг/т насіння)	3. Фульвігрін Бор в.с. (0,5 л/га) – фаза наливу бобів	А2В3
8	Ризогумін (2 кг/т насіння)	4. Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) + Фульвігрін Бор (0,5 л/га)	А2В4 (Максимальна обробка)

Застосування передпосівної інокуляції (фактор А2) забезпечило стабільне зростання продуктивності порівняно з варіантами без обробки насіння. Найбільш виражена динаміка спостерігалася за показником кількості насінин на рослині: поєднання інокуляції Ризогуміном із дворазовим позакореневим підживленням (варіант А2В4) дозволило досягти пікового значення у 26,1 шт., що на 22% перевищує контроль.

Графічна інтерпретація результатів демонструє, що показник кількості бобів на рослині мав меншу амплітуду коливань між варіантами порівняно з кількістю насінин, проте також досяг максимуму (12,8 шт.) у варіанті А2В4. Маса зерна з однієї рослини корелювала зі збільшенням кількості насінин і варіювала від 4,52 г (А1В1) до 4,85 г (А2В4). Характер кривих на графіку підтверджує, що інтегрована система живлення (А2В4) є найбільш ефективною для реалізації біологічного потенціалу сорту в умовах Північно-східного Лісостепу України.

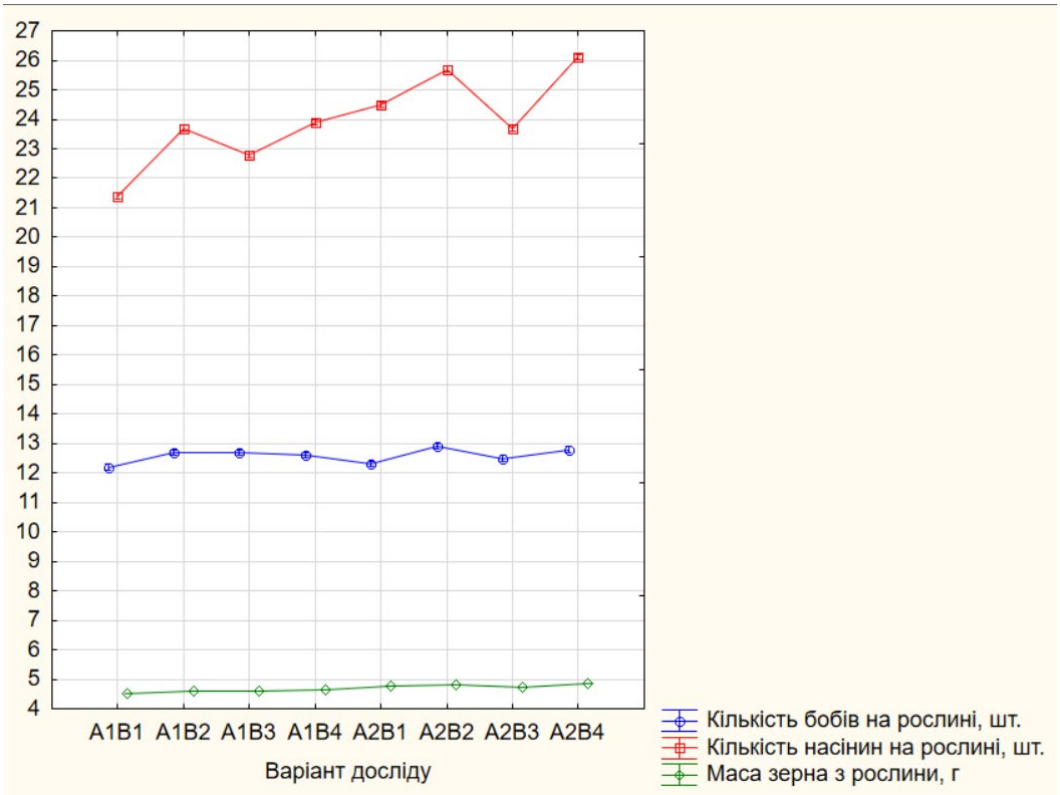


Рис. 2. Динаміка показників індивідуальної продуктивності сої залежно від застосування удобрювальних продуктів (середнє за 2024–2025 рр.)

Таблиця 3

Результати дисперсійного аналізу показників індивідуальної продуктивності сої сорту Сіверка (за 2024–2025 рр.)

Показник	**Сума квадратів (ефект)**	**Середній квадрат (ефект)**	**Сума квадратів (помилка)**	**Середній квадрат (помилка)**	**F-критерій**	**p-рівень**
Кількість бобів на рослині, шт.	2,4525	0,35036	0,32	0,008	43,795	0,00
Кількість насінин на рослині, шт.	95,61	13,65857	0,32	0,008	1707,321	0,00
Маса зерна з рослини, г	0,58793	0,08399	0,0032	0,00008	1049,866	0,00

Статистична обробка отриманих даних методом дисперсійного аналізу підтвердила високу достовірність впливу факторів передпосівної інокуляції та позакореневого підживлення на формування врожайності сої. Згідно з результатами аналізу дисперсії, за всіма досліджуваними параметрами – кількістю бобів, кількістю насінин та масою зерна з рослини – зафіксовано суттєве перевищення фактичних значень F-критерію над теоретичними.

Зокрема, для показника кількості насінин на рослині значення F досягло 1707,321, а для маси зерна з рослини – 1049,866, що вказує на визначальну роль обраної схеми живлення у варіабельності цих ознак. Розрахований p-рівень для всіх показників становить < 0,001, що значно менше критичного порогу значущості ($p < 0,05$). Це дозволяє стверджувати, що виявлені відмінності між варіантами досліду не є випадковими, а зумовлені безпосередньою дією удобрювальних продуктів (табл. 3).

Узагальнення результатів польових досліджень за допомогою дескриптивної статистики дозволило встановити чітку позитивну кореляцію між інтенсифікацією системи живлення та продуктивністю культури (табл. 4). Згідно з отриманими даними, мінімальні значення врожайності зафіксовано у контрольному варіанті A1B1 (2,57 т/га), тоді як інтегроване застосування інокуляції та позакореневого підживлення у варіанті A2B4 забезпечило формування максимальної продуктивності на рівні 2,88 т/га. Аналогічна тенденція простежується за показником маси 1000 насінин, де приріст відносно контролю склав 14,9 г (від 170,6 до 185,5 г). Показники стандартного відхилення, що коливаються в межах 0,71–0,74 для врожайності та 49,6–56,3 для маси насіння, свідчать про достатню варіабельність ознак у межах вибірки, що зумовлено як генетичним потенціалом сорту, так і значним впливом досліджуваних факторів на фізіологічний стан рослин.

Результати статистичного оцінювання за критерієм Дункана свідчать про відсутність математично достовірної різниці між усіма досліджуваними варіантами, що вказує на однорідність вибірки за основними показниками продуктивності. Встановлено, що незалежно від інтенсивності використання інокулянтів чи продуктів для позакореневого підживлення, отримані прирости врожайності та маси 1000 насінин не долають поріг критичного розмаху значущості (0,84 т/га та 61,7 г відповідно). Це дозволяє зробити висновок, що зафіксована варіабельність показників у межах вегетаційного періоду зумовлена радше природною мінливістю ознак або іншими неврахованими факторами середовища, ніж прямим впливом застосованих агротехнічних заходів, оскільки статистично істотної переваги жодного з варіантів обробки над контрольним не зафіксовано.

Аналіз отриманих результатів у контексті сучасних наукових досліджень дозволяє глибше оцінити статистичну та господарську значущість застосованих агрозаходів. Схожі результати досліджень в умовах Полтавської області (Чайка та ін., 2023) підтверджують високу ефективність передпосівної інокуляції насіння, хоча й іншим препаратом (Legume Fix), де було зафіксовано приріст маси насіння з однієї рослини на 15,9–22,1% та збільшення маси 1000 насінин на 4,5–4,7%. Проте, на відміну від згаданих даних, де максимальна врожайність сорту Хорол сягала 3,39 т/га, результати наших досліджень по сорту Сіверка

Таблиця 4

Показники врожайності та маси 1000 насінин сої сорту Сіверка (середнє за 2024–2025 рр.)

Варіант досліду	**Середня врожайність, т/га**	**Стандартне відхилення по врожайності, т/га**	**Середня маса 1000 насінин, г**	**Стандартне відхилення по масі 1000 насінин, г**
A1B1	2,58	±0,73	170,60	±51,49
A1B2	2,63	±0,74	173,35	±51,43
A1B3	2,63	±0,71	173,05	±49,57
A1B4	2,67	±0,72	176,25	±53,08
A2B1	2,76	±0,73	179,95	±53,40
A2B2	2,83	±0,73	183,50	±54,88
A2B3	2,79	±0,71	182,05	±53,08
A2B4	2,88	±0,74	185,50	±56,31
Критерій Дункана	0,84		61,7	

показали дещо нижчі абсолютні значення (2,58–2,88 т/га).

Порівняльний аналіз даних Івасик і Хоміної (Івасик і Хомина, 2025) свідчить, що оптимізація фону живлення є визначальним чинником підвищення продуктивності сої в умовах Лісостепу. Вони вказують на ефективність інокуляції препаратом Ризогумін, що забезпечує врожайність 3,12–3,14 т/га, тоді як за нашими даними у варіанті A2B1 (Ризогумін без підживлення) цей показник становив 2,76 т/га. Важливо зауважити, що незважаючи на математично зафіксований приріст урожайності у варіанті A2B4 до 2,88 т/га порівняно з контролем (2,58 т/га), статистична оцінка за критерієм Дункана (критичний розмах 0,84 т/га) вказує на відсутність статистично істотної різниці між цими варіантами. Це контрастує з даними літературних джерел, де аналогічні схеми інтегрованої інокуляції (A2B4) дозволяли досягати врожайності 3,56 т/га з масою 1000 насінин до 236,9 г.

Дослідження (Jarecki, 2023) також акцентують на високій ефективності поєднання інокуляції штамами *Bradyrhizobium japonicum* із фоліарним внесенням мікроелементів, що забезпечує зростання врожайності на 0,61 т/га порівняно з контролем. У наших дослідженнях фактичне зростання врожайності у найбільш інтенсивному варіанті A2B4 становило лише 0,30 т/га відносно контролю. Така невідповідність між отриманими нами даними та результатами інших авторів щодо істотності впливу препаратів може пояснюватися високою варіабельністю ознак у межах вибірки (стандартне відхилення до ±0,74 т/га) та специфікою гідротермічних умов вегетаційних періодів 2024–2025 рр. Таким чином, хоча використання інокулянта Ризогумін разом із препаратами Гуміфілд ВР-18 та Фульвігрін Бор демонструє тенденцію до покращення структури врожаю, у наших умовах незалежно від використання удобрювального продукту статистично істотної різниці по врожайності та масі 1000 насінин не зафіксовано.

Висновки

Проведені дослідження свідчать, що в умовах мінливого гідротермічного режиму 2024–2025 рр. застосування передпосівної інокуляції та систем позакореневого підживлення сприяло покращенню показників індивідуальної продуктивності сої сорту Сіверка. Найвищі середні значення кількості бобів (12,8 шт.), насінин (26,1 шт.) та маси зерна з рослини (4,85 г) зафіксовано у варіанті A2B4 (Ризогумін + Гуміфілд ВР-18 + Фульвігрін Бор), де врожайність досягла 2,88 т/га, а маса 1000 насінин – 185,5 г. Проте, згідно з результатами статистичного аналізу за критерієм Дункана, встановлені прирости врожайності (на 0,30 т/га) та маси насіння (на 14,9 г) відносно контролю не подолали поріг критичного розмаху значущості. Це дозволяє констатувати, що незалежно від виду використаного удобрювального продукту чи інокулянта, статистично істотної різниці між варіантами не зафіксовано, а виявлена варіабельність показників зумовлена високою внутрішньою мінливістю ознак у межах вибірки та впливом чинників довкілля, які домінували над дією досліджуваних препаратів.

Список використаної літератури

Білявська Л.Г., Білявський Ю.В., Діянова А.О., Мирний М.В. Сорти сої для Степу та Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021. № 1. С. 135–140. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.16

Вишнівський П.С., Фурман О.В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Plant and Soil Science.* 2020. № 11(1). С. 13–22. https://doi.org/10.31548/agr2020.01.013

Дацько О.М. Вплив застосування удобрювальних продуктів на продуктивність кукурудзи в умовах Північно-східного Лісостепу України : кваліфікаційна праця на правах рукопису / Сумський національний аграрний університет. Суми, 2023.

Дацько О.М. Рослинні пробіотики: вплив на рослини в умовах стресу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія біологія.* 2021. № 43(1). С. 10–18. https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2

Івасик М.В. Формування продуктивності нових сортів сої в умовах Лісостепу. *Таврійський науковий вісник.* 2023. № 133. С. 19–24. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.3

Івасик М.В., Хоміна В.Я. Урожайність зерна сої залежно від сорту, фону живлення і норми висіву насіння в умовах Правобережного Лісостепу. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2025. № 49. С. 63–67. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.9

Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові культури) / за ред. В.В. Волкодава. Київ, 2001. 69 с.

Насіння сільськогосподарських культур. Терміни та визначення : ДСТУ 2949-94. [Чинний від 1994-12-29]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1994. (Державний стандарт України).

Фурман В.А., Фурман О.В., Свистунова І.В. Урожайність і якість насіння сої залежно від інокуляції та удобрення в умовах Лісостепу Правобережного. *Наукові доповіді НУБіП України.* Київ, 2022. № 2. https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.02.004

Чайка Т.О., Ляшенко В.В., Хоменко Б.С. Вплив інокуляції насіння на врожайність сої за органічної технології вирощування. *Таврійський науковий вісник.* 2023. № 133. С. 180–187. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.24

Шевніков М.Я., Міленко О.Г., Лотиш І.І. Якісні показники насіння сої залежно від впливу мінеральних і бактеріальних добрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2014. № 4. С. 25–29. https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.04

Delele T.A. Review on the Role Soybean on Animal Feed and Human Nutrition in Ethiopia. *American Journal of Zoology*. 2021. Vol. 4. № 3. P. 25–31. https://doi.org/10.11648/j.ajz.20210403.11

Guo B., Sun L., Jiang S. Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*. 2022. Vol. 135. № 11. P. 4095–4121. https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9

Jabborova D., Kannepalli A., Davranov K. Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. №1. 22081. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9

James B. The Development and Regulation of Soybean Nodules. *A Comprehensive Survey of International Soybean Research-Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships.* 2013. https://doi.org/10.5772/52573

Jarecki W. Soybean Response to Seed Inoculation or Coating with Bradyrhizobium japonicum and Foliar Fertilization with Molybdenum. *Plants*. 2023. Vol. 12 № 13. 2431. https://doi.org/10.3390/plants12132431

Mirriam A., Mugwe J., Nasar J. Role of Phosphorus and Inoculation with Bradyrhizobium in Enhancing Soybean Production. *Advances in Agriculture*. 2023. P. 1–14. https://doi.org/10.1155/2023/3231623

Panasiewicz K., Faligowska A., Szymańska G. Optimizing the Amount of Nitrogen and Seed Inoculation to Improve the Quality and Yield of Soybean Grown in the Southeastern Baltic Region. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. № 4. 798 p. https://doi.org/10.3390/agriculture13040798

Torún B., Viteri F.E., Young V.R. Nutritional role of soya protein for humans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1981. Vol. 58. № 3. 400 p. https://doi.org/10.1007/BF02582389

References

Biliavska, L.H., Biliavskyi, Yu.V., Diianova, A.O., & Myrnyi, M.V. (2021). Sorty soi dlia Stepu ta Lisostepu Ukrainy [Soybean varieties for the Steppe and Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 1, 135–140. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.16 [in Ukrainian].

Vyshnevskyi, P.S., & Furman, O.V. (2020). Produktyvnist soi zalezhno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Soybean productivity depending on the elements of cultivation technology in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Plant and Soil Science*, 11(1), 13–22. https://doi.org/10.31548/agr2020.01.013 [in Ukrainian].

Datsko, O.M. (2023). Vplyv zastosuvannia udobriuvalnykh produktiv na produktyvnist kukurudzy v umovakh Pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Influence of application of fertilizing products on corn productivity in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Kvalifikatsiina pratsia na pravakh rukopysu. Sumskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet* [*Qualification work on the rights of a manuscript, Sumy National Agrarian University*]. Sumy [in Ukrainian].

Datsko, O.M. (2021). Roslynni probiotyky: vplyv na roslyny v umovakh stresu [Plant probiotics: influence on plants under stress conditions]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia: Ahronomija biolohija [Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy Biology]*, 43(1), 10–18. https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2 [in Ukrainian].

Ivasyk, M.V. (2023). Formuvannia produktyvnosti novykh sortiv soi v umovakh Lisostepu. [Formation of productivity of new soybean varieties in the conditions of the Forest Steep. *[Tavriiskyi*

naukovyi visnyk [Taurian Scientific Herald], 133, 19–24. https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2 [in Ukrainian].

Ivasyk, M.V., & Khomina, V.Ya. (2025). Urozhaist zerna soi zalezhno vid sortu, fonu zhyvlennia i normy vysivu nasinnia v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu [Soybean grain yield depending on the variety, nutritional background and seed sowing rate in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Podolsk Herald: agriculture, technology, economy]*, 49, 63–67. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.9 [in Ukrainian].

Volkodav, V.V. (Ed.). (2001). Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur (zernovi, krupiani ta zernobobovi kultury) [Methodology of state variety testing of agricultural crops (cereals, groats and leguminous crops)]. Kyiv [in Ukrainian].

Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (1994). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Terminy ta vyznachennia (DSTU 2949-94) [Seeds of agricultural crops. Terms and definitions (DSTU 2949-94)]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

Furman, V.A., Furman, O.V., & Svystunova, I.V. (2022). Urozhainist i yakist nasinnia soi zalezhno vid inokuliatsii ta udobrennia v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Yield and quality of soybean seeds depending on inoculation and fertilizing in the conditions of the Right Bank Forest Steppe]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy [Scientific advice from NULES of Ukraine]*. Kyiv, 2. https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.02.004 [in Ukrainian].

Chaika, T.O., Liashenko, V.V., & Khomenko, B.S. (2023). Vplyv inokuliatsii nasinnia na vrozhainist soi za orhanichnoi tekhnolohii vyroshchuvannia [The impact of seed inoculation on soybean yield under organic cultivation technology]. *Tavria Scientific Bulletin [Taurian Scientific Herald]*, 133, 180–187. https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2 [in Ukrainian].

Shevnikov, M.Ya., Milenko, O.H., & Lotysh, I.I. (2014). Yakisni pokaznyky nasinnia soi zalezhno vid vplyvu mineralnykh i bakterialnykh dobryv [Qualitative indicators of soybean seeds depending on the influence of mineral and bacterial fertilizers]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy]*, 4, 25–29. https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.04 [in Ukrainian].

Delele, T.A. (2021). Review on the Role Soybean on Animal Feed and Human Nutrition in Ethiopia. *American Journal of Zoology*, 4(3), 25–31. https://doi.org/10.11648/j.ajz.20210403.11 [in English].

Guo, B., Sun, L., & Jiang, S. et al. (2022). Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), 4095–4121. https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9 [in English].

Jabborova, D., Kannepalli, A., & Davranov, K. et al. (2021). Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*, 11(1), 22081. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9 [in English].

James, B. (2013). The Development and Regulation of Soybean Nodules. In J. Board (Ed.), A Comprehensive Survey of International Soybean Research-Genetics, Physiology, *Agronomy and Nitrogen Relationships. InTech.* https://doi.org/10.5772/52573 [in English].

Jarecki, W. (2023). Soybean Response to Seed Inoculation or Coating with Bradyrhizobium japonicum and Foliar Fertilization with Molybdenum. *Plants*, 12(13), 2431. https://doi.org/10.3390/plants12132431 [in English].

Mirriam, A., Mugwe, J., & Nasar, J. (2023). Role of Phosphorus and Inoculation with Bradyrhizobium in Enhancing Soybean Production. *Advances in Agriculture*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2023/3231623 [in English].

Panasiewicz, K., Faligowska, A., & Szymańska, G. (2023). Optimizing the Amount of Nitrogen and Seed Inoculation to Improve the Quality and Yield of Soybean Grown in the Southeastern Baltic Region. *Agriculture*, 13(4), 798. https://doi.org/10.3390/agriculture13040798 [in English].

Torún, B., Viteri, F.E., & Young, V.R. (1981). Nutritional role of soya protein for humans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58(3), 400. https://doi.org/10.1007/BF02582389 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 24.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

ЕКОЛОГІЯ

UDC 574.5+523.3
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.22

DYNAMICS OF GERMINATION OF BULBS OF CULTIVATED REPRESENTATIVES OF THE GENUS ALLIUM L.

I. V. Khomiak[1]

This publication investigates the fundamental prospects and physiological parameters of cultivating domesticated representatives of the genus Allium utilizing lunar regolith simulants derived from the basaltic compositions of lunar maria surfaces. The primary focus of this empirical study is centered on the application of the ETL-1 lunar regolith simulant, a high-fidelity substrate engineered to replicate the mineralogical and physical properties of the Moon's lunar seas. The experimental subjects selected for this astrobotanical research include a specific garlic cultivar, «Gulyaipilsky» (Allium sativum), and a specialized onion cultivar, «Strihunivska» (Allium cepa). To establish a rigorous scientific baseline for the comparative analysis, a control group was maintained using pure, triple-washed quartz sand, which provided a chemically inert medium for plant development. Throughout the duration of the cultivation period, the irrigation protocol was strictly limited to distilled water, intentionally omitting any external mineral supplementation or hydroponic nutrient additives. This methodological constraint was implemented to isolate the intrinsic capacity of the ETL-1 regolith to function as a potential growth medium and to assess its spontaneous chemical contribution to the plant's metabolic requirements. The overarching objective of the present work is to explore the feasibility of utilizing lunar maria regolith as a primary hydroponic or solid-substrate medium within the closed-loop agroecosystems of future stationary lunar outposts. In pursuit of this goal, several critical tasks were addressed: to examine the fundamental potential of the ETL-1 simulation for supporting the growth of cultivars within the genus Allium; to model the dynamics of biomass accumulation and the potential for carbon dioxide sequestration on this specific substrate in the absence of exogenous nutrient inputs; to determine the overall capacity for agricultural production using lunar basaltic material as a functional hydroponic component. The empirical findings indicate that the ETL-1 lunar maria regolith simulant does not exert any acute aggressive or inhibitory phytotoxic influence on the seedlings. Germination phenology recorded the emergence of the first sprouts on the 16th day for the «Gulyaipilsky» garlic and on the 11th day for the «Strihunivska» onion. The vegetative growth of Allium cepa shoots continued for a total of 43 days, while the growth phase for Allium sativum shoots persisted for 45 days. By the termination of the experiment, the average shoot height for onions cultivated on the regolith simulant reached 27.3 cm, whereas the garlic shoots attained an average height of 10.21 cm. These systematic observations allow for the formulation of a significant scientific hypothesis: the presence of specific mineral nutrients inherent to the lunar regolith results in their gradual dissolution into the aqueous soil solution. This process likely facilitates a partial compensation for the endogenous chemical depletion of the bulb's internal resources expended during the intensive stages of vertical growth, suggesting that lunar regolith may provide a more supportive mineral environment than inert sand for future extraterrestrial agriculture.

Key words: *substrate hydroponics, extraterrestrial agroecosystems, lunar colonization, astroecology.*

[1] Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Ecology and Geography
(Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr)
e-mail: ecosystem_lab@ukr.net
ORCID: 0000-0003-0080-0019

ДИНАМІКА ПРОРОСТАННЯ ЦИБУЛИН КУЛЬТУРНИХ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ ALLIUM L.

І. В. Хом'як

У публікації розглядаються можливості вирощування культурних представників роду Allium на місячному реголіті із поверхні місячних морів. У дослідженні було використано симуляцію місячного реголіту ETL-1, часник сорту «Гуляйпільський» та цибуля сорту «Стригунівська». Для контрольного експерименту було використано чистий промитий кварцовий пісок. Вирощування супроводжувалося поливом дистильованою водою без додавання елементів мінерального живлення. Метою роботи є вивчення можливості використання місячного реголіту із поверхні місячних морів, як гідропонічного субстрату агроекосистем стаціонарних баз на Місяці. В рамках мети було необхідно: дослідити потенціал використання імітації місячного реголіту ETL-1 для вирощування культурних сортів роду Allium, змоделювати потенціал поглинання вуглекислого газу та нарощування біомаси на симуляції місячного реголіту ETL-1 без додавання поживних речовин; визначити потенціал вирощування культурних рослин роду Allium на гідропонічному субстраті у вигляді місячного реголіту із поверхні місячних морів. Симулятор місячного реголіту місячних морів ETL-1 не проявляє агресивної або пригнічуючої дії на саджанці. Перші паростки з'являються на 16 день для часнику сорту «Gulyaipilsky» та цибулі на 11 день для цибулі сорту «Strihunivska». Ріст пагонів Allium сера продовжується 43 дні з моменту і 45 днів пагонів Allium sativu. Середня висота пагонів на кінець експерименту для цибулі на симуляторі реголіту дорівнює 27,3 см і 10,21 для часнику. Спостереження дозволяють висунути гіпотезу про те, що наявність деяких елементів мінерального живлення в реголіті призводить до їхнього потрапляння в водний розчин, що частково компенсує втрати хімічних речовин цибулини, витрачених на ріст.

Ключові слова: *субстратна гідропоніка, позаземні агроекосистеми, колонізація Місяця, астроекологія.*

Introduction

In the 21st century, we are witnessing a distinct resurgence of the «Lunar Race» (Moon Race 2.0); however, the contemporary landscape is defined by driving forces and participants that differ significantly from those characterizing the Cold War era between the United States and the Soviet Union (Ferl & Paul, 2010). Today, a multifaceted complex of geopolitical, economic, scientific, and technological factors serves as the catalyst for this renewed competition. Currently, the primary antagonists in this race are the People's Republic of China (PRC) and the United States, mirroring historical dynamics wherein the U.S. felt compelled to respond to the ambitions and milestones of the Soviet space program. To some extent, this process resembles a repetitive cycle: initially, the PRC aimed to replicate the fundamental lunar achievements realized by the U.S. in the 20th century, notably through the successful landings executed under the «Chang'e Project», which commenced in 2004. This strategic progression necessitated a formal response from the United States, leading to the inauguration of NASA's "Artemis" program in 2017. The success of such national initiatives serves as a critical demonstration of technological sovereignty and superiority, fostering a prestigious international image that bolsters a nation's political standing and investment attractiveness. Furthermore, achieving a dominant presence provides a strategic advantage in the establishment of regulatory frameworks and norms for the exploitation of outer space. Legally, the equality of nations remains largely nominal, both on Earth and in the context of lunar exploration; consequently, those entities maintaining the strongest positions in space will exert disproportionate influence over the rules governing its utilization and governance.

Another significant driver for the resurgence of the lunar race is rooted in economic strategic interests and the potential exploitation of natural resources. The Moon is increasingly regarded as a highly promising extraterrestrial hub for well-established industrial sectors, ranging from advanced telecommunications and spacecraft maintenance to specialized pharmacology and high-precision electronics manufacturing. Furthermore, substantial emphasis must be placed on Helium-3, which is widely considered the most viable energy resource for the foreseeable future due to its potential as a fuel for clean nuclear fusion. Therefore, the establishment of lunar infrastructure is viewed not merely as a scientific milestone, but as a critical transition toward a

space-based economy where the Moon serves as a logistical and industrial platform for the broader exploration and commercialization of the solar system.

While perhaps perceived as less urgent by political actors, the scientific motivations underlying the contemporary lunar race are arguably the most critical regarding the long-term future of humanity. The Moon possesses the potential to serve as both an expansive, natural laboratory and a strategic staging ground for the manufacturing, monitoring, and maintenance of deep-space research missions extending beyond the Earth-Moon system. The pursuit of these objectives is expected to catalyze significant technological breakthroughs, precipitating a paradigm shift that will elevate various industrial sectors and civilian infrastructure to unprecedented levels of sophistication.

Finally, the exploration of the Moon is driven by existential imperatives essential for the continued social progress of humanity. A retrospective analysis of human history reveals a pattern of punctuated civilizational development characterized by significant evolutionary leaps. Following hundreds of millennia of relative isolation within Africa, the migration of early humans beyond the continent catalyzed a rapid transformation in both technological complexity and social stratification. For instance, the cataclysmic Toba supereruption, which nearly brought humanity to the brink of extinction, paradoxically facilitated global dispersal, leading to the emergence of the sophisticated Cro-Magnon culture and advanced lithic technologies after nearly two hundred thousand years of stagnation. Similarly, the Age of Discovery served as a primary catalyst for the Scientific Revolution, which ultimately forged modern civilization with its high-technology industrial base and democratic institutions. A compelling historical parallel can be observed in the evolution of Islamic civilization; the nomadic tribes of the Arabian Peninsula maintained a static social structure and rudimentary technology for millennia until the expansion of the Caliphate into a global empire. By engaging in trade and cultural exchange across the Old World, this civilization achieved a technological and scientific leap that surpassed Western capabilities for over five centuries. However, upon the cessation of exploratory, economic, and political expansion, the region entered a period of protracted stagnation that persists to the present day. Consequently, the expansion toward the Moon and the establishment of permanent lunar settlements will inevitably trigger profound social and technological transfigurations within human civilization, ensuring its continued evolutionary momentum.

When planning permanent lunar outposts, the implementation of lunar agroecosystems becomes an indispensable requirement (Бондар і Хом'як, 2021). The primary objective of establishing such agroecosystems is to ensure operational autonomy, resilience, and a significant reduction in the lunar base's reliance on the exorbitant and inherently risky supply chains originating from Earth (Хом'як, 2021). Considering that the delivery of each kilogram of payload to the lunar surface incurs costs amounting to tens of thousands of dollars, the sustenance and atmospheric resources required for long-term crew habitation constitute a substantial portion of the logistical burden. The capacity to generate these resources in situ dramatically lowers the overall operational expenditures of the mission (Duri et al., 2022). Furthermore, agroecosystems facilitate the recycling of resources within a closed-loop framework, which is economically superior to continuous replenishment from Earth. A permanent settlement must remain resilient against disruptions in terrestrial supply chains, whether caused by geopolitical conflicts or technical launch failures; thus, a closed agroecosystem provides a critical threshold of independence essential for the survival of colonists. Through the process of photosynthesis, cultivated plants absorb carbon dioxide, and release oxygen, serving as a bioregenerative component within the life support system and reducing the mechanical and chemical load on life-sustaining hardware. While long-term missions typically rely on sublimated or preserved food supplies that suffer from nutritional degradation over time, the cultivation of fresh vegetables, fruits, and greens provides the crew with essential vitamins and micronutrients necessary for physiological health. Finally, the presence of living vegetation within the confined, isolated, and frequently hostile environment of a lunar base possesses profound psychological value. Tending to plants and observing their development functions as a potent mitigator of stress, bolstering crew morale through the phenomenon known as the «biophilia effect».

Since pedogenesis is an exceedingly protracted process (Zaets et al., 2011) requiring the active participation of diverse microbial consortia and other soil-dwelling pedobiota,

lunar agroecosystems will, for a considerable duration, function primarily through the mechanisms of substrate hydroponics (Keeter, 2022). Research indicates that lunar regolith, despite its total lack of organic matter and many essential mineral nutrients, can effectively serve as an inert hydroponic substrate or as a foundational component for synthesized soil mixtures (Baur et al., 1974). Utilizing in-situ regolith eliminates the logistical necessity of transporting vast quantities of terrestrial soil from Earth, thereby optimizing payload capacity for other critical mission hardware (Wamelink et al., 2014). The water required for these hydroponic systems can be sourced through advanced closed-loop recycling technologies or extracted from lunar water ice deposits, which have been identified in localized concentrations across the lunar surface. The empirical knowledge gained from the design, implementation, and long-term operation of these extraterrestrial agroecosystems will prove indispensable for the subsequent stages of human expansion, particularly as the distances from Earth become even more critical and the demand for total biological autonomy increases (Khomiak et al., 2024b).

The aim of this study is to assess the feasibility of utilizing lunar regolith derived from the surfaces of lunar maria as a hydroponic substrate within the agroecosystems of stationary lunar bases. To achieve this aim, the following objectives were set:

– To investigate the potential of using the lunar regolith simulant ETL-1 for cultivating selected varieties of the genus Allium.

– To model the potential for carbon dioxide absorption and biomass accumulation within the ETL-1 simulant when nutrients are not supplemented.

– To determine the overall viability of growing cultivated plants of the genus Allium using lunar regolith from the lunar seas as a hydroponic medium.

Materials and research methods

The ETL-1 lunar regolith simulant was utilized for the experimental phase of this investigation (Fackrell et al., 2024). The simulant was formulated from five discrete mass fractions of crushed tholeiitic basalt and quartz sand, with each fraction representing 20% of the total mixture by mass (Taylor et al., 2016). Notably, the quartz sand constituted 50% of the fifth fraction's mass, thereby accounting for 10% of the overall simulant mass (Fackrell, et al. 2024). Tholeiitic basalt fractions of the mud have the following sizes: 15-25 mm (5%), 5-15mm (5%), 2-5 (25%), 1-2mm (25%), <1 (25%). Quartz sand particles with a size of 0,2-1 mm constituted 10% by weight. The basalt component was pulverized via a mechanical impact process (employing a force range of 200−500), resulting in the formation of sharp-edged fragments of varying dimensions. The granulometric composition of the substrate was subsequently determined using a KP-131 sieve set (Rickman et al., 2007). Control trials were conducted using pure quartz sand.

Three species of cultivated plants were utilized for the experiment: «Gulyaipilsky» garlic, and «Stryhunivska» onion.

«Gulyaipilsky», or «Ukrainian White Gulyaipilsky», is a premium spring garlic cultivar originating from Ukraine, highly valued for its exceptional productivity and extended shelf life. This is a non-bolting type, which streamlines the cultivation process since no removal of flower scapes is required. Classified as a mid-season variety, its growth cycle typically spans 100 to 120 days. While primarily designated for spring planting, the cultivar exhibits adequate cold tolerance, enabling successful autumn sowing with reliable subsequent harvests. The yield potential is substantial, often reaching 5.0–5.5 tonnes per hectare, equivalent to an average productivity of 0.34 to 1.2 kg per square meter. The bulbs are dense and flattened-spherical in shape, usually weighing 20–37 grams, although weights up to 140 grams have been recorded. Small bulbs contain 6–10 cloves, while larger specimens may hold 12–16 cloves, each weighing 8–15 grams. A critical benefit is the variety's prolonged dormancy, allowing the harvest to be stored efficiently for 10 to 11 months (until the subsequent crop) with negligible quality degradation. Due to its proven resistance to agricultural threats such as nematodes and Fusarium wilt, the «Gulyaipilsky» cultivar presents itself as a promising biological resource for implementation in controlled, isolated environments, such as the agroecosystems projected for lunar and space stations.

Onion «Strihunivska» is a mid-ripening, early-ripening, transportable variety. The growing season is 100-110 days. The bulbs are round and round-elongated, dense, weighing 80-100 g. Dry outer scales are light brown, inner ones are white. Onion Strihunivska ripens well, stored for 7-8 months. Onion «Strihunivska» is one of the main vegetable crops. It contains sugar, mineral salts, essential oil, vitamins. It is used in cooking in any form throughout the year. Onion «Strihunivska» is a cold-resist-

ant, moisture-loving crop. Seeds germinate at t° +3-5°C and therefore are sown early in spring. Sow as early as possible, since when sowing late, the seedlings are thinned, the bulbs do not ripen, and the yield is sharply reduced. Good results are obtained by sowing seeds before winter, before the soil freezes. Shoots appear 8-10 days earlier in such crops, the plants grow more intensively, and the onion ripens 12-15 days faster than when sown early in spring. Care for the crops consists of timely loosening of the soil, destruction of soil crust and weeds, formation of density and protection from pests and diseases. Formation of density begins when the second true leaf is formed.

The cultivation phase involved planting garlic and onion within both the experimental and control growth media, utilizing a single clove per trial replicate. Each substrate was carefully filled into 100 ml conical polyethylene containers to a uniform depth of 1 cm. To ensure optimal initial moisture levels, the cell surfaces were overlaid with a thin polyethylene membrane until the primary shoots emerged. Upon the appearance of the initial seedlings, the containers were transferred to a dedicated illuminated growth chamber. The photoperiod was set to 12 hours with a baseline light intensity varying from 2,000 to 5,000 lux. This intensity was subsequently augmented to a maximum of 30,000 lux for a 2-hour interval daily. The ambient temperature was strictly regulated: 18 °C during the darkness cycle and 23 °C during the illuminated period. Irrigation was performed twice daily at 9-hour intervals, using copious amounts of distilled water to saturate the media. Initial biomass measurements of the garlic and onion cloves/bulbs were recorded before planting using a Wi-cook WH-B05 electronic balance.

At the conclusion of the cultivation period, both the total plant biomass and the individual leaf masses were quantified. Throughout the observation phase, essential parameters such as plant height and leaf count were systematically documented. Statistical processing of the resulting data was conducted using Microsoft Math Solver, and the resulting growth patterns were visualized through graphical models generated in Microsoft Excel.

Research results

The cultivation of domesticated plant representatives from the genus *Allium* on the ETL-1 lunar maria regolith simulant has yielded remarkably promising results. Even in the absence of exogenous mineral supplementation or the stabilization of nutrients within the substrate via organic polymers, such as humic acids, the plants exhibited consistent germination and sustained growth over an extended experimental period. Furthermore, the empirical data suggests a total absence of the acute phytotoxic or inhibitory effects previously associated with lunar stimulants; the ETL-1 material did not impede the initial stages of seedling development or the subsequent physiological vigor of the plants.

The initial emergence of sprouts for *Allium cepa* (cultivar «Strihunivska») was recorded on the 11th day, while *Allium sativum* (cultivar «Gulyaipilsky») exhibited germination on the 16th day. Comparatively, the onion specimens on the quartz sand control medium germinated one day earlier; however, this observation pertained only to the first 10% of individuals that formed shoots approximately 0.5 cm in height. Such a discrepancy may suggest statistical insignificance or environmental stochasticity, as analogous germination results were observed on the ETL-1 simulant within a subsequent 24-hour window. Mass germination occurred by the 18th day for the onion and the 16th day for the garlic. In the former case, an 80% germination rate was achieved, while the latter reached 50%. On the sand substrate, the results were comparatively lower, recorded at 60% and 30%, respectively. Despite the slower initial onset observed in the garlic, significant variations in shoot morphology were noted. During the phase of mass germination, the height of one-day-old *Allium cepa* shoots ranged from 1 cm to 6.6 cm (with early germinants reaching up to 11.2 cm), yielding an average of 4.9 cm. In contrast, *Allium sativum* exhibited a range between 3 cm and 6.5 cm (with early germinants reaching 12 cm) and an average of 4.6 cm. Performance on the control quartz sand was inferior; the height of one-day-old *Allium cepa* shoots fluctuated between 0.4 cm and 11.7 cm (with early germinants reaching 19.5 cm), though the average remained at 4.8 cm.

Active shoot development was observed over a duration of 43 days post-planting for the onion specimens and 45 days for the garlic. By the 43rd day, only 10% of the onion shoots continued to exhibit vertical growth, which subsequently ceased within the following 24-hour period. Morphological measurements at this stage revealed that the shortest onion specimens reached a height of 4.5 cm, while the tallest attained 34.5 cm, resulting in an overall mean value of 27.3 cm. During the

same timeframe, the garlic specimens demonstrated comparatively more modest developmental metrics; specifically, 60% of the individuals maintained active growth with a mean height of 9.8 cm, and total growth cessation occurred only three days later. In contrast, the onion seedlings cultivated on the control quartz sand exhibited a prolonged growth phase, with only 60% of the population having reached growth stasis by the 43rd day. The recorded shoot heights for the onion specimens in the sand control ranged from a minimum of 5.7 cm to a maximum of 36.2 cm, with a calculated mean height of 22.18 cm, indicating that while individual outliers were taller, the overall population performance was superior on the regolith simulant.

On the regolith simulant, the average daily growth rate for onion shoots fluctuated between 0.12 cm and 0.93 cm (with a mean daily increase of 0.67 cm), while on the quartz sand control, these values ranged from 0.19 cm to 1.01 cm (with a mean of 0.54 cm per day). Regarding the garlic specimens, the daily shoot growth on the regolith simulant varied from 0.14 cm to 0.35 cm (mean daily increase of 0.252 cm), whereas on the sand substrate, the growth rates ranged from 0.18 cm to 1.38 cm (mean of 0.18 cm per day).

Upon the conclusion of the experimental period, the total mass of the onion specimens cultivated on the ETL-1 regolith simulant ranged from 2 g to 7 g (with a mean mass of 3.9 g), while those on the sand substrate ranged from 1 g to 4 g (with a mean of 2.6 g). Notably, approximately 70% of the seedlings on the regolith and 20% of those on the sand exhibited a slight increase in mass attributable to the sequestration and transpiration of carbon dioxide. On the regolith, this mass gain averaged 1.4 g, although for 60% of the population, the increase was precisely 1 g. In contrast, a mass increase on the quartz sand was observed in only 20% of the seedlings, with an average gain of 1 g, further suggesting that the mineral composition of the ETL-1 simulant provides a more favorable environment for biomass accumulation and physiological development compared to the inert control.

Discussion

Since the success of seed and seedling germination on regolith or its various simulants is fundamentally contingent upon the availability of endogenous nutrient reserves and substrate moisture retention, the cultivation of representatives from the family Amaryllidaceae within extraterrestrial agroecosystems appears highly promising (Ellery, 2021). These species possess the potential for multifunctional application in space habitats, serving as a primary source of nutritional sustenance, a biological medium for the adsorption of atmospheric carbon dioxide, and as foundational organisms within the long-term processes of planetary terraforming (Khomiak et al., 2024a). The evolutionary resilience of these taxa is further evidenced by their presence in disturbed or pioneer ecosystems on Earth (Черняєва і Хом'як, 2021), where they frequently act as primary colonizers in mineral-rich yet organic-poor substrates, mirroring the challenging conditions found in lunar or martian environments (Kozyrovska et al., 2006).

The ETL-1 lunar regolith simulant does not exhibit any aggressive or inhibitory phytotoxic effects on the seedlings; on the contrary, several developmental metrics indicate that the regolith-based substrate facilitates superior growth performance compared to the quartz sand control (Paul et al., 2022). Despite experiencing lower peak daily growth rates, the mean shoot height recorded on the regolith was consistently higher than that of the control group. Furthermore, a marginal increase in biomass was observed on the regolith– within the margin of error– attributable to carbon sequestration during the photosynthetic process. It can be hypothesized that the mineralogical composition of the basaltic simulant facilitates the leaching of specific macro- and micronutrients into the aqueous soil solution, including potassium, sodium, calcium, magnesium, phosphorus, and manganese (Gibson, 1977). While the concentrations of these liberated elements are insufficient to fully offset the depletion of the bulbs' endogenous chemical reserves during the intensive growth phase, their presence is significantly more pronounced than in the triple-washed quartz sand. This mineralogical disparity accounts for the observed variations in plant mass changes and confirms the potential of lunar maria regolith to serve as a partially bio-active substrate in extraterrestrial agricultural systems.

The potential threat posed by the radioactivity of lunar regolith, to which certain plant species exhibit sensitivity, remains relatively low. The radio-sensitivity of onions LD_{50} ranges between 100–150 Gy, while the absolute lethal dose LD_{100} is approximately 250 Gy. These figures represent moderate tolerance levels, comparable to the radio-sensitivity observed in lettuce and maize (Baur et al., 1974). Based on empirical data acquired from contempo-

rary lunar missions– specifically the German Lunar Lander Neutrons and Dosimetry (LND) instrument aboard the Chinese Chang'e-4 spacecraft – the cumulative radiation dose can be calculated with high precision. Throughout the vegetative period of the cultivars described herein, the accumulated dose is projected not to exceed 14 microsieverts. While this exposure level is approximately twice as high as the terrestrial background radiation, it is insufficient to exert a significant physiological impact on the cultivation of these crops. For contextual comparison, this dosage is equivalent to a single computed tomography (CT) scan and remains significantly lower than the annual exposure limits established for nuclear power plant personnel.

Conclusions

The lunar regolith simulator of the lunar seas ETL-1 does not show an aggressive or suppressive effect on seedlings. The first sprouts appear on the 16th day for garlic of the "Gulyaipilsky" variety and onions on the 11th day for onions of the "Strihunivska" variety.

The growth of Allium cepa shoots continues for 43 days from the moment, and 45 days for Allium sativu shoots. The average height of shoots at the end of the experiment for onions on the regolith simulator is 27.3 cm, and 10.21 for garlic.

The observations allow us to hypothesize that the presence of some mineral nutrition elements in the regolith leads to their entry into the aqueous solution, which partially compensates for the loss of chemical substances of the bulb spent on growth.

Bibliography

Baur P.S., Clark R.S., Walkinshaw C.H., Scholes V.E. Uptake and translocation of elements from Apollo 11 lunar material by lettuce seedlings. *Phyton.* 1974. Vol. 32. P. 133–142.

Duri L.G., Caporale A.G., Rouphael Y., Vingiani S., Palladino M., De Pascale S., Adamo, P. The potential for lunar and martian regolith simulants to sustain plant growth: a multidisciplinary overview. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences.* 2022. Vol. 8. P. 747821. https://doi.org/10.3389/fspas.2021.747821.

Ellery A. Supplementing closed ecological life support systems with in-situ resources on the moon. *Life.* 2021. Vol. 11, no. 8. P. 770. https://doi.org/10.3390/life11080770.

Fackrell L.E. Humphrey S., Loureiro R., Palmer A.G., Long-Fox, J. Overview and recommendations for research on plants and microbes in regolith-based agriculture. *npj Sustainable Agriculture.* 2024. Vol. 2, no. 1. P. 15. https://doi.org/10.1038/s44204-024-00109-7.

Ferl R.J., Paul A.L. Lunar Plant Biology– A Review of the Apollo Era. *Astrobiology.* 2010. Vol. 10. P. 261–274. https://doi.org/10.1089/ast.2009.0416.

Gibson E.K. Volatile elements, carbon, nitrogen, sulfur, sodium, potassium and rubidium in the lunar regolith. *Phys Chem Earth.* 1977. Vol. X. P. 57–62.

Keeter B. Scientists grow plants in lunar soil. Ed. Bill Keeter. NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) 2025 [Електронний ресурс]. URL: https://www.nasa.gov/feature/biological-physical/scientists-grow-plants-in-soil-from-the-moon (дата звернення: 15.07.2025).

Khomiak I.V., Onyshchuk I.P., Vasylenko O.M. Theoretical basis of classification of terraforming methods. *Екологічнінауки.* 2024a. №4(55). С. 234–237. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.38.

Khomiak I., Onyschuk I., Khomiak O. Analysis of the relevance of astroecological research. *Екологічні науки.* 2024b. № 2. С. 35–38. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.5.

Kozyrovska N.O., Lutvynenko T.L., Korniichuk O.S., Kovalchuk M.V., Voznyuk T.M., et al. Growing pioneer plants for a lunar base. *Advances in Space Research.* 2006. Vol. 37. P. 93–99. https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.07.085.

Paul A.L., Smith D.P., Gigis P.J., Ferl J.B., Ferl R.L. Plants grown in Apollo lunar regolith present stress-associated transcriptomes that inform prospects for lunar exploration. *Communications Biology.* 2022. https://doi.org/10.1038/s42003-022-03513-z.

Rickman D., McLemore C. A., Fikes J. *Characterization summary of JSC-1A bulk lunar mare regolith simulant.* 2007 [Електронний ресурс]. URL: http://www.orbitec.com/store/JSC-1A_Bulk_Data_Characterization.pdf ; http://www.orbitec.com/store/JSC-1AF_Characterization.pdf (дата звернення: 17.12.2025).

Taylor L., Pieters C., Britt D. Evaluations of lunar regolith simulants. *Planetary and Space Science.* 2016. Vol. 126. P. 1–7. https://doi.org/10.1016/j.pss.2016.03.015.

Wamelink G.W., Frissel J.Y., Krijnen W.H.J., Verwoert M.R. Can Plants Grow on Mars and the Moon: A Growth Experiment on Mars and Moon Soil Simulants. *PLOS One.* 2014. Vol. 9, no. 8. e103138. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103138.

Zaets I., Burlak O., Rogutskyy I., Vasilenkoa A., Mytrokhyn O., et al. Bioaugmentation in growing plants for lunar bases. *Advances in Space Research*. 2011. Vol. 47. P. 1071–1078. https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.05.011.

Бондар С.С., Хом'як І.В. Тератрансформаційні стратегії освоєння незаселених субстратів. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції* : тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 16.

Хом'як І.В. Глобальні екологічні проблеми з точки зору астроекології. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 154–157. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.26.

Черняєва О. П., Хом'як І. В. Тератрансформаційний потенціал *Elymus repens* (L.) Gould. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції* : тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. Житомир : ЖДТУ, 2021. С. 18.

References

Baur, P.S., Clark, R.S., Walkinshaw, C.H., & Scholes, V.E. (1974). Uptake and translocation of elements from Apollo 11 lunar material by lettuce seedlings. *Phyton*, *32*, 133–142 [in English].

Duri, L.G., Caporale, A.G., Rouphael, Y., Vingiani, S., Palladino, M., De Pascale, S., & Adamo, P. (2022). The potential for lunar and martian regolith simulants to sustain plant growth: a multidisciplinary overview. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, *8*, Article 747821. https://doi.org/10.3389/fspas.2021.747821 [in English].

Ellery, A. (2021). Supplementing closed ecological life support systems with in-situ resources on the moon. *Life*, *11*(8), Article 770. https://doi.org/10.3390/life11080770 [in English].

Fackrell, L.E., Humphrey, S., Loureiro, R., Palmer, A.G., & Long-Fox, J. (2024). Overview and recommendations for research on plants and microbes in regolith-based agriculture. *npj Sustainable Agriculture*, *2*(1), Article 15. https://doi.org/10.1038/s44204-024-00109-7 [in English].

Ferl, R.J., & Paul, A.L. (2010). Lunar Plant Biology– A Review of the Apollo Era. *Astrobiology*, *10*(2), 261–274. https://doi.org/10.1089/ast.2009.0416 [in English].

Gibson, E.K. (1977). Volatile elements, carbon, nitrogen, sulfur, sodium, potassium and rubidium in the lunar regolith. *Physics and Chemistry of the Earth*, *10*, 57–62 [in English].

Keeter, B. (2025, May 12). *Scientists grow plants in lunar soil*. NASA (National Aeronautics and Space Administration). [Electronic resource] URL: https://www.nasa.gov/feature/biological-physical/scientists-grow-plants-in-soil-from-the-moon (access date 15.07.2025) [in English].

Khomyak, I.V., Onyshchuk, I.P., & Vasylenko, O.M. (2024a). Theoretical basis of classification of terraforming methods. *Ekolohichni nauky [Ecological sciences]*, *4* (55), 234–237. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.38 [in English].

Khomyak, I., Onyschuk, I., & Khomyak, O. (2024b). Analisys aktual'nosti astroekolohichnykh doslidzhen [Analysis of the relevance of astroecological research]. *Ekolohichni nauky [Ecological sciences], (2)*, 35–38. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.5 [in English].

Kozyrovska, N. O., Lutvynenko, T. L., Korniichuk, O. S., Kovalchuk, M. V., Voznyuk, T. M. & Kordium, V. A. (2006). Growing pioneer plants for a lunar base. *Advances in Space Research*, *37*(1), 93–99. https://doi.org/10.1016/j.asr.2005.07.085 [in English].

Paul, A. L., Smith, D. P., Gigis, P. J., Ferl, J. B., & Ferl, R. L. (2022). Plants grown in Apollo lunar regolith present stress-associated transcriptomes that inform prospects for lunar exploration. *Communications Biology*, *5*(1), Article 869. https://doi.org/10.1038/s42003-022-03513-z [in English].

Rickman, D., McLemore, C. A., & Fikes, J. (2007). *Characterization summary of JSC-1A bulk lunar mare regolith simulant*. ORBITEC. [Electronic resource] URL: http://www.orbitec.com/store/JSC-1A_Bulk_Data_Characterization.pdf and http://www.orbitec.com/store/JSC-1AF_Characterization.pdf (access date 17.12.2025) [in English].

Taylor, L., Pieters, C., & Britt, D. (2016). Evaluations of lunar regolith simulants. *Planetary and Space Science*, 126, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.pss.2016.03.015 [in English].

Wamelink, G.W.W., Frissel, J.Y., Krijnen, W.H.J., & Verwoert, M.R. (2014). Can plants grow on Mars and the Moon: A growth experiment on Mars and Moon soil simulants. *PLOS One*, *9*(8), e103138. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103138 [in English].

Zaets, I., Burlak, O., Rogutskyy, I., Vasilenkoa, A., Mytrokhyn, O., & Kozyrovska, N. (2011). Bioaugmentation in growing plants for lunar bases. *Advances in Space Research*, *47*(6), 1071–1078. https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.05.011 [in English].

Bondar, S.S., & Khomyak, I.V. (2021). Teratransformatsiyni stratehii osvoyennya nezaselenykh substrativ [Terratransformational strategies for the development of uninhabited substrates]. In *Stalyy rozvytok krayiny v ramkakh Yevropeyskoyi intehratsiyi* [Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr State Technological University. 16. [in Ukrainian].

Khomyak, I. V. (2021). Hlobal'ni ekolohichni problemy z tochky zoru astroekolohiyi [Global environmental problems from the perspective of astroecology]. *Ekolohichni nauky [Ecological Sciences], 6*(39), 154–157. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.26 [in Ukrainian].

Chernyayeva, O.P., & Khomyak, I.V. (2021). Teratransformatsiynyy potentsial Elymus repens (L.) Gould [Terratransformational potential of *Elymus repens* (L.) Gould]. In *Stalyy rozvytok krayiny v ramkakh Yevropeyskoyi intehratsiyi* [Sustainable development of the country within the framework of European integration]. Zhytomyr State Technological University. 18 p. [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 502.174:631
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.23

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ АГРАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА ЖИТОМИРЩИНИ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗЕЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

О. Ф. Дунаєвська[1], І. М. Сокульський[2], М. М. Світельський[3], О. В. Іщук[4]

Екологізація аграрних підприємств є ключовим напрямом сталого розвитку сільського господарства, що поєднує економічну ефективність із збереженням природних ресурсів та біорізноманіття. В умовах інтенсифікації виробництва та зростання антропогенного навантаження на довкілля особливо актуально впроваджувати системні підходи до управління ресурсами, енергією та відходами, а також інтегрувати екологічні технології на всіх етапах виробничого циклу. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю мінімізації негативного впливу аграрного виробництва на навколишнє середовище та забезпечення сталого розвитку сільськогосподарських підприємств. Метою роботи є комплексна оцінка впливу виробничої діяльності ПАФ «Єрчики» (Житомирська область) на довкілля, аналіз стану впровадження сучасних екологічних технологій та формування рекомендацій щодо підвищення екологічної ефективності підприємства.
Дослідження виконано з використанням комплексного системного підходу, що передбачає моніторинг стану довкілля, оцінку впливу продукції на довкілля протягом її життєвого циклу, аналіз потоків речовин, польові та лабораторні дослідження, агрономічні спостереження, екологічний аудит та оцінку систем управління екологічною безпекою. Оцінка охоплювала всі напрями діяльності підприємства: рослинництво, кормовиробництво, тваринництво (молочне скотарство,

[1] доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри екології
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: oksana_fd@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8999-8211
[2] кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри внутрішньої патології та морфології
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: sokulskiy_1979@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6237-0328
[3] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізномніття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: svitmm71@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1501-4168
[4] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ischuk_o@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8993-8366

рибництво). Моніторинг річки Унава у 2024 році показав, що всі гідрохімічні та мікробіологічні показники перебувають у межах нормативних значень. Отримані результати відповідають періоду після впровадження комплексу природоохоронних заходів (2021–2022 рр.), що свідчить про ефективне функціонування діючих технологій екологізації (буферні смуги, анаеробна дигестія, компостування гною тощо).
Досягнення таких показників зумовлене впровадженням на підприємстві комплексу екологічно орієнтованих технологічних та управлінських рішень, спрямованих на зменшення антропогенного навантаження та підвищення ефективності використання природних ресурсів. Використання «зелених» технологій, таких як буферні смуги, системи стабілізації та компостування гною, анаеробна дигестія, енергоефективне обладнання, точне землеробство та оптимізація кормової бази, забезпечує мінімізацію антропогенного навантаження на довкілля. Крім того, інтеграція соціально-економічних заходів, зокрема створення робочих місць та підтримка місцевої громади, сприяє підвищенню ефективності впровадження екологічно безпечних технологій. Отримані дані демонструють доцільність системного підходу до екологізації агровиробництва, який поєднує технологічні, організаційні та природоохоронні рішення, забезпечуючи сталий розвиток підприємства та територіальної громади.

Ключові слова: *екологізація виробництва, агроекосистеми, тваринництво, екологічний менеджмент, аквакультура, охорона довкілля, ветеринарно-санітарна безпека.*

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE IN ZHYTOMYR REGION AND IMPLEMENTATION OF GREEN TECHNOLOGIES

O. F. Dunaievska, I. M. Sokulskyi, M. M. Svitelsky, O. V. Ishchuk

The greening of agricultural enterprises is a key area of sustainable agricultural development, combining economic efficiency with the conservation of natural resources and biodiversity. In the context of intensified production and growing anthropogenic pressure on the environment, it is particularly important to implement systematic approaches to resource, energy and waste management, as well as to integrate environmental technologies at all stages of the production cycle. The relevance of the study is determined by the need to minimise the negative impact of agricultural production on the environment and ensure the sustainable development of agricultural enterprises. The aim of the work is to comprehensively assess the impact of the production activities of the Yerchiki Agricultural Production Farm (Zhytomyr region) on the environment, analyse the state of implementation of modern environmental technologies and formulate recommendations for improving the environmental efficiency of the enterprise.
The study was conducted using a comprehensive systematic approach that included monitoring the state of the environment, assessing the environmental impact of products throughout their life cycle, analysing material flows, conducting field and laboratory studies, agronomic observations, environmental audits and assessments of environmental safety management systems. The assessment covered all areas of the enterprise's activities: crop production, fodder production, and animal husbandry (dairy cattle breeding and fish farming). Monitoring of the Unava River in 2024 showed that all hydrochemical and microbiological parameters are within regulatory limits. The results correspond to the period after the implementation of environmental measures (2021–2022), indicating the effective functioning of the applied greening technologies (buffer strips, anaerobic digestion, manure composting, etc.). These results were achieved thanks to the implementation of a set of environmentally friendly technological and management solutions aimed at reducing anthropogenic impact and improving the efficiency of natural resource use. The use of 'green' technologies, such as buffer strips, manure stabilisation and composting systems, anaerobic digestion, energy-efficient equipment, precision farming and feed optimisation, minimises the anthropogenic impact on the environment. In addition, the integration of socio-economic measures, in particular job creation and support for the local community, contributes to the effective implementation of environmentally friendly technologies.
The data obtained demonstrate the feasibility of a systematic approach to the greening of agricultural production, which combines technological, organisational and environmental solutions, ensuring the sustainable development of the enterprise and the local community.

Key words: *greening of production, agroecosystems, animal husbandry, environmental management, aquaculture, environmental protection, veterinary and sanitary safety.*

Вступ

У сучасному світі розвиток суспільства невіддільно пов'язаний із науково-технічним прогресом, зростанням економічної діяльності та інтенсифікацією виробничих процесів (Anadon et al., 2016; Beer et al., 2020). Протягом своєї історії людство прагнуло покращити умови свого життя, що стимулювало розвиток науки, техніки, мистецтва, архітектури та інших сфер діяльності. Стрімкий прогрес у цих галузях вимагав економічного зростання та збільшення обсягів виробництва, що забезпечувало підвищення рівня життя та продовольчу безпеку, але водночас спричинило виснаження природних ресурсів планети та зростання екологічних ризиків (Гобела, 2021; Світельський та ін., 2025). У зв'язку з цим сучасне суспільство потребує удосконалення технологій, організаційних процесів та управління ресурсами, що дозволяє поєднувати економічну ефективність з охороною навколишнього середовища та збереженням екосистем (Dunaievska et al., 2025).

Сільське господарство відіграє ключову роль у житті людського суспільства, забезпечуючи продовольчу безпеку, економічну стабільність та розвиток сільських територій (Zhang et al., 2024). Землеробство, як провідна галузь агровиробництва, засноване на раціональному використанні земельних ресурсів для вирощування сільськогосподарських культур, є однією з найдавніших сфер господарської діяльності (Paz et al., 2020). Протягом тисячоліть методи виробництва продукції залишалися відносно стабільними: продукція здебільшого використовувалася для самозабезпечення, а надлишки обмінювалися по бартеру або продавалися за гроші, що формувало перші економічні зв'язки між громадами (Амонс і Красняк, 2023). Водночас історична еволюція аграрного виробництва та ускладнення соціально-економічних процесів зумовили появу нових вимог до функціонування аграрного сектору. Сучасне сільське господарство стикається з комплексними викликами, серед яких ключовими є зростання чисельності населення, підвищення вимог до якості харчових продуктів та необхідність забезпечення екологічної безпеки виробництва. У глобалізованому світі посилюється конкуренція на ринку агропродукції, і поряд із кількістю продукції все більшого значення набуває її якість, безпека для споживачів та екологічна відповідальність виробництва (Амонс, 2021). Виробництво має забезпечувати не лише економічну ефективність, а й мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище, що вимагає впровадження сучасних технологій, інтегрованого управління ресурсами та екологічно орієнтованих підходів у всіх ланках агровиробництва.

У цьому контексті особливого значення набуває розвиток аграрного сектору в Україні (Шарко, 2020), який володіє значним природним потенціалом, родючими ґрунтами та багатовіковими традиціями землеробства (Солоп, 2024). Поряд із промисловим сектором аграрна галузь потребує впровадження сучасних принципів управління, серед яких ключовими є екологічна відповідальність і стале використання ресурсів (Добрунік і Кузнєцова, 2022). Такі підходи сприяють підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних підприємств на світовому ринку продовольства, забезпеченню продовольчої безпеки та підтримці соціально-економічного розвитку сільських територій (Gillard et al., 2016). Системний підхід до розвитку аграрного сектору, що поєднує традиційні знання, інноваційні технології та екологічну стратегію, створює передумови для формування стійких і ефективних виробничих систем, здатних адаптуватися до глобальних викликів, зокрема змін клімату, деградації земель та втрати біорізноманіття. Це формує основу для комплексної екологізації агровиробництва, яка постає не лише як економічна необхідність, а й як важливий чинник соціальної та екологічної відповідальності сучасного суспільства. Системний підхід до розвитку аграрного сектору, що поєднує традиційні знання, інноваційні технології та екологічну стратегію, створює передумови для формування стійких і ефективних виробничих систем, здатних адаптуватися до глобальних викликів, зокрема змін клімату, деградації земель, втрати біорізноманіття, а також негативних наслідків воєнних дій, які посилюють антропогенне навантаження на природні ресурси та порушують функціонування агроекосистем (Дунаєвська та ін., 2024). Це формує основу для комплексної екологізації агровиробництва, яка постає не лише як економічна необхідність, а й як важливий чинник соціальної та екологічної відповідальності сучасного суспільства.

У відповідь на зазначені виклики останніми роками в науковій літературі активно розвиваються концепції трансформації агровиробництва, які розглядаються в кон-

тексті змін клімату та втрати біорізноманіття (Гарафонова та ін., 2023; Кулініч, 2025).

Одним із ключових аспектів сучасного розвитку аграрного сектору є екологізація виробництва (Huang et al., 2024). Значна частина сільськогосподарських угідь зазнає деградації внаслідок як інтенсивного, так і екстенсивного землеробства, що негативно впливає на стан довкілля та родючість ґрунтів. Екологізація виробництва харчових продуктів передбачає впровадження інноваційних технологій, оцінку їх впливу на довкілля та ефективності природоохоронних заходів. Комплексний підхід, що охоплює всі етапи виробничого циклу, сприяє підвищенню екологічної безпеки агровиробництва та вирішенню актуальних екологічних проблем (Dyudyayeva & Rutta, 2024). В умовах реалізації цілей сталого розвитку та сучасних соціально-політичних викликів, зокрема воєнних дій в Україні, ефективність еколого-економічних систем значною мірою залежить від впровадження сучасних методів екологічного менеджменту.

З огляду на зростання екологічних ризиків, посилення вимог до якості аграрної продукції та необхідність забезпечення сталого розвитку аграрного сектору, актуальним є дослідження системних підходів до екологізації сільськогосподарського виробництва, що поєднують технологічні, управлінські та природоохоронні аспекти. Це особливо важливо для України, де аграрний сектор має великий природний потенціал, але водночас зазнає значного антропогенного навантаження, зокрема в умовах сучасних соціально-політичних викликів і воєнних дій.

Метою цього дослідження є комплексна оцінка впливу виробничої діяльності ПАФ «Єрчики» на довкілля, аналіз стану впровадження сучасних екологічних технологій та формування рекомендацій щодо зниження негативного впливу агровиробництва на природне середовище. Реалізація цієї мети дозволяє не лише підвищити ефективність господарської діяльності, а й розробити науково обґрунтовані підходи до комплексної екологізації аграрного виробництва, які можуть бути застосовані й в інших регіонах України.

Матеріал і методи

Дослідження з проблем екологізації сільськогосподарського виробництва проводилися у 2024–2025 роках на базі ПАФ «Єрчики» Житомирської області. Було розроблено програму досліджень, яка передбачала виконання наступних завдань: – ознайомлення з виробничою діяльністю ПАФ «Єрчики» та оцінка її впливу на стан атмосферного повітря, ґрунтів і водних об'єктів; – вивчення системи поводження з органічними відходами та їх утилізації; – аналіз особливостей вирощування зернових культур та впровадження екологічних технологій; – оцінка стану екологізації виробництва та утворення відходів під час господарської діяльності; – проведення моніторингових досліджень виробничої діяльності протягом п'яти років; – вивчення дотримання вимог біобезпеки під час виробничих процесів.

Дослідження проведено після завершення основного етапу модернізації підприємства (2021–2022 рр.), що не дозволяє провести пряме порівняння «до і після» впровадження заходів, але дає змогу оцінити стан довкілля за умов дії повного комплексу сучасних екологічних технологій.

Для оцінки стану екологізації виробництва на ПАФ «Єрчики» використовувався комплекс методів, що поєднує польові, лабораторні та системні підходи.

Комплексна оцінка життєвого циклу продукції LCA (life cycle assessment), дозволяє оцінити вплив виробництва на навколишнє середовище, включаючи викиди парникових газів, енергоспоживання, евтрофікацію та закислення. Додатково застосовувалися індикатори карбонового сліду, водного сліду та площі використання землі. Дані методики дають можливість порівнювати технології та визначати ключові ділянки з високим екологічним впливом («гарячі точки») для оптимізації виробництва та підвищення його екологічної ефективності (Шевченко, 2022; Дребот та ін., 2024).

Методика MFA (Material Flow Analysis) дозволяє кількісно оцінити потоки речовин (азот, фосфор, вуглець, вода) у виробничих системах, виявити витоки ресурсів та шляхи їх мінімізації, що сприяє підвищенню ефективності та екологічної безпеки агровиробництва (Шевченко, 2022).

Агрономічні дослідження включали вимірювання врожайності культур; дозування добрив; вологість ґрунту; вміст органічної речовини. Для постійного моніторингу використовувалися сенсори ґрунту (Дребот та ін., 2024).

Екологічний аудит передбачав перевірку відповідності виробничих процесів чинним нормативам поводження з відходами, гноєм, засобами захисту рослин та водокористування.

Оцінка систем управління екологічною безпекою включала перевірку процедур, обліку та відповідальних осіб, а також інтеграцію стандартів ISO 14001:2015 або внутрішніх систем екологічного менеджменту (EMS) (ISO, 2016).

У молочному тваринництві проводилися вимірювання ефективності годівлі та складу кормів, оцінка масових балансів гною, контроль використання пасовищ і впливу на ґрунт (Гринь та ін., 2024).

Такі методи дозволяли кількісно оцінити екологічні характеристики виробничих процесів і сформувати базу для подальшого аналізу екологізації у всіх ланках агросистеми.

Результати та їх обговорення

Оцінка рівня екологізації діяльності аграрного підприємства передбачає поетапний аналіз основних факторів антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. На початковому етапі дослідження доцільним є визначення характеру, джерел та потенційної інтенсивності впливів, що формуються в процесі виробничої діяльності.

У результаті функціонування ПАФ «Єрчики» основними чинниками впливу на навколишнє середовище є викиди в атмосферне повітря, утворення та відведення стічних вод, можливе забруднення ґрунтів, а також утворення відходів виробництва і побічних продуктів господарської діяльності (Гринь та ін., 2024). Зазначені впливи характерні для підприємств аграрного профілю та зумовлені особливостями тваринництва, рослинництва й допоміжних технологічних процесів.

Для визначення міри та напрямів такого впливу у роботі використано аналіз наявної звітної, виробничо-технологічної та екологічної документації підприємства, а також узагальнення результатів контрольних спостережень за використанням природних ресурсів і утворенням викидів та відходів. Застосування цього підходу дозволяє отримати репрезентативну характеристику екологічного навантаження без втручання у виробничий процес і проведення спеціалізованих інструментальних вимірювань, що є складними в умовах діючого господарства.

ПАФ «Єрчики» розташована на території Житомирського району та є багатопрофільним аграрним підприємством сучасного типу. Основними напрямами його діяльності є вирощування зернових культур, виробництво молока, утримання та розведення великої рогатої худоби, а також розведення прісноводної риби, зокрема товстолоба, коропа та білого амура. Структура сільськогосподарського виробництва ПАФ «Єрчики» охоплює всі ключові галузі аграрного сектору, зокрема рослинництво, тваринництво та кормовиробництво (табл. 1). У господарстві вирощуються зернові культури, які після збирання зберігаються у власних сховищах, реалізуються або використовуються як сировина для виготовлення комбікормів.

Комбікорми власного виробництва є важливим елементом замкненого виробничого циклу підприємства та переважно використовуються для годівлі корів на власних тваринницьких фермах, що сприяє оптимізації витрат, підвищенню ефективності виробництва та зменшенню зовнішньої залежності від постачальників кормів.

Важливою складовою сталого розвитку аграрного сектору є соціальна відповідальність сільськогосподарських підприємств, яка тісно пов'язана з екологізацією виробництва та формуванням безпечного соціально-економічного середовища (Амонс і Красняк, 2023). Соціально орієнтована діяльність підприємств сприяє підвищенню якості життя населення сільських територій, стабільності зайнятості та створенню передумов для впровадження екологічно безпечних технологій.

У цьому контексті ПАФ «Єрчики» відіграє важливу роль у розвитку територіальної громади, поєднуючи виробничу діяльність із соціальними ініціативами, спрямованими на модернізацію виробничих потужностей, зменшення антропогенного навантаження на довкілля та підтримку місцевого населення. Реалізація соціальних заходів підприємства розглядається як складова комплексної екологізації агровиробництва, оскільки інвестиції в людський капітал і соціальну інфраструктуру створюють умови для сталого природокористування та екологічної безпеки.

Наведені в таблиці 2 напрями соціальної діяльності свідчать про інтеграцію соціальної відповідальності з процесами екологізації та сталого розвитку аграрного підприємства.

Тваринництво є одним із найбільш екологічно чутливих компонентів аграрного виробництва, оскільки впливає на довкілля через викиди парникових газів, виробництво кормів і зміну землекористування, управління гноєм, забруднення води й повітря, а також ризики для біорізноманіття та здоров'я населення (Steinfeld & Gerber, 2010).

Таблиця 1

Основні напрями діяльності та виробничі показники ПАФ «Єрчики»

Напрям діяльності	**Характеристика та основні показники**
Рослинництво	Вирощування зернових і зернобобових культур (пшениця, жито, ячмінь, кукурудза та ін.). Частина продукції реалізується, частина використовується для власних потреб господарства, зокрема для виробництва комбікормів.
Кормовиробництво	Виробництво комбікормів із власної сировини для забезпечення потреб тваринництва, передусім молочного скотарства, що сприяє зниженню витрат та замкненню внутрішніх матеріальних потоків.
Молочне скотарство	Основний напрям діяльності підприємства. Обсяг виробництва молока становить близько **4,4 тис. т на рік.** Середня молочна продуктивність корів – близько **6016 кг на рік,** що відповідає сучасним вимогам ефективного ведення молочного тваринництва.
Племінне тваринництво	Утримання та відгодівля великої рогатої худоби з використанням власної кормової бази. Забезпечується інтеграція рослинництва і тваринництва в єдину виробничу систему.
Рибництво (аквакультура)	Вирощування та реалізація прісноводної риби власного виробництва (короп, товстолоб, білий амур), що розширює спеціалізацію підприємства та формує додаткові джерела продукції.

Таблиця 2

Напрями соціально-екологічної діяльності ПАФ «Єрчики»

Напрям діяльності	**Ключові заходи**	**Соціально-екологічний ефект / соціальні результати**
Оновлення виробничих потужностей та зменшення впливу на довкілля	– Закупівля нової сільськогосподарської техніки: 4 трактори та 5 комбайнів (Claas, John Deere). – Встановлення системи зрошення на діючих полях (2 американські поливальні установки). – Створення системи гноєвидалення (2021 р., місткість 30 тис. тонн). – Будівництво сучасного молочного комплексу в с. Квітневе (2021–2022 рр.).	– Зниження антропогенного навантаження на довкілля. – Підвищення ресурсо- та енергоефективності виробництва
Створення нових робочих місць	– Будівництво виробничих приміщень (побудовано 10 тваринницьких приміщень). – Введення в експлуатацію молочної ферми на понад 2000 голів ВРХ (з них 1360 корів голштинської породи, закуплених у Данії).	– Зростання рівня зайнятості населення. – Соціальна стабільність у сільській місцевості
Задоволення соціальних потреб громади	– Будівництво житла для молодих сімей (30 сімей отримали нове житло). – Безкоштовне харчування працівників господарства. – Організація підвезення працівників до місця роботи (2 автобуси). – Заохочення кращих працівників (нагороди автомобілями).	– Підвищення рівня життя працівників. – Зміцнення соціального капіталу громади.

Найбільший внесок у парниковий ефект у галузі тваринництва пов'язаний із викидами метану внаслідок ентеричного бродіння у жуйних тварин та зберігання гною, тоді як у свинарстві домінують викиди CO_2 та N_2O, пов'язані з енергоспоживанням і виробництвом кормів.

Важливим чинником екологічного навантаження є виробництво кормів і використання земель. Вирощування кукурудзи, сої та зернових культур супроводжується застосуванням мінеральних добрив, пестицидів і значним енергоспоживанням, що спричиняє викиди N_2O, деградацію ґрунтів та забруднення водних об'єктів. Водночас пасовищне утримання великої рогатої худоби за умови раціонального менеджменту може сприяти накопиченню органічного вуглецю в ґрунті, тоді як перевипас призводить до ерозії та втрати родючості (Коваленко, 2016).

Суттєвим джерелом негативного впливу є також утворення та використання гною, що супроводжується виносом азоту й фосфору у ґрунтові та поверхневі води, спричиняючи процеси евтрофікації. Аналогічні механізми характерні й для аквакультури, де невикористані корми та продукти жит-

тєдіяльності риб збагачують воду органічною речовиною та поживними елементами, що може призводити до гіпоксії та деградації донних екосистем. Окрему екологічну загрозу становлять втечі вирощуваної риби та передача патогенів диким популяціям.

Використання ветеринарних препаратів, антибіотиків і дезінфекційних засобів у тваринництві та рибництві формує додаткові ризики, пов'язані з забрудненням довкілля та розвитком антимікробної резистентності, а також можливими залишками в продукції тваринного походження (Hobela, 2020).

Рослинництво, зокрема вирощування зернових, зернобобових і кормових культур, має багатофакторний вплив на довкілля. Основними екологічними наслідками є викиди парникових газів, водне навантаження, деградація ґрунтів і скорочення біорізноманіття. Водночас включення бобових культур у сівозміни сприяє біологічній фіксації азоту, зменшенню потреби в мінеральних добривах і покращенню ґрунтового здоров'я, що розглядається як ефективна практика екологізації агровиробництва (Grytsenko et al., 2022). Таким чином, результати аналізу свідчать, що вплив на довкілля аграрного підприємства формується сукупністю процесів у тваринництві, рослинництві та аквакультурі, а його мінімізація потребує інтегрованих підходів до управління ресурсами, оптимізації кормової бази, поводження з відходами та впровадження екологічно орієнтованих технологій (Hryhorak & Trushkina, 2020).

Екологічна оцінка діяльності аграрного підприємства має бути комплексною, системною та, за можливості, кількісною, із чіткою орієнтацією на прийняття управлінських рішень. У межах даного дослідження екологічну оцінку діяльності ПАФ «Єрчики» проведено з використанням інтегрованого підходу, який поєднує аналіз виробничих процесів, моніторинг компонентів довкілля та інтерпретацію отриманих даних з позицій екологічної безпеки та сталого розвитку.

У ході дослідження нами застосовано поетапний алгоритм екологічної оцінки, що включав:

1. Формування структури оцінки та визначення зацікавлених сторін, а також ідентифікацію основних виробничих процесів підприємства.

2. Аналіз діяльності підприємства за матрицею процесів, яка охоплювала рослинництво, тваринництво, зберігання продукції, використання енергії та води, поводження з відходами і гноєм.

3. Визначення просторових і часових меж оцінки та добір ключових екологічних індикаторів.

4. Збір і узагальнення вихідних даних, зокрема щодо обсягів використання добрив, пестицидів, водних і енергетичних ресурсів, врожайності, утворення гною та викидів забруднюючих речовин.

5. Польові вимірювання та лабораторні аналізи, включаючи дослідження якості поверхневих вод та атмосферного повітря.

6. Інтерпретацію результатів з ідентифікацією екологічно чутливих ділянок та формування рекомендацій щодо зниження негативного впливу.

Для оцінки екологічних процесів застосовувалися балансові підходи (баланси азоту та фосфору), елементи біомоніторингу, а також дані регулярного виробничого екологічного контролю (Hryhorak & Trushkina, 2020).

Для оцінки впливу діяльності підприємства на стан поверхневих водойм ПАФ «Єрчики» протягом 2024 року проводив регулярний квартальний моніторинг якості води річки Унава, у яку надходять стічні води підприємства. Отримані дані відображають фактичний стан водної екосистеми та використовуються для оцінки екологічної безпеки виробничої діяльності (табл. 3).

Проведений моніторинг охоплює лише 2024 рік, тобто, період після завершення основної модернізації підприємства (2021–2022 рр.: нова система гноєвидалення на 30 тис. т, молочний комплекс, буферні смуги тощо). Через відсутність повноцінного набору даних за період до впровадження цих заходів (до 2021 р.) кількісна оцінка ефективності кожного окремого заходу є обмеженою, а сезонні коливання можуть впливати на показники. Проте стабільна відповідність усіх контрольованих параметрів (вода, повітря) гранично-допустимим значенням протягом чотирьох кварталів 2024 року свідчить про те, що діюча система природоохоронних технологій забезпечує належний рівень екологічної безпеки виробництва.

Аналіз отриманих даних свідчить, що усі досліджувані показники якості води протягом року перебували в межах нормативних значень, що вказує на відсутність суттєвого негативного впливу підприємства на гідроекосистему річки Унава за досліджуваний період.

Важливим елементом екологічної оцінки впливу діяльності аграрних підприємств на

Таблиця 3

Аналіз показників води річки Унава в умовах надходження стічних вод ПАФ «Єрчики»

Показник	**I квартал**	**II квартал**	**III квартал**	**IV квартал**	**Відповідність ДСанПіН 2.2.4-17I-I0**
Запах, бали	2	3	3	3	не нормується
pH	7,96	8,01	7,98	8,12	відповідає
Жорсткість, загальна ммоль/дм^3	5,63	5,26	5,19	5,36	відповідає
Кальцій, мг/дм^3	41,7	40,4	46,2	47,4	відповідає
Магній, мг/дм^3	38,4	38,2	38,7	38,6	відповідає
Поліфосфати, мг/дм^3	2,15	2,19	2,16	2,18	відповідає
Сульфати, мг/дм^3	75,0	74,9	73,3	72,1	відповідає
Хлориди, мг/дм^3	63,6	72,9	70,4	60,8	відповідає
Амоній, мг/дм^3	0,19	0,27	0,24	0,33	відповідає
Нітрати, мг/дм^3	20,9	23,7	32,7	29,6	відповідає
Нітрити, мг/дм^3	0,017	0,018	0,017	0,017	відповідає
Зважені речовини, мг/дм^3	24,2	24,3	24,5	24,1	відповідає
Забарвленість, градус	7	6	8	7	відповідає

водні екосистеми є аналіз мікробіологічних показників поверхневих вод (Савенко та ін., 2021). Саме ці показники відображають рівень санітарно-епідеміологічної безпеки водойм, можливі ризики для здоров'я населення та стан біоти водних екосистем (Мокієнко та ін., 2017). Підвищені концентрації індикаторних і патогенних мікроорганізмів можуть свідчити про надходження органічних забруднень, зокрема стічних вод тваринницького походження, та створювати передумови для погіршення екологічного стану водойм.

У межах проведеного дослідження ПАФ «Єрчики» здійснювало квартальний мікробіологічний моніторинг води річки Унава, у яку надходять стічні води підприємства. Оцінка якості води виконувалася за показниками санітарно-показових мікроорганізмів, зокрема кількістю лактозопозитивних кишкових паличок, індексом *Escherichia coli,* ентерококів та наявністю патогенних мікроорганізмів. Результати мікробіологічних досліджень води річки Унава наведено в таблиці 4. Отримані значення за всіма досліджуваними показниками не перевищували гранично допустимих рівнів і відповідали вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Наказ …, 2010), що свідчить про відсутність мікробіологічного забруднення води та задовільний санітарний стан водойми в зоні впливу підприємства.

У межах проведеного дослідження оцінку впливу діяльності ПАФ «Єрчики» на атмосферне повітря здійснено шляхом інвентаризації джерел викидів та аналізу результатів регулярного виробничого моніторингу. Встановлено, що на підприємстві ідентифіковано 96 джерел викидів забруднюючих речовин (рис. 1), серед яких домінуючий внесок формують вентиляційні системи тваринницьких приміщень, гноєсховища, котельня, автомобільний транспорт та сільськогосподарська техніка та дизель-генератор. Така структура джерел викидів є типовою для багатогалузевих аграрних підприємств тваринницького напряму і узгоджується з даними наукових досліджень, а також положенням державних програмних і стратегічних документів, представлених у літературних джерелах (Енергетична …, 2017; Проєкт …, 2022; Левченко і Буряк, 2023).

У межах проведеного дослідження контроль якості атмосферного повітря на ПАФ «Єрчики» здійснювався на регулярній основі з періодичністю один раз на квартал, за методичним підходом, аналогічним до моніторингу стану поверхневих вод. Визначалися концентрації основних забруднюючих речовин, характерних для діяльності аграрних і тваринницьких підприємств, зокрема оксидів азоту та вуглецю, аміаку, метану, сірководню, диметилсульфіду, хлору та зважених речовин. Отримані значення співставлялися з гранично допустимими концентраціями відповідно до чинних гігієнічних нормативів, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України № 52 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» (Наказ …, 2020). Узагальнені результати інвентаризації та розрахунку потужності викидів забруднюючих речовин у 2024 році наведено в таблиці 5.

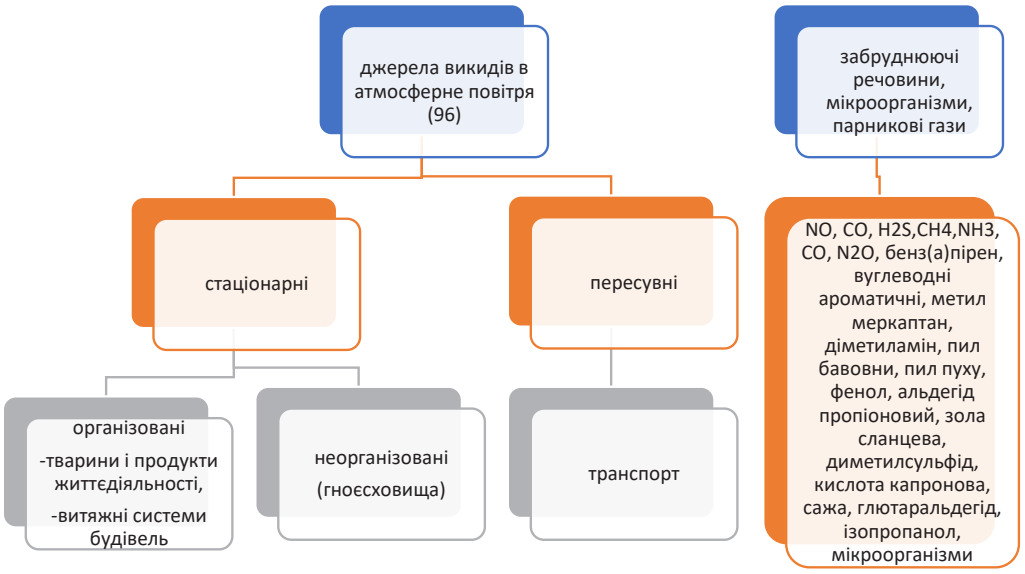


Рис. 1. Основні джерела викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря ПАФ «Єрчики»

Таблиця 4

Результати аналізу викидів забруднюючих речовин ПАФ «Єрчики»

№ з/п	Показники	Допустимі рівні по НД	Фактичне значення	Відмітка про відповідність
1	Кількість лактозопозитивних кишкових паличок в 1 дм³	не більше $5{,}0\cdot10^3$	$2{,}2\cdot10^3$	відповідає
2	Індекс *E. coli* (кількість термостабільних кишкових паличок в 1 дм³)	не більше $1{,}0\cdot10^3$	менше 500	відповідає
3	Індекс ентерококів (кількість ентерококів в 1 дм³)	не більше 500	менше 500	відповідає
4	Патогенні мікроорганізми (у т. ч. сальмонели) в 1 дм³	Не допускається	не виявлено	відповідає

Таблиця 5

Потужність викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря під час експлуатаційної діяльності ПАФ «Єрчики» у 2024 році

Назва речовини	Потужність викиду	
	г/с	т/рік
Азоту діоксид	0,015	0,00547
Вуглецю оксид	0,0892	0,032558
Аміак	0,261326478	12,953841174
Сірководень	0,061497261	1,963457812
Метан	0,191468712	4,954781230
Диметилсульфід	0,021547356	0,921478532

У 2024 році потужність викидів основних забруднюючих речовин (табл. 5) залишалася значно нижчою за гранично допустимі значення відповідно до гігієнічних регламентів (Наказ МОЗ № 52 від 14.01.2020). Це узгоджується з регулярним виробничим контролем підприємства після впровадження заходів модернізації (2021–2022 рр.), хоча повна багаторічна динаміка викидів потребує додаткових архівних даних для кількісної оцінки тенденцій.

Згідно з сучасними дослідженнями, для сталого розвитку економіки та регіонів необхідне впровадження «зелених» практик і екологізація виробництва, що зменшують вплив на довкілля та сприяють природному відновленню (Енергетична …, 2017; Проєкт …, 2022). Зміни клімату, які посилюються через інтенсивну промислову діяльність, підкреслюють актуальність таких заходів (Шевченко, 2022; Дребот та ін., 2024). Стан впровадження та використання сучасних екологічних технологій на ПАФ “Єрчики” свідчить про системний підхід підприємства до екологізації агровиробництва. На відміну від традиційних методів ведення сільського господарства, ПАФ забезпечує комплексне

мінімізування впливу на довкілля, зокрема через створення багаторівневих буферних смуг уздовж річки Унава, які сприяють фільтрації стоку, затримці осадів та підтримці біорізноманіття. Управління органічними відходами реалізується через стабілізацію гною, компостування та анаеробну дигестію з оптимізованим плануванням майданчиків, що значно зменшує шкідливі емісії та підвищує ефективність використання добрив.

В енергетичній та технологічній сфері підприємство застосовує енергоефективні системи вентиляції, насосів і рекуперації тепла, а також оптимізовану логістику техніки, що забезпечує мінімальні витрати енергії. Молочна переробка здійснюється з використанням сучасних теплообмінників і інтелектуального контролю технологічних процесів, що підвищує економічну віддачу та знижує вплив на довкілля.

В агрономічному напрямі застосовується точне землеробство з GPS-культивацією та диференційованим (дозованим) внесенням добрив, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів. За даними впровадження таких систем в українських господарствах, точне внесення добрив зменшує їх витрати на 15–30 % без зниження врожайності, а використання GPS-навігації скорочує перевитрати пального на 6–10 % завдяки зменшенню перекриття проходів техніки (Все …, 2025; AEM, 2021). Інтегрована боротьба зі шкідниками (IPM) та органічні методи відновлення ґрунту (наприклад, сівозміни з бобовими) додатково знижують хімічне навантаження на агроекосистеми.

Раціональне поєднання грубих і концентрованих кормів для дійних корів та автоматизовані системи годівлі риби сприяють оптимізації продуктивності тварин при мінімізації негативного впливу на водні ресурси (зменшення евтрофікації через контроль надлишку кормів).

Енергоефективні системи вентиляції, рекуперації тепла та інтелектуального контролю в тваринницьких приміщеннях і молочному комплексі забезпечують економію електроенергії на 12–20 % (за рахунок змінних швидкостей вентиляторів та оптимізованого повітрообміну), що узгоджується з галузевими показниками для ферм аналогічного масштабу (University …, 2024).

Екодизайн продуктів та упаковки зменшує енергоспоживання і відходи на всьому життєвому циклі продукції.

Таким чином, стан впровадження сучасних екологічних технологій на ПАФ "Єрчики" демонструє інтегровану модель екологічного виробництва, де технологічні, енергетичні та організаційні рішення взаємодіють для досягнення стійкого розвитку, зменшення антропогенного навантаження на довкілля та підвищення соціально-економічної ефективності підприємства.

Висновки

1. Проведене дослідження діяльності ПАФ «Єрчики» засвідчує, що вплив на довкілля підприємства формується комплексно через рослинництво, тваринництво та аквакультуру, а його мінімізація потребує інтегрованого підходу до управління ресурсами, оптимізації кормової бази, поводження з відходами та впровадження екологічно орієнтованих технологій.

2. Моніторинг річки Унава протягом 2024 року (після впровадження природоохоронних заходів у 2021–2022 рр.) показав стабільну відповідність усіх гідрохімічних і мікробіологічних показників нормативним значенням.

3. Аналіз джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря у 2024 році виявив 96 стаціонарних джерел, серед яких основну частку становлять вентиляційні системи тваринницьких приміщень, гноєсховища та котельня. Потужність викидів (наприклад, аміаку – 12,95 т/рік, метану – 4,95 т/рік) не перевищувала допустимих нормативів, що свідчить про належне функціонування впроваджених технологій контролю та очищення в досліджуваний період.

4. Застосування на ПАФ «Єрчики» комплексу «зелених» технологій (буферні смуги, анаеробна дигестія, компостування, точне землеробство, енергоефективне обладнання) забезпечує відповідність виробництва екологічним нормативам у досліджуваний період і може розглядатися як успішна модель системної екологізації багатогалузевого аграрного підприємства.

5. Соціально-економічна діяльність підприємства, включаючи створення робочих місць, підтримку місцевої громади та модернізацію виробничих потужностей, інтегрується з екологічною політикою, що підвищує ефективність впровадження екологічно безпечних технологій та сприяє сталому розвитку територіальної громади.

Узагальнення результатів дослідження свідчить, що комплексне застосування екологічно орієнтованих технологій та управлінських рішень на ПАФ «Єрчики» забезпечує мінімізацію антропогенного навантаження на довкілля, підвищує соціально-економічну ефективність підприємства та є науково обґрунтованою моделлю сталого агровиробництва.

Список використаної літератури

Амонс С. Е. Стан та перспективи розвитку виробництва органічної продукції в Україні. *Сільське господарство та лісівництво.* 2021. № 3(22). С. 221–236. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-3-18

Амонс С., Красняк О. Екологізація аграрного виробництва як основа формування системи продовольчої безпеки України. *Економіка та суспільство.* 2023. № 47. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-41

Все що потрібно знати про точне землеробство. *GlenDeal.* 2025. [Електронний ресурс]. URL: https://blog.glendeal.com/ua/blog/vse-shho-potribno-znaty-pro-tochne-zemlerobstvo (дата звернення: 06.12.2025).

Гарафонова О., Янковой Р., Худолей В., Піщенко, О. Ресурсний потенціал зелених трансформацій як стратегування бізнесу. *Вісник Хмельницького національного університету.* 2023. № 4. С. 78–85. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-320-4-11

Гобела В.В. *Економіко-безпекова екологізація: теорія і практика : монографія.* 2021. Львів : ЛьвДУВС, 244 с.

Гринь Г. І., Мохонько В. І., Суворін О. В. *Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища.* 2019. Сєвєродонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля. 420 с.

Добрунік Т.П., Кузнєцова О.В. Проблеми і напрямки розвитку аграрного сектору України в умовах економічної нестабільності. *Економіка та суспільство.* 2022. Вип. 42. С. 25–35. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-25

Дребот О.І., Палапа Н.В., Діхтяр І.О. Продовольча безпека – глобальна проблема людства та основні чинники, що впливають на неї. *Агроекологічний журнал.* 2024. № 3. С. 6–17. https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311176

Дунаєвська О.Ф., Сокульський І.М., Мельник Н.В., Піціль А.О. Екологічні проблеми сільського господарства в умовах воєнного стану. *Екологічні науки.* 2024. № 1(52), Том 1. С. 22–27. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.3

Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». 2017. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/psdbig (дата звернення 24.12.2025).

ISO 14001:2015, IDT. (2016). *Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування.* Київ ДП «УкрНДНЦ». [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/yxpivx (дата звернення 24.12.2025).

Коваленко Т. Виробництво органічної продукції та сировини тваринного походження: правила і норми: інформаційно-аналітична газета «Агробізнес сьогодні». 2016. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/iyniqw (дата звернення 24.12.2025).

Кулініч Т.В. Вплив екологізації виробництвана сталий розвиток підприємств. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка.* 2025. Вип. 23. С. 196–202. https://doi.org/10.32782/2708-0366/2025.23.23

Левченко І.В., Буряк А.А. Державна підтримка розвитку АПК для забезпечення екологічної безпеки й подолання екозагроз: світовий досвід та реалії України. *Агросвіт.* 2023. № 18. С. 96–105. http://doi.org/10.32702/2306-6792.2023.18.96

Мокієнко А. В., Ковальчук Л. Й., Крісілов А. Д. Якість води поверхневих водойм як фактор ризику для здоров'я населення: математична модель. *Вісник Національної академії наук України.* 2017. № 10, 42–52. https://doi.org/10.15407/visn2017.10.042

Наказ Міністерство охорони здоров'я України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених». № 452/17747 від 14.01.2020 № 156/34439. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text (дата звернення 24.12.2025).

Наказ Міністерство охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». № 452/17747 від 12.05.2010 № 400. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (дата звернення 24.12.2025).

Проєкт Плану відновлення України : Матеріали робочої групи «Нова аграрна політика» Національної Ради з відновлення України від наслідків війни. 2022. [Електронний ресурс]. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/new-agrarian-policy.pdf (дата звернення: 24.12.2025).

Савенко М. В., Кривцова М. В., Федурця О. І. Вплив антропогенного навантаження на структуру мікробіоценозу річки Уж (Україна). *Екологічні науки.* 2021. № 4(37). С. 52–59. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.7

СвітельськийМ.М.,БордюгН.С.,ДунаєвськаО.Ф.,АлпатоваО.М.,СокульськийІ.М.Комплексна оцінка продуктивності та фармакопейних показників кореневої маси Valeriana Officinalis L. при різних дозах мінеральних добрив в умовах Полісся України. *Український журнал природничих наук.* 2025. No 14. С. 81–90. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.8

Солоп А. Аграрний сектор україни: сучасні виклики та можливості. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка.* 2024. № 20. С. 147–158. https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.20.17

Шарко І.О. Роль та тенденції розвитку сільськогосподарської галузі України. *Приазовський економічний вісник.* 2020. Випуск 1(18). С. 64–69. https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-1-11

Шевченко О.А. Екологічна та продовольча безпека як складові забезпечення економічної безпеки України у стратегічному форматі. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Право.* 2022. Вип. 68. С. 110–117. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.68.18

AEM. *The Environmental Benefits of Precision Agriculture Quantified.* (2021). URL: https://surl.lt/jamghg (дата звернення: 06.12.2025).

Anadon L.D., Chan G., Harley A.G., Matus K., Moon S., Murthy S.L., Clark W.C. Making technological innovation work for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2016. Vol. 113(35). P. 9682–9690. https://doi.org/10.1073/pnas.1525004113

Beer P., Mulde, R.H. The Effects of Technological Developments on Work and Their Implications for Continuous Vocational Education and Training: A Systematic Review. *Frontiers in psychology.* 2020. Vol. 11. P. 918. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00918

Dunaievska O.F., Sokulskyi I.M., Gutyj B.V., Radzyhovskyi M.L. Analysis of environmental monitoring of atmospheric air in Zhytomyr region. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences.* 2025. Vol. 27(103). P. 223–230. https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10326

Dyudyayeva O.A., Rutta O.V. Ecologisation of the food industry through the introduction of vermiculture technology in agriculture. Environmental Sciences. 2024. № 2(53). P. 22–28. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.3

Gillard R., Gouldson A., Paavola J., James Alstine, Van D J. Transformational responses to climate change: Beyond a systems perspective of social change in mitigation and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change*. 2016. Vol. 7(2). P. 251–265. https://doi.org/10.1002/wcc.384

Grytsenko S.I., Savchenko L.V., Kryshtal S. Conceptual principles of the “green” technologies introduction in the logistics activities of Ukrainian companies in the context of the implementation of European environmental programs. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management.* 2022. №13. P.15–26. https://doi.org/10.46783/smart-scm/2022-13-2

Hobela V.V. Logistics as a supply tool for ecological and economic security of the state. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management.* 2020. №3. P. 29–37. https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-3-3

Hryhorak M.Yu., Trushkina N.V. Development of the logistics system of the economic region “Polissya” in the context of the green economy: ecological problems and perspectives. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management.* 2020. № 4. P. 27–40. https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-4-3

Huang W., Manevska-Tasevska G., Hansson H. Does ecologization matter for technical efficiency in crop production. A case of Swedish agriculture. *Land Use Policy*. 2024. Vol. 138, 107068. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107068

Paz D.B., Henderson K., Loreau M. Agricultural land use and the sustainability of social-ecological systems. *Ecological modelling.* 2020. № 437. P. 109312. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109312

Steinfeld H., Gerber P. Livestock production and the global environment: consume less or produce better. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 2010. Vol. 107(43). P. 18237–18238. https://doi.org/10.1073/pnas.1012541107

Zhang G., Qiu Y., Boireau P., Zhang Y., Ma X., Jiang H., Xin T., Zhang M., Tadesse Z., Wani N. A., Song J., Ding J. *Modern agriculture and One Health. Infectious diseases of poverty.* 2024. Vol. 13(1), 74. https://doi.org/10.1186/s40249-024-01240-1

University of Wisconsin-Madison. Dairy Ventilation Energy Needs Grow as Seasonal Temperatures Shift. 2024. [Електронний ресурс]. URL: https://dairy.extension.wisc.edu/articles/dairy-ventilation-energy-needs-grow-as-seasonal-temperatures-shift (дата звернення: 06.12.2025).

References

Amons, S. (2021). Stan ta perspektyvy rozvytku vyrobnytstva orhanichnoyi produktsiyi v Ukrayini [State and prospects of development of organic production in Ukraine] *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo [Agriculture and forestry]*, 3(22), 221–236. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-3-18 [in Ukrainian].

Amons, S., & Krasnyak, O. (2023). Ekolohizatsiya ahrarnoho vyrobnytstva yak osnova formuvannya systemy prodovolchoyi bezpeky Ukrayiny [Ecologization of agricultural production as the basis of the formation of the food security system of Ukraine] *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and Society],* 47. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-41 [in Ukrainian].

Vse shcho potribno znaty pro tochne zemlerobstvo. (2025). [Everything you need to know about precision farming]. *GlenDeal.* [Electronic resource] URL: https://blog.glendeal.com/ua/blog/vse-shho-potribno-znaty-pro-tochne-zemlerobstvo (access date 06.12.2025) [in Ukrainian].

Garafonova, O., Yankovoy, R., Khudoley, V., & Pishchenko, O. (2023) Resursnyy potentsial zelenykh transformatsiy kak strategii biznesa [Resource potential of green transformations as a business strategy] *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu [Visnyk Khmelnitskogo natsionalnogo universitetu],* 4, 78–85. https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-320-4-11 [in Ukrainian].

Gobela, V. (2021). Ekonomiko-bezpekova ekolohizatsiia: teoriia ta praktyka [Economic and security greening: theory and practice] *Lviv : LvDUVS [Lviv : LvDUVS]* [in Ukrainian].

Dobrunik, T., & Kuznietsova, O. (2022). Problemy i napryamky rozvytku ahrarnoho sektoru Ukrayiny v umovakh ekonomichnoyi nestabilnosti [Problems and directions of the development of the agricultural sector of Ukraine in conditions of economic instability] *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and Society],* 42, 25–35. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-25 [in Ukrainian].

Drebot, O., Palapa, N., & Dikhtyar, I. (2024). Prodovolcha bezpeka – hlobalna problema lyudstva ta osnovni chynnyky, shcho vplyvayut na neyi [Food security is a global problem of humanity and the main factors influencing it] *Ahroekolohichnyi zhurnal [Agroecological journal],* 3, 6–17. https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311176 [in Ukrainian].

Dunaievska, O., Sokulskyi, I., Melnyk, N., & Pitsil, A. (2024). Ekolohichni problemy silskoho hospodarstva v umovakh voiennoho stanu [Environmental problems of agriculture under martial law] *Ekolohichni nauky [Environmental sciences]*, 1(52), 22–27. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.3 [in Ukrainian].

Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2035 roku «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist» [Energy Strategy of Ukraine for the Period Until 2035 “Security, Energy Efficiency, Competitiveness”]. (2017). [Electronic resource] URL: https://surl.li/psdbig (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

ISO 14001:2015, IDT. (2016). Systemy ekolohichnoho upravlinnya [Environmental management systems] *Systemy ekolohichnoho upravlinnia. Vymohy ta nastanovy shchodo zastosovuvannia [Requirements and guidelines for application].* [Electronic resource] URL: https://surl.li/yxpivx (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

Kovalenko, T. (2016). Vyrobnytstvo orhanichnoyi produktsiyi ta syrovyny tvarynnoho pokhodzhennya: pravyla i normy: informatsiyno-analitychna hazeta «Ahrobiznes siohodni» [Production of organic products and raw materials of animal origin: rules and norms: information and analytical newspaper “Agribusiness Today”]. [Electronic resource] URL: https://surl.li/iyniqw (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

Kulinich, T. (2025). Vplyv ekolohiyi vyrobnytstva stalyy rozvytok pidpryyemstv [The impact of production ecologization on sustainable development of enterprises] *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Ekonomika [Taurida Scientific Herald. Series: Economics]*, (23), 196–202. https://doi.org/10.32782/2708-0366/2025.23.23 [in Ukrainian].

Levchenko, I., & Buriak, A. (2023). Derzhavna pidtrymka rozvytku APK dlya zabezpechennya ekolohichnoyi bezpeky y podolannya ekozahroz: svitovyy dosvid ta realiyi Ukrayiny [Government support for the aic development to ensure ecological safety and overcome eco-threats: global experience and realities of Ukraine] *Ahrosvit [Agricultural world],* 18, 96–105. http://doi.org/10.32702/2306-6792.2023.18.96 [in Ukrainian].

Grin, G., Mokhonko, V., Suvorin, O., Kuznetsov, P., Grin, S., Ozheredova, M., Koshovets, M., Zubtsov, E., Ponomarev, V., Kravchenko, I., & Azarov, M. (2019). Metody vymiryuvannya parametriv navkolyshn′oho seredovyshcha [Methods of measuring environmental parameters]. *Sievierodonetsk : vyd-vo SNU im. V. Dalia [Severodonetsk: Publishing house of the V. Dahl State University of Science and Technology],* 420. [in Ukrainian].

Mokienko, A., Kovalchuk, L., & Krissilov, A. (2017). Yakist vody poverkhnevykh vodoim yak faktor ryzyku dlia zdorovia naselennia: matematychna model [Quality of water of surface water bodies as a risk factor for public health: mathematical model] *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy [Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 10 (2017), 42–52. https://doi.org/10.15407/visn2017.10.042 [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva okhorony zdorovya Ukrayiny «Pro zatverdzhennya hihiyenichnykh rehlamentiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rechovyn v atmosfernomu povitri naselenykh punktiv». № 452/17747 vid 14.01.2020 № 156/34439 [Order of the Ministry of Health of Ukraine "On approval of hygienic regulations for the permissible content of chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas". No. 452/17747 dated January 14, 2020, No. 156/34439]. (2020). [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva okhorony zdorovya Ukrayiny. (2010). «Pro zatverdzhennya Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl Hihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoyi dlya spozhyvannya lyudey». № 452/17747 vid 12.05.2010 № 400 [Order of the Ministry of Health of Ukraine "On approval of State sanitary norms and rules Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption". No. 452/17747 dated 05.12.2010 No. 400]. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

Proyekt Planu vidnovlennya Ukrayiny : Materialy robochoyi hrupy «Nova ahrarna polityka» Natsionalnoyi Rady z vidnovlennya Ukrayiny vid naslidkiv viyny [Draft Plan for the Recovery of Ukraine: Materials of the Working Group "New Agrarian Policy" of the National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War]. (2022). [Electronic resource] URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/new-agrarian-policy.pdf (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

Savenko, M., Kryvtsova, M., & Fedurca, O. (2021). Vplyv antropohennoho navantazhennya na strukturu mikrobiotsenozu richky Uzh (Ukrayina) [The influence of anthropogenic pressure on the structure of the microbiocenosis of the Uzh River (Ukraine)] *Ekolohichni nauky [Environmental sciences],* 4(37), 52–59. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.4-37.7 [in Ukrainian].

Svitelsky, M., Bordiug, N., Dunaievska, O., Alpatova, O., & Sokulskyi, I. (2025). Kompleksna otsinka produktyvnosti ta farmakopeinykh pokaznykiv korenevoi masy Valeriana officinalis L. pry riznykh dozakh mineralnykh dobryv v umovakh Polissia Ukrainy [Comprehensive assessment of productivity and pharmacopoeial indicators of root mass *Valeriana Officinalis L.* at different doses of mineral fertilizers in the Polissya region of Ukraine] *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences],* 14, 81–90. https://doi.org/10.32782/naturaljournal 14.2025.8 [in Ukrainian].

Solop, A. (2024). Ahrarnyy sektor ukrayiny: suchasni vyklyky ta mozhlyvosti [The agricultural sector of Ukraine: modern challenges and opportunities] *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Ekonomika [Taurida Scientific Herald. Series: Economics],* 20, 147–158. https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.20.17 [in Ukrainian].

Sharko, I. (2020). Rol ta tendentsiyi rozvytku silskohospodarskoyi haluzi Ukrayiny. [The role and trends of the agricultural industry development of Ukraine] *Pryazovskyi ekonomichnyi visnyk [Pryazovskyi economic herald]*, 1(18), 64–69. https://doi.org/10.32840/2522-4263/2020-1-11 [in Ukrainian].

Shevchenko, O. (2022). Ekolohichna ta prodovolcha bezpeka yak skladovi zabezpechennya ekonomichnoyi bezpeky Ukrayiny v stratehichnomu formati [Environmental and food security as components of ensuring the economic security of] *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriia : Pravo [The collection of «Uzhhorod National University Herald. Series: Law],* 68, 110–117. https://doi.org/10.24144/2307-3322.2021.68.18 [in Ukrainian].

AEM. (2021). The Environmental Benefits of Precision Agriculture Quantified. [Electronic resource] URL: https://surl.lt/jamghg (access date 06.12.2025) [in English].

Anadon, L., Chan, G., Harley, A., Matus, K., Moon, S., Murthy, S., & Clark, W. (2016). Making technological innovation work for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 113(35), 9682–9690. https://doi.org/10.1073/pnas.1525004113 [in English].

Beer, P., & Mulder, R. (2020). The Effects of Technological Developments on Work and Their Implications for Continuous Vocational Education and Training: A Systematic Review. *Frontiers in psychology,* 11, 918. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00918 [in English].

Dunaievska, O., Sokulskyi, I., Gutyj, B., & Radzyhovskyi M. (2025). Analysis of environmental monitoring of atmospheric air in Zhytomyr region. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences,* 27(103), 223–230. https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10326 [in English].

Dyudyayeva, O., & Rutta, O. (2024). Ecologisation of the food industry through the introduction of vermiculture technology in agriculture. *Environmental Sciences,* 2(53), 22–28. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.3 [in English].

Gillard, R., Gouldson, A., Paavola, J., Alstine J., & Van, D. (2016) Transformational responses to climate change: Beyond a systems perspective of social change in mitigation and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Climate Change,* 7(2), 251–265. https://doi.org/10.1002/wcc.384 [in English].

Grytsenko, S., Savchenko, L., & Kryshtal, S. (2022). Conceptual principles of the "green" technologies introduction in the logistics activities of Ukrainian companies in the context of the implementation of European environmental programs. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management,* 13, 15–26. https://doi.org/10.46783/smart-scm/2022-13-2 [in English].

Hobela, V. (2020). Logistics as a supply tool for ecological and economic security of the state. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management,* 3, 29–37. https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-3-3 [in English].

Hryhorak, M., & Trushkina, N. (2020). Development of the logistics system of the economic region "Polissya" in the context of the green economy: ecological problems and perspectives. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, 4, 27–40. https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-4-3 [in English].

Huang, W, Manevska-Tasevska, G, & Hansson, H. (2024). Does ecologization matter for technical efficiency in crop production? A case of Swedish agriculture. *Land Use Policy,* 4. 138, 107068. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107068 [in English].

Paz, D., Henderson, K., & Loreau, M. (2020). Agricultural land use and the sustainability of social-ecological systems. *Ecological modelling*, 437, 109312. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109312 [in English].

Steinfeld, H., & Gerber, P. (2010). Livestock production and the global environment: consume less or produce better. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 107 (43), 18237–18238. https://doi.org/10.1073/pnas.1012541107 [in English].

Zhang, G., Qiu, Y., Boireau, P., Zhang, Y., Ma, X., Jiang, H., Xin, T., Zhang, M., Tadesse, Z., Wani, N. A., Song, J., & Ding, J. (2024). *Modern agriculture and One Health. Infectious diseases of poverty*, 13 (1), 74. https://doi.org/10.1186/s40249-024-01240-1 [in English].

University of Wisconsin-Madison. (2024). Dairy Ventilation Energy Needs Grow as Seasonal Temperatures Shift. [Electronic resource] URL: https://dairy.extension.wisc.edu/articles/dairy-ventilation-energy-needs-grow-as-seasonal-temperatures-shift (access date 06.12.2025) [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 502/504, 630.1
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.24

ПЕРСПЕКТИВИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЦІННИХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ШЛЯХОМ РОЗШИРЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА «ГОРГАНИ»

В. В. Клід[1], Я. В. Петращук[2], М. С. Чорній[3], М. Р. Лазоришин[4]

У статті розглянуто результати дослідження щодо проєктованого розширення території природного заповідника «Горгани». Загальна площа території розширення становить 5 308 га. Територія розташована в межах Надвірнянського та Калуського районів Івано-Франківської області.
Мета дослідження – проаналізувати перспективи збереження цінних лісових екосистем Горган в результаті проєктованого розширення його території. В якості території розширення запропоновано 3 кластери: Бистрицький, Сивулянський і Грофецький.
Переважаючим типом рослинності на території розширення є лісовий, який займає близько 90 % площі. Кам'яні розсипи, поширені переважно у верхніх частинах схилів і на гребенях хребтів, займають близько 8 % території заповідника. На угруповання лучного типу припадає біля 1 %, а на річки та потоки – 0,2 % території розширення. Серед лісів переважають фітоценози формації Piceeta abietis, які займають близько 80% вкритої лісовою рослинністю площі, решта – зайнята фітоценозами формацій Fageta sylvaticae, Abieta albae, Pineta sylvestris, Pineta cembrae, Pineta mugi. Специфічні едафічні умови розташування території розширення сприяли збереженню осередків реліктових угруповань із сосен кедрової європейської (Pinus cembra L.) і гірської (Pinus mugo Turra) та сосни звичайної реліктової (Pinus sylvestris L.).
Збільшення площі природного заповідника «Горгани» за рахунок території розширення дасть можливість зберегти типові та унікальні лісові природні комплекси. Значимість збереження лісових екосистем як домінуючих пов'язана зі збереженням рідкісних ендемічних асоціацій, зокрема Sorbo

[1] кандидат біологічних наук,
завідувач кафедри лісового та аграрного менеджменту
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
e-mail: viktor.klid@pnu.edu.ua
ORCID: 0009-0007-8310-433X
[2] директор
(Природний заповідник «Горгани», м. Надвірна Івано-Франківської області)
e-mail: yaroslav.petrashchuk@pnu.edu.ua
ORCID: 0009-0002-4556-7273
[3] директор
(Науково-екологічний центр «Зелений квадрат», м. Івано-Франківськ)
e-mail: info@green-square.com.ua
ORCID: 0009-0004-1526-9480
[4] методист факультету природничих наук
(Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ)
e-mail: mariia.lazoryshyn.23@pnu.edu.ua
ORCID: 0009-0009-3496-7723

aucupariae-Aceretum pseudoplatani із союзу Tilio platyphyllis-Acerion pseudoplatani, формації Pineta cembrae, занесеної до Зеленої книги лісів України, а також із високим ступенем збереженості характерних для Горган асоціацій.
Цінність проєктованої території розширення полягає у наявності ділянок пралісів, квазівпралісів і природних лісів (мають статус пралісових пам'яток природи) та інших цінних природоохоронних об'єктів.
Встановлено, що включення об'єктів природно-заповідного фонду та пралісових пам'яток природи, які розміщені в межах кластерів території розширення до складу природного заповідника «Горгани», дозволить ефективніше зберігати природні комплекси через надання їм вищого природоохоронного статусу в межах неперервних кластерів.

Ключові слова: *природний заповідник, екомережа, Горгани, праліси, пралісові пам'ятки природи.*

PROSPECTS OF PRESERVING VALUABLE FOREST ECOSYSTEMS THROUGH EXPANDING THE TERRITORY OF THE «GORGAN» NATURE RESERVE.

V. V. Klid, Ya. V. Petrashchuk, M. S. Chorniy, M. R. Lazoryshyn

The article discusses the results of a study of the planned expansion of the territory of the "Gorgany" nature reserve. The total area of the expansion territory is 5308 hectares. It is located within the Nadvirnya and Kalush districts of the Ivano-Frankivsk region.
The purpose of the study is to analyze the prospects for preserving valuable forest ecosystems of Gorgany as a result of the planned expansion of its territory. 3 clusters are proposed as the expansion territory: Bystrytsky, Syvulyansky and Grofetsky.
The predominant type of vegetation in the expansion territory is forest, which occupies about 90% of the area. Stone placers, distributed mainly in the upper parts of the slopes and on the ridge crests, occupy about 8% of the reserve territory. Meadow-type groups account for about 1%, and rivers and streams – 0.2% of the expansion territory. Among the forests, phytocenoses of the Piceeta abietis formation prevail, which occupy about 80% of the area covered by forest vegetation, the rest is occupied by phytocenoses of the Fageta sylvaticae, Abieta albae, Pineta sylvestris, Pineta cembrae, Pineta mugi formations. The specific edaphic conditions of the expansion territory contributed to the preservation of foci of relict groups of European cedar pine (Pinus cembra L.) and mountain pine (Pinus mugo Turra) and relict Scots pine (Pinus sylvestris L.).
Increasing the area of the Gorgany nature reserve due to the expansion territory will make it possible to preserve typical and unique forest natural complexes. The importance of preserving forest ecosystems as dominant ones is associated with the preservation of rare endemic associations, an example of which is Sorbo aucupariae-Aceretum pseudoplatani from the Tilio platyphyllis-Acerion pseudoplatani alliance, the Pineta cembrae formation, listed in the Green Book of Forests of Ukraine, as well as with a high degree of preservation of associations characteristic of Gorgany.
The value of the projected expansion territory lies in the presence of areas of virgin forests, quasi-virgin forests and natural forests (having the status of virgin forest natural monuments) and other valuable nature conservation objects.
It has been established that the inclusion of objects of the nature reserve fund and virgin forest natural monuments located within the clusters of the expansion territory into the «Gorgany» nature reserve will allow for more effective preservation of natural complexes by granting them a higher nature conservation status within continuous clusters.

Key words: *nature reserve, eco-network, Gorgany, virgin forests, virgin forest natural monuments.*

Вступ

Природний заповідник «Горгани» становить ключову територію екологічної мережі Івано-Франківської області (Клід і Петращук, 2023). У його лісовій рослинності, складі деревних порід і будові лісових масивів сьогодні не помітно жодних слідів людського втручання. В широкому розумінні такі ліси можна розглядати як праліси, оскільки тут чи не найкраще зберігся неоціненний генофонд бука лісового (*Fagus sylvatica*) та низки інших видів з його ареалу (Шпарик, 2013).

Букові праліси Карпат є винятковим прикладом широколистяних лісів, які майже не зазнали впливу людської діяльності та є надзвичайно важливим джерелом історії розвитку європейських лісових екосистем. Вони є надзвичайно важливими для розуміння повної картини історії та еволюції роду бука, який завдяки своїй поширеності у північній півкулі є глобально важливим.

Вони також є винятковим прикладом широколистяних лісів, які майже не зазнали впливу людської діяльності та є надзвичайно важливим джерелом історії розвитку європейських лісових екосистем.

Букові праліси природного заповідника «Горгани» (заповідна зона – 753,48 га) внесено до об'єкту природної спадщини ЮНЕСКО «Букові пралісиі давні ліси Карпат та інших регіонів Європи», який охоплює території 12 європейських країн (Гамор, 2023). Завдяки включенню букових пралісів Карпат до переліку об'єктів всесвітньої спадщини ЮНЕСКО з'явився надзвичайний європейський інтерес до вивчення та збереження букових пралісів і поглиблення міжнародної екологічної співпраці (Парпан, 2014).

Вивченню пралісів Карпат, зокрема Горган, присвячені праці багатьох дослідників, зокрема В.І. Парпана (Парпан та ін., 2014), П. Р. Третяка (Третяк та ін., 2007), Ф. Д. Гамора (Гамор, 2023), В. В. Лавного (Лавний та ін., 2021), Ю. С. Шпарика (Шпарик, 2013), А. Д. Смалійчука (Природні…, 2018; Смалійчук, 2019), Б. Г. Проця (Горгани, 2010), М. В. Чернявського (Чернявський, 1999), та інших дослідників (Сабадир, 2014).

Матеріал і методи

Територія, що пропонується для розширення природного заповідника «Горгани» (далі – проєктована територія розширення), має складну просторову структуру і географічно диференційована на три окремі кластери (рис. 1), кожен з яких має стратегічне значення для збереження цілісності екомережі регіону:

1. Бистрицький кластер (площа 847 га). Об'єкт розташований у північно-західній частині Поляницької територіальної громади (Надвірнянський район) на землях Бистрицького лісництва філії «Надвірнянське лісове господарство» ДП «Ліси України». Кластер локалізований на північно-західній околиці села Бистриця: південно-західна межа кластера збігається з адміністративним кордоном Івано-Франківської (Надвірнянський район) та Закарпатської (Тячівський район, Усть-Чорнянська ТГ) областей.

2. Сивулянський кластер (площа 2 165 га). Даний масив інтегрований до південно-західної частини Калуського району (Перегінська ТГ) і охоплює частину лісових угідь Бистрицького та Дарівськоголісництв філії «Осмолодське лісове господарство». Територія має високу созологічну цінність завдяки безпосередньому сусідству (на півночі) з національним природним парком «Синьогора». Південний край кластера також виходить на межу із Закарпатською областю. Транспортна доступність та моніторингова близькість забезпечується селами Осмолода, Стара Гута та Бистриця.

3. Грофецький кластер (площа 2 296 га). Найбільший за площею масив, що охоплює басейни п'яти лісництв філії «Осмолодське лісове господарство»: Довго-Полянського, Менчильського, Осмолодського, Піскавського та Різарнянського. Кластер простягається до адміністративної межі з Тячівським районом Закарпаття. Основним логістичним та науковим осередком для цієї території є село Осмолода.

Згідно з ієрархічною системою фізико-географічного районування України, проєктовані території належать до Зовнішньокарпатської фізико-географічної та геоморфологічної області (Гнатюк і Брусак, 2014). У геоботанічному аспекті ділянки розширення локалізовані в межах Горганського району смерекових лісів у поєднанні з літогенними формами рельєфу (кам'яними розсипами або греготами) та субальпійськими угрупованнями гірської сосни. Цей район є складовою частиною Гірсько-карпатського (Вишківсько-Гринявського) округу, що характеризується специфічними кліматичними та едафічними умовами, які сприяють збереженню пралісових структур (Горгани, 2010).

Польові дослідження проводилися протягом 2020–2024 рр. у межах масиву Центральні Ґорґани (Українські Карпати). Основними полігонами для збору матеріалу слугували території природного заповідника «Горгани» та три проєктовані кластери його розширення: Бистрицький, Сивулянський та Грофецький. Досліджувана територія охоплює гіпсометричний діапазон від 1000 до 1600 м н.р.м., що відповідає поясу високогірних смерекових лісів та субальпійському криволіссю.

Вивчення структури рослинного покриву базувалося на принципах еколого-фітоценотичної класифікації. Для детальної характеристики фітоценозів використовувався експедиційно-маршрутний метод у поєднанні з детальним описом на тимчасових пробних площах. Геоботанічні описи виконувалися згідно з загальноприйнятими методиками: визначався флористичний склад, проєктивне покриття живого надґрунтового покриву, структура та зімкнутість ярусів. Особлива увага приділялася ідентифіка-

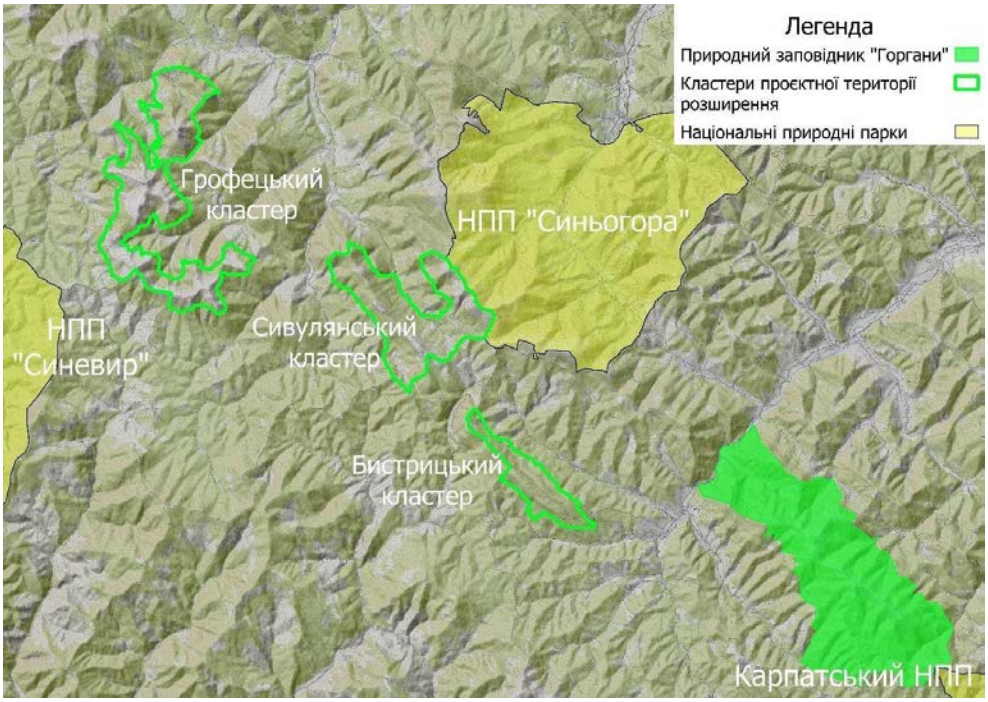


Рис. 1. Кластери розширення території природного заповідника «Горгани»
Джерело: сформовано автором.

ції реліктових компонентів, зокрема сосни кедрової європейської (*Pinus cembra* L.) та сосни гірської (*Pinus mugo*), а також аналізу їхньої життєвості в умовах екстремальних едафотопів – кам'янистих розсипів (греготів).

Результати

Фітоценотична структура території розширення ідентична корінній рослинності природного заповідника «Горгани». Основу рослинного покриву складають високогірні ялинові ліси, які за своєю морфологічною будовою та віковою динамікою ідентифікуються як ліси пралісового характеру. Окрім монодомінантних масивів, поширені полі домінантні буково-ялицево-ялинові деревостани, субальпійські угруповання сосни гірської (*Pinus mugo*), а також специфічні смеречники з участю сосни кедрової європейської (*Pinus cembra* L.).

Важливою складовою ландшафту є екзогенні форми рельєфу – кам'янисті розсипи (греготи), що створюють особливі едафічні умови для зростання реліктових видів. Майже 40% лісового фондупроєктованої території представлено чистими гірськими смеречниками, у складі яких подекуди трапляється реліктова сосна кедрова європейська, що має статус плейстоценового релікта.

Фітоценотичний склад досліджуваних територій є репрезентативним для масиву Ґорґан. Ключовим елементом рослинного покриву є монодомінантні смеречники (*Picea abies* L.), що формують неперервний вертикальний пояс у гіпсометричному діапазоні від 1000–1200 до 1500–1600 м н.р.м. (Миркіна та ін., 2012).

Оптимальні умови для функціонування цих екосистем зосереджені на висотах 1000–1200 м н.р.м., де на добре дренованих слабощебенистих ґрунтах формуються високопродуктивні деревостани. Середні таксаційні показники таких насаджень характеризуються наступними параметрами: висота – 19 м; діаметр – 25 см; вік – 115–120 років; зімкнутість крон – 0,8–0,9.

Обговорення

Із підвищенням висоти над рівнем моря спостерігається закономірна трансформація структури лісостанів: повнота насаджень редукується до 0,5–0,6. Важливою ознакою стабільності та відновлювального потенціалу цих лісів є наявність під наметом значної частки підросту (10–50%), у складі якого домінують ялиця біла (*Abies alba*), бук лісовий (*Fagussylvatica*), горобина звичайна (*Sorbus aucuparia*) та клен-явір (*Acer pseudoplatanus*). Це свідчить про активні процеси природної регенерації та

високу біотичну стійкість корінних смерекових масивів.

Ялинові лісові масиви складають домінантну частину рослинного покриву в межах Грофецького та Сивулянського кластерів проєктованої території. Вертикальна структура цих насаджень відзначається чіткою ярусністю:

перший ярус: домінує ялина європейська (*Piceaabies* L.), яка характеризується високим відновлювальним потенціалом – частка її підросту сягає 10 %.

другий ярус: представлений ялицею білою (*Abies alba* Mill.) та буком лісовим (*Fagus sylvatica* L.), хоча їхня участь у складі деревостану є менш інтенсивною.

підлісок: відзначається вищим ступенем розвитку порівняно з чистими смеречниками, що свідчить про складнішу ценотичну структуру.

Живий надґрунтовий покрив цих угруповань характеризується оліготрофністю та специфічністю: він представлений обмеженим флористичним складом ацидофільних видів, що є діагностичною ознакою корінних хвойних екосистем Горган. Така стабільність видового складу наземного ярусу підтверджує природний характер лісів та відсутність значного антропогенного впливу на режим зволоження та освітленості під наметом лісу.

Унікальні едафічні характеристики проєктованої території розширення стали вирішальним фактором збереження локалітетів реліктових угруповань сосни кедрової європейської (*Pinus cembra* L.), сосни гірської (*Pinus mugo* Turra) та реліктової форми сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). Ці ценози просторово приурочені до кам'янистих розсипів у місцях оголення ямненських та вигодських пісковиків, які створюють специфічні літогенні умови.

Згадані лісові формації мали широке розповсюдження в Карпатах протягом кріогенних фаз плейстоцену та в ранньо післяльодовиковий період (ранній голоцен). Трансформація кліматичних умов у середньому голоцені в бік потепління та гумідизації призвела до суттєвої зміни структури рослинного покриву. У цей період *Pinussylvestris* та *Pinuscembra* зазнали поступової елімінації з оптимальних едафотопів, будучи витісненими конкурентто-спроможними теплолюбними видами – ялиною європейською (*Picea abies* (L.) Karst) та буком лісовим (*Fagus sylvatica* L.).

На сучасному етапі ці реліктові види локалізовані виключно у високогірних екотопах, що характеризуються суворим гідрокліматичним режимом та примітивними скелетними ґрунтами. Такі території слугують природними рефугіумами, де завдяки низькій конкуренції з боку клімаксових порід зберігається унікальний генофонд ранньоголоценової флори.

Наукова цінність лісових угруповань за участю сосни кедрової європейської та сосни звичайної (реліктової форми) зумовлена їхнім сучасним фрагментарним поширенням. Ці види втратили суцільний ареал і наразі представлені лише як домішка у складі високогірних смерекових деревостанів на оліготрофних скелетних ґрунтах. На межі з кам'яними розсипами, що широко представлені на території розширення як літогенні релікти льодовикової епохи, ці сосни зрідка формують локальні вузькосмугові ценози з високим ступенем домінування.

У таких екстремальних умовах *Pinus cembra*, *Pinus sylvestris* та *Pinus mugo* виконують критично важливі екологічні та природоохоронні функції:

1) вони першими колонізують кам'янисті розсипи (греготи), ініціюючи процеси первинної сукцесії;

2) завдяки накопиченню та трансформації органічного опаду ці види сприяють інтенсивному ґрунтоутворенню;

3) стабілізуючи субстрат та створюючи первинний ґрунтовий горизонт, вони формують екологічні передумови для подальшої експансії більш продуктивних ялинових, ялицевих та букових фітоценозів.

Таким чином, реліктові сосни виступають природними меліораторами високогір'я, що забезпечують поступове заліснення кам'янистих ділянок та підтримують динамічну стабільність гірських екосистем.

Букові ліси (Fagetosylvaticae) займають в межах території розширення відносно невеликі площі. Фітоценози цієї формації поширені в нижній смузі лісів на північно-західних і західних схилах. Вони ростуть на опідзолених буроземах, сформованих на малопотужних без карбонатних елювіально-делювіальних відкладах (рис. 2).

В евтрофних едафотопах, приурочених до середніх частин схилів південно-західної експозиції (у вертикальному діапазоні 950–1100 м н.р.м.), локалізовані фітоценози ялицевих лісів формації Abieta albae. Дані угруповання представлені асоціацією Fageto (sylvaticae) – Abietum (albae) dentariosum (glandulosae).

Структура деревного ярусу характеризується домінуванням ялиці білої з незнач-

ною поодинокою участю клена-явора (*Acer pseudoplatanus*) та ялини європейської (*Picea abies*). Наявність у назві асоціації зубянки залозистої (*Dentaria glandulosa*) вказує на високу родючість та достатнє зволоження ґрунтів, що характерно для корінних ялицево-букових лісів Горганів.



Рис. 2. Букові праліси в межах проєктованої території розширення природного заповідника «Горгани»
Джерело: сформовано автором.

Формація ялинових лісів, як зазначено вище, займає в межах території розширення найбільші площі, як і в Ґорґанах загалом (рис. 3). Тут вона представлена субформаціями Piceetum (abietis), Fageto (sylvaticae) – Abieto(albae)–Piceetum(abietis), Abieto(albae)–Piceetum(abietis) та Pineto(cembrae)–Piceetum(abietis). У нижньому та середньому висотних поясах (до 1100 м н.р.м.) на потужних, добре дренованих щебенистих буроземах локалізовані угруповання буково-ялицево-ялинової субформації. Ці фітоценози представлені асоціацією Fageto (sylvaticae) – Abieto (albae) – Piceetum (abietis) rubosum (hirtae).

Висока родючість та оптимальний режим зволоження цих едафотопів сприяють розвитку складного трав'яно-чагарникового ярусу, де діагностичним видом виступає ожина волосиста (*Rubushirtus*). Такі лісові масиви мають важливе значення для підтримання біорізноманіття, оскільки поєднують у собі екологічні ніші трьох основних лісоутворювальних порід Карпат.

У діапазоні висот 900–1350 м н.р.м., переважно на схилах північної та західної експозицій, локалізовані ялицево-ялинові ліси. Формування цих фітоценозів відбувається на торфово-гірськопідзолистих та бурих лісових малопотужних ґрунтах, що відзначаються високим ступенем скелетності. Такі едафічні умови визначають специфіку водного та повітряного режимів, що є оптимальними для співіснування ялиці та ялини в межах зазначеного поясу.



Рис. 3. Ялиновий праліс в межах проєктованої території розширення природного заповідника «Горгани»
Джерело: сформовано автором.

У верхній частині лісового поясу (починаючи з висоти 1075 м н.р.м.) на оліготрофних кам'янистих субстратах, перекритих торф'янистим горизонтом органічного відпаду, формуються ценози субформації Pineto (cembrae) – Piceetum (abietis). На проєктованій території розширення вони представлені асоціацією Pineto (cembrae) – Piceetum (abietis) vaccinioso (myrtilli)-hylocomiosum.

За флористичним складом зазначені фітоценози демонструють високу подібність до відповідних екологічних груп асоціацій чистих смеречників. Головною діагностичною ознакою тут є наявність сосни кедрової європейської (*Pinus cembra*), яка виступає субдомінантом, тоді як нижні яруси (трав'яно-чагарниковий та моховий) залишаються типовими для високогірних шпилькових лісів Горган.

Формація лісів сосни кедрової європейської (Pineta cembrae) відіграє ключову роль у структурі рослинного покриву проєктованої території, охоплюючи значні площі (близько 2000 га). Фітоценотичне різноманіття формації представлене такими асоціаціями: *Piceeto (abietis) – Pinetum (cembrae) sphagnosum*; *Piceeto (abietis) – Pinetum (cembrae) vaccinoso (myrtilli)-hylocomiosum*; *Piceeto (abietis) – Pinetum (cembrae) vaccinoso (myrtilli)-sphagnosum*.

Ці угруповання локалізовані спорадично у високогір'ї в діапазоні висот 1070–1470 м н.р.м. Екотопічна приуроченість формації

визначається переважно західними, а також стрімкими південними, південно-західними та північно-західними експозиціями на примітивних щебенисто-кам'янистих буроземах.

Фітоценози формації *Pineta cembrae* мають надзвичайно високу природоохоронну цінність і занесені до Зеленої книги лісів України (2021). Їхнє наукове значення полягає у формуванні рідкісного типу асоційованості домінантних видів, де головним едифікатором виступає *Pinus cembra* – реліктовий ранньоголоценовий вид. Збереження таких масивів є критично важливим для охорони генофонду хвойних лісів Карпат.

У гіпсометричному поясі вище 1200 м н.р.м**.** домінують переважно чисті ялинові лісостани. Формування цих фітоценозів відбувається на добре дренованих щебенистих та скелястих бурих лісових ґрунтах (мало- та середньопотужних). Завдяки віддаленості та суворим кліматичним умовам високогір'я, ліси цієї субформації зазнали мінімального антропогенного навантаження, що дозволило їм зберегти первинну структуру та природний характер.

Для смерекової субформації характерний одновидовий деревостан із вираженою різновіковістю, що є ознакою стійких клімаксових екосистем. У межах даної групи виокремлюють два основні типи:

1. Вологі монтанні ялинові ліси (Vaccinio-Piceetum): локалізовані на кислих ґрунтах з надлишковим зволоженням та високим рівнем ґрунтових вод. Ці оселища займають обмежені площі на вирівняних або увігнутих елементах рельєфу (депресіях), переважно біля підніжжя схилів або на пологих, слабо дренованих ділянках північних та північно-східних експозицій.

2. Високогірні монодомінантні ялинові ліси на верхній межі лісу: характеризуються специфічною архітектонікою деревостану. Для них властивий порівняно низький ступінь зімкнутості крон (0,5–0,6), що зумовлено суворістю кліматичних факторів та необхідністю витримувати значне снігове навантаження.

Трав'яний покрив, як правило, двоярусний: у першому ярусі домінує чорниця (до 80%), другий сформований сфагновими мохами (рис. 4).

Високогірні монодомінантні ялинові ліси на верхній межі поширення мають бідний флористичним склад ацидофільних видів (рис. 5). Формують верхню межу лісу на схилах різної експозиції, зростаючи в крайніх для існування лісової рослинності умовах. Вони приурочені до щебенистих, скелястих, середньо глибоких оліготрофних бурих лісових та опідзолених ґрунтів, здебільшого до дренованих.



Рис. 4. Вологі монтанні смерекові ліси в межах проєктованої території розширення природного заповідника «Горгани»

Джерело: сформовано автором.



Рис. 5. Високогірні монодомінантні смерекові ліси на верхній межі поширення

Джерело: сформовано автором.

У високогір'ях усіх масивів проєктованої території, вище верхньої межі смерекових лісів, домінують угруповання гірсько-соснового криволісся (формація *Pineta mugi*). Просторова структура цих фітоценозів демонструє чітку експозиційну диференціацію: на схилах південної та південно-західної експозицій *Pinus mugo* локалізується фрагментарно, формуючи невеликі ізольовані куртини, на північних та північно-східних макросхилах вид утворює масивні суцільні зарості, що є характерним для гумідних умов Ґорґан.

У межах субальпійського поясу також фрагментарно представлені угруповання

вільхи зеленої (*Alneta viridis*). Ці фітоценози мають чітку гідрологічну приуроченість і локалізуються переважно вздовж русел високогірних потоків та у вологих лощинах.

Особливу наукову та природоохоронну цінність має збережена природна верхня межа лісу. Вона виконує низку критично важливих екосистемних функцій:

1) стримує процеси деструкції схилів та запобігає розширенню площ рухомих кам'янистих розсипів.

2) виступає потужним біобар'єром проти ерозійних процесів та лавинної активності.

3) забезпечує формування специфічних екотонних угруповань, що значно підвищує загальне біорізноманіття регіону.

Аналіз лісорослинних умов Бистрицького кластера свідчить про домінування мезотрофних та мезоевтрофних фітоценозів із високим рівнем зволоження. Провідним типом лісу на цій території є волога смерекково-ялицева субучина, на частку якої припадає 15,0 % загальної лісовкритої площі. Вагому питому вагу у структурі кластеру займають також наступні типи лісорослинних умов (ТЛУ), представлена частка яких варіює в межах 3,0–9,0 %:

Волога високогірна сусмеречина – характерна для верхніх частин схилів із уповільненим дренажем;

Вологий чисто-смерековий субір – формується на відносно бідних, але стабільно зволожених субстратах;

Волога ялицева су смеречина – репрезентує перехідні умови до басейнових екосистем;

Волога буково-смерекова суяличина – осередок високого біорізноманіття у нижньому гірському поясі.

Узагальнюючи отримані дані, слід констатувати абсолютне домінування вологих гігротопів. Такий гідрологічний режим у поєднанні з літогенною основою Горган створює оптимальні умови для функціонування корінних ялинових та змішаних лісостанів, забезпечуючи їхню високу життєздатність та стабільність відновлювальних процесів.

Фітоценотична структура Грофецького кластеру відзначається наявністю раритетних угруповань, що мають високу созологічну цінність. Зокрема, у межах масиву виявлено та ідентифіковано рідкісну асоціацію Sorboaucupariae-Aceretum pseudoplatani, що належить до союзу *Tilioplatyphyllis-Acerion pseudoplatani*. Дане угруповання має локальне поширення і зафіксоване лише на схилах гори Ґрофа, займаючи обмежену площу. Його присутність свідчить про наявність специфічних мікрокліматичних та едафічних умов, сприятливих для формування старовікових кленово-грабових лісів.

Окрім унікальних осередків, рослинний покрив кластеру репрезентований типовими для Ґорґан асоціаціями, що характеризуються високим рівнем флористичного різноманіття:

Pinocembrae-Piceetum – кедрово-ялинові ліси, що формують верхню межу лісу на скелетних ґрунтах;

Pinetum mugo (carpaticum) – гірськососновe криволісся, що виконує важливу водорегулюючу та протиерозійну роль;

Bazzanio-Piceetum – зеленомошні смеречники з домінуванням печіночника *Bazzaniatrilobata* у підлоговому покриві;

Alnetumincanae – заплавні вільшняки, локалізовані вздовж гірських водотоків;

Lunario-Aceretum pseudoplatanit – кленово-яворові ліси з лунарією оживаючою, що свідчать про високу родючість ґрунтових субстратів.

Наявність такої широкої амплітуди асоціацій у межах одного кластеру підтверджує його високу репрезентативність як ключового об'єкта екомережі Українських Карпат.

Сосна кедрова європейська (*Pinus cembra* L.) ідентифікується як середньоєвропейський плейстоценовий релікт. У межах масиву Ґорґан цей вид формує просторово обмежені угруповання в асоціації з ялиною європейською або виступає як субдомінантна домішка у складі високогірних смеречників. Ключові локалітети цих лісів зосереджені в межах ботанічного заказника «Яйківський», а також на крутосхилах гір Яйко-Перегінське та Ґрофа.

Фітоценози за участю *Pinus cembra* чітко приурочені до верхнього лісового поясу, де вони функціонують на оліготрофних, вологих скелетних ґрунтах. За віковою структурою ці лісостани належать до категорії старовікових, із середнім віковим діапазоном 130–170 років, що свідчить про їхню тривалу еволюційну стабільність.

Унікальність цих лісів визначається специфічними біологічними адаптаціями сосни кедрової: зумовлює формування розрідженого намету лісу.

здатність потужної кореневої системи закріплювати субстрат на екстремально крутих схилах.

Внаслідок такої фітоценотичної структури під наметом кедрово-ялинових лісів

створюється гетерогенне середовище з мозаїчним мікрокліматом. Це сприяє формуванню специфічних екологічних ніш, що забезпечують високе різноманіття та щільність покриву мохоподібних, які виступають важливим компонентом цих реліктових екосистем.

Фітоценози асоціації Pinetum mugo (carpaticum) характеризуються мінімальним флористичним багатством порівняно з лісовими поясами. Домінантну роль у структурі цих угруповань відіграє чагарниковий ярус, тоді як судинні рослини та лишайники представлені фрагментарно і мають низькі показники проєктивного покриття.

Формування цих асоціацій відбувається в екстремальних едафічних умовах на дерново-торф'янистих ґрунтах, які відзначаються незначною потужністю профілю, зумовленою уповільненими процесами ґрунтоутворення у високогір'ї та високою скелетністю (щебенистістю), що визначає специфіку водно-фізичних властивостей субстрату.

Морфологічні параметри криволісся перебувають у прямій залежності від абсолютних висот н.р.м. Із підвищенням висоти спостерігається закономірна редукція лінійних розмірів пагонів, що супроводжується зміною щільності та архітектоніки крони. Ці структурні трансформації є визначальними для формування внутрішньоценотичного середовища, зокрема режиму інсоляції під наметом *Pinus mugo*. Світловий режим, у свою чергу, виступає лімітуючим фактором, що детермінує якісні та кількісні характеристики мохових синузій, визначаючи їх видовий склад та біомасу.

Лісовий покрив Сивулянського та Грофецького кластерів характеризується домінуванням мезотрофних угруповань із високим ступенем зволоження субстрату. Основними типами лісорослинних умов (ТЛУ), що визначають фізіономічність ландшафтів цих територій, є:

Волога ялицева сусмеречина: поширена переважно на схилах середньої крутизни з розвиненим ґрунтовим профілем;

Вологий чисто-смерековий субір: домінує у вищому поясі, де едафічні умови стають більш суворими.

Особливу увагу в межах зазначених кластерів заслуговує наявність вологого кедрово-смерекового субору. Цей тип лісу є надзвичайно рідкісним і має виняткову лісівничо-екологічну цінність. Його поширення свідчить про збереженість унікальних старовікових екосистем, де сосна кедрова європейська виступає не просто як домішка, а як повноцінний співедифікатор угруповання.

Наявність таких осередків у межах Сивулянського та Грофецького кластерів підсилює статус цих територій як ключових резерватів реліктової флори раннього голоцену. Стабільність цих екосистем забезпечується специфічним гідрологічним режимом (вологими гігротопами) та мінімальним рівнем антропогенної трансформації, що дозволяє рекомендувати їх як еталонні ділянки для подальшого моніторингу високогірних лісів Карпат.

На сьогодні загальна площа оселищ цього виду в межах природного заповідника «Горгани» становить 539 га. Включення проєктованих територій розширення (близько 500 га) дозволить консолідувати єдиний охоронний масив площею понад 1 000 га.

Важливою характеристикою цих лісів є їхня заповідна цінність: 380,5 га вже мають статус пралісових пам'яток природи. Реалізація проєкту розширення дозволить взяти під режим суворої охорони близько 25% усіх існуючих місцезростань сосни кедрової в українських Карпатах. Ключові чинники стратегічного значення розширення:

1. Консервація генофонду: забезпечення цілісності найбільшого в Україні популяційного ядра *Pinus cembra*.

2. Статус пралісів: збереження унікальних старовікових екосистем, що розвиваються без антропогенного втручання протягом століть.

3. Репрезентативність: охоплення типових для Горґан кам'янистих едафотопів, які є критичними для виживання цього реліктового виду.

За своїм фітоценотичним значенням у рослинному покриві території розширення сосна кедрова європейська належить до групи субдомінантних і субедифікаторних видів панівної синузії смерекових лісів. Як домінант вона трапляється рідко. Загалом в Горганах сумарна площа зростання сосни кедрової європейської становить 4159,9 га. Більшість деревостанів старшого віку (130–170 років).

Основний масив популяції сосни кедрової європейської зосереджений у межах філії «Осмолодське лісове господарство» ДП «Ліси України». Станом на початок XXI століття ці насадження охоплювали площу 3 788 га, що становить 91,1 % від

загального ареалу виду в регіоні. Значна частина цього цінного фонду територіально входить до Грофецького кластеру проєктованого розширення.

Масиви змішаних смереково-кедрових лісів сконцентровані у верхів'ях басейну р. Лімниця, охоплюючи схили гірських вершин: Попадя, Яйко-Перегінське, Ґрофа, Овіл, Ялова та Клева.

Загалом ідентифіковано близько 400 таксаційних виділів смерекових лісів із участю *Pinus cembra*. Їхнє формування та сталий розвиток зумовлені розташуванням у помірно холодній та холодній кліматичних зонах високогір'я, що є екологічним оптимумом для цього реліктового виду.

Розподіл площ за адміністративно-територіальними одиницями лісового господарства є нерівномірним:

Мшанське лісництво: зосереджує 22 % площ (найвищий показник);

Бистрицьке лісництво: охоплює 12 % площ;

Інші лісництва: характеризуються значно меншою представленістю виду.

Значно менші площі в інших лісництвах. Переважна більшість деревостанів, 2 225 га, містять у своєму складі невелику домішку дерев сосни кедрової європейської. Деревостани, у складі яких коефіцієнт участі сосни кедрової становить одиницю, представлені на площі 841 га. Унікально цінними є деревостани, у яких сосна кедрова представлена двома і більше одиницями.

Популяція сосни кедрової поширена в місцевих лісах у межах висоти 800–1600 м н.р.м. Більшість таких лісів ялинові (*Picea abies* (L.) Karst.) з домішкою берези повислої (*Betula pendula* Roth) таклена-явора (*Acer pseudoplatanus* L.). Вони ростуть у межах 1000–1500 м н.р.м.

Просторова диференціація деревостанів за участю сосни кедрової європейської чітко корелює з експозицією схилів та їхньою стрімкістю, що зумовлено високою фотофільністю (світлолюбністю) виду та специфікою його кореневої системи. Найбільша концентрація популяції зафіксована на південно-західних схилах із крутизною 26–35°. Дещо менша представленість характерна для південних та західних експозицій (16–35°).

Унікальною особливістю є здатність виду освоювати екстремальні локалітети: понад 15 % площі оселищ припадає на крутосхили з ухилом 36–45°. Мінімальна присутність кедра на північних схилах пояснюється дефіцитом інсоляції. Місцезростання діагностуються як оліго-мезотрофні едафотопи, приурочені до примітивних щебенистих буроземів на безвапнякових кам'янистих розсипах. За типом зволоження та родючості вони розподіляються так:

Вологі субори (71 %): домінуючий тип едафотопу, що забезпечує оптимальний баланс вологи та мінерального живлення.

Вологі сугруди (29 %): локалізовані на більш потужних та багатих субстратах.

Сучасна вікова структура деревостанів за участю *Pinus cembra* характеризується вираженою непропорційністю. Переважна більшість масивів (1 782 га) представлена старовіковими лісами віком 130–170 років. Такі показники свідчать про природне походження цих лісів та їхню високу стійкість, проте вказують на недостатню кількість молодих генерацій, що підкреслює необхідність суворого заповідного режиму для збереження популяційного ядра. Деревостани, вік яких понад 170 років, представлені на площі 283 га. Вони можуть бути зараховані до категорії пралісів (рис. 6).



Рис. 6. Праліси сосни кедрової європейської на проєктованій території розширення природного заповідника «Горгани»

Джерело: сформовано автором.

Найбільше локалітетів розташовано на території філії «Осмолодський лісгосп» ДП «Ліси України» (Сивулянський і Грофецький кластери проєктованої території розширення): г. Горган та хребет Горган (Бистрицьке і Дарівське лісництва) – 338 га; г. Лопушна (Бистрицьке лісництво) – 231 га; гори Грофа та Кінь (Менчільське лісництво) – 148 га; гори Паренки та Грофа (Менчільське, Осмолодське та Довгополянське лісництва) – 124 га.

Висновки

1. Переважаючим типом рослинності на проєктованій території розширення є лісовий, який займає близько 90 % площі. Кам'яні розсипи, поширені переважно у верхніх частинах схилів і на гребенях хребтів, займають близько 8% території заповідника. На угруповання лучного типу припадає біля 1 %, а на річки та потоки – 0,2 % території розширення. Серед лісів переважають фітоценози формації Piceeta abietis, які займають близько 80% вкритої лісовою рослинністю площі, решта – зайнята фітоценозами формацій Fageta sylvaticae, Abieta albae, Pineta sylvestris, Pineta cembrae, Pinetamugi.

2. Ялинові ліси займають велику частину Грофецького і Сивулянського кластерів території розширення. У першому ярусі краще представлена ялина європейська, яка має значний підріст (до 10 %), у другому ярусі менше ялиця біла та бука лісового, краще розвинений підлісок. Наземне покриття представлене невеликою кількістю видів, притаманних корінним хвойним угрупованням.

3. Букові ліси (Fageto sylvaticae) займають в межах території розширення відносно невеликі площі. Фітоценози цієї формації поширені в нижній смузі лісів на північно-західних і західних схилах. Вони ростуть на опідзолених буроземах, сформованих на малопотужних без карбонатних елювіально-делювіальних відкладах

4. Загальна площа зайнята сосною кедровою європейською, яка зростає в природному заповіднику «Горгани» (539 га) та проєктовані території розширення (близько 500 га) становить разом більше 1 000 га, з яких 380,5 га наразі входять до пралісових пам'яток природи. Розширення території природного заповідника «Горгани» за рахунок проєктованої території розширення дозволить забезпечити максимальне збереження сосни кедрової європейської у Горганах, як основному осередку поширення виду в Україні. Близько 25 % всіх місцезростань буде під суворою охороною.

5. Збільшення площі природного заповідника «Горгани» за рахунок території розширення дасть можливість зберегти типові та унікальні лісові природні комплекси. Значимість збереження лісових екосистем, як домінуючих пов'язана із збереженням рідкісних ендемічних асоціацій, прикладом яких є Sorbo aucupariae-Aceretum pseudoplatani з союзу Tilio platyphyllis-Acerion pseudoplatani, формації Pineta cembrae, занесеної до Зеленої книги лісів України, а також з високим ступенем збереженості характерних для Горган асоціацій.

Список використаної літератури

Гамор Ф. Д. Екодіаманти Європи. Історія номінування букових пралісів до списку об'єктів Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО : монографія / ред. Ф. Д. Гамор. 2-ге вид., доповн. Львів : Простір-М, 2023. 314 с.

Гнатюк Р., Брусак В. Геолого-геоморфологічна будова та цінні природні об'єкти природного заповідника «Ґоргани». *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій.* 2014. Вип. 1. С. 54–67.

Горгани: природа, охорона, дослідження / ред. Б.Г. Проць. Львів: Наукове товариство імені Шевченка. 2010. 280 с.

Клід В.В., Петращук Я.В. Первинна оцінка пралісів і старовікових лісів природного заповідника «Горгани». *Climate-smart agriculture: science and practice* : Scientific monograph. – Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. С. 394–411. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-389-7-19.

Лавний В.В., Мазепа В.Г., Шишканинець І.Ф., Заяць М.В. Особливості природного поновлення в букових насадженнях Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України.* 2021. Вип. 22. С. 41–51. https://doi.org/10.15421/412103.

Миркіна С.В., Соломаха Т.П., Устименко П.М. Природний заповідник «Горгани». Рослинний світ. Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч. 1. Біосферні заповідники. Природні заповідники / ред. В. А. Онищенко, Т. Л. Андрієнко. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. С. 149–163.

Парпан В.І., Шпарик Ю.С., Третяк П.Р. Букові праліси та старовікові ліси природного заповідника «Горгани». *Наукові праці Лісівничої академії наук України.* 2014. Вип. 12. С. 34–41.

Природні ліси Українських Карпат / ред. А. Смалійчук, У. Гребенер. Львів : Карпи і Атласи, 2018. 104 с.

Сабадир М. Праліси Українських Карпат: екологія та охорона : монографія. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2014. 256 с.

Смалійчук А. Старовікові ліси та праліси Українських Карпат: геопросторовий характер та перспективи збереження. *Вісник Львівського університету.* Серія географічна. 2019. Вип. 53. С. 301–314. https://doi.org/10.30970/vgg.2019.53.10680.

Третяк П.Р., Чернявський М.В., Шпільчак М.Б. Заповідник «Горгани» в системі екологічної мережі Івано-Франківської області. *Наукові праці Лісівничої академії наук України.* 2007. Вип. 5. С. 78–82.

Чернявський М.В. Букові праліси як еталони лісів майбутнього Українських Карпат*:* дослідження, охорона та збагачення біорізноманіття. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 1999. Вип. 9. С. 173–179.

Шпарик Ю.С. Структура і динаміка старовікових лісів Ґорґан / Ю. С. Шпарик. Івано-Франківськ : Тіповіт, 2013. 220 с.

References

Gamor, F.D. (2023). Ekodiamanty Yevropy. Istoriia nominuvannia bukovykh pralisiv do spysku obiektiv Vsesvitnoi spadshchyny YuNESKO [Ecodiamonds of Europe. The history of the nomination of primeval beech forests to the list of UNESCO World Heritage Sites]. (2nd ed.). Lviv. Prostir-M [in Ukrainian].

Hnatiuk, R., & Brusak, V. (2014). Heoloho-heomorfolohichna budova ta tsinni pryrodni obiekty pryrodnoho zapovidnyka «Gorhany» [Geological and geomorphological structure and valuable natural objects of the nature reserve "Gorgany]. *Problemy heomorfolohii i paleoheohrafii Ukrainskykh Karpat i prylehlykh terytorii [Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories],* 1, 54–67 [in Ukrainian].

Klid, V.V., & Petrashchuk, Ya.V. (2023). Pervynna otsinka pralisiv i starovikovykh lisiv pryrodnoho zapovidnyka «Horhany» [Primary assessment of primeval forests and ancient forests of the nature reserve "Gorgany"]. Climate-smart agriculture: science and practice : Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing. 394–411. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-389-7-19 [in Ukrainian].

Lavnyi, V.V., Mazepa, V.H., Shyshkanynets, I.F., & Zaiats, M.V. (2021). Osoblyvosti pryrodnoho ponovlennia v bukovykh nasadzhenniakh Ukrainskykh Karpat [Peculiarities of natural renewal in beech stands of the Ukrainian Carpathians]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine]*, 22, 41–51. https://doi.org/10.15421/412103 [in Ukrainian].

Myrkina, S.V., Solomakha, T.P., & Ustymenko, P.M. (2012). Pryrodnyi zapovidnyk «Horhany». Roslynnyi svit. [Nature reserve «Gorgany»]. Fitoriznomanittia zapovidnykiv i natsionalnykh pryrodnykh parkiv Ukrainy. Ch. 1. Biosferni zapovidnyky. Pryrodni zapovidnyky [The plant world. Phytodiversity of reserves and national natural parks of Ukraine. Part 1. Biosphere Reserves. Nature reserves]. (ed.) V. A. Onyshchenko, T. L. Andriienko. Kyiv : Fitosotsiotsentr. 149–163 [in Ukrainian].

Parpan, V.I., Shparyk, Yu.S., & Tretiak, P.R. (2014). Bukovi pralisy ta starovikovi lisy pryrodnoho zapovidnyka «Horhany» [Beech primeval forests and ancient forests of the nature reserve "Gorgany". Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine]*, 12, 34–41 [in Ukrainian].

Prots, B.H. (ed.) 2010. Horhany: pryroda, okhorona, doslidzhennia [Gorgans: nature, protection, research]. Lviv: Naukove tovarystvo imeni Shevchenka [in Ukrainian].

Sabadyr, M. (2014). Pralisy Ukrainskykh Karpat: ekolohiia ta okhorona [Primeval forests of the Ukrainian Carpathians: ecology and protection]. Lviv : LNU imeni Ivana Franka [Lviv Ivan Franko National University], 256 [in Ukrainian].

Smaliichuk, A., & Hrebener, U. (ed.) (2018). Pryrodni lisy Ukrainskykh Karpat [Natural forests of the Ukrainian Carpathians]. Lviv : Karpy i Atlasy [in Ukrainian].

Smaliichuk, A. (2019). Starovikovi lisy ta pralisy Ukrainskykh Karpat: heoprostorovyi kharakter ta perspektyvy zberezhennia. [Ancient forests and primeval forests of the Ukrainian Carpathians: geospatial nature and preservation prospects]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriia heohrafichna [Bulletin of Lviv University. The series is geographical],* 53, 301–314. https://doi.org/10.30970/vgg.2019.53.10680 [in Ukrainian].

Shparyk, Yu.S. (2013). Struktura i dynamika starovikovykh lisiv Gorgan [Struktura i dynamika starovikovykh lisiv Gorgan]. Ivano-Frankivsk. Tipovit. [in Ukrainian].

Tretiak, P.R., Cherniavskyi, M.V., & Shpilchak, M.B. (2007). Zapovidnyk «Horhany» v systemi ekolohichnoi merezhi Ivano-Frankivskoi oblasti [The reserve "Gorgany" in the system of the ecological network of the Ivano-Frankivsk region]. *Naukovi pratsi Lisivnychoi akademii nauk Ukrainy [Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine],* 5, 78–82 [in Ukrainian].

Cherniavskyi, M.V. (1999). Bukovi pralisy yak etalony lisiv maibutnoho Ukrainskykh Karpat: doslidzhennia, okhorona ta zbahachennia bioriznomanittia [Beech primeval forests as standards of future forests of the Ukrainian Carpathians: research, protection and enrichment of biodiversity]. *Naukovyi visnyk UkrDLTU [Scientific Bulletin of UkrDLTU],* 9, 173–179 [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 24.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 502.11:303.446
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.25

МОНІТОРИНГ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ НА НАЯВНІСТЬ ЗАНЕСЕНИХ ДО ЗЕЛЕНОЇ КНИГИ УКРАЇНИ ТА ПРИСУТНІСТЬ ВИДІВ РОСЛИН, ЗАНЕСЕНИХ ДО ЧЕРВОНОЇ КНИГИ УКРАЇНИ, ПОБЛИЗУ ШЕВЧЕНКІВСЬКОГО РОДОВИЩА ПІСКОВИКІВ КАЛУСЬКОГО РАЙОНУ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Т. М. Коткова[1], І. Ф. Карась[2], Л. Л. Довбиш[3]

В статті наведено результати моніторингових досліджень видового різноманіття флори та рослинних угруповань на виробничих майданчиках кар'єру з видобутку каменю пісковика та в межах 300-метрової санітарно-захисної зони Шевченківського родовища Калуського району Івано-Франківської області.

Дані дослідження були частиною проекту оцінки впливу на довкілля (ОВД) виробничої діяльності кар'єру з видобутку будівельного каменю, що використовується у різних сферах народного господарства, але, переважно, для будівництва доріг і належить Державному підприємству «Івано-Франківський облавтодор» відкритого акціонерного товариства «Державна акціонерна компанія «Автомобільні дороги України».

В ході досліджень встановлено, що на самому виробничому майданчику та майданчику відвантаження та сортування каменю і зберігання техніки рослинність майже відсутня. Як залишки збереглися лише витривалі та заносні, нетипові для Карпат рослини. Вздовж доріг, під'їздів до кар'єру природними збереглися лише дерев'янисто-кущові угруповання, трав'янисті – дуже змінені з переважанням адвентивних та агресивних видів. На існування окремих видів та їх угруповань вплинула виробнича діяльність Шевченківського родовища пісковиків.

В межах санітарно-захисної зони (включаючи майбутню зону розширення кар'єру) спостерігається більше видове різноманіття рослин та представлене типовими видами, що збереглись. Серед них рідкісні види та такі, що потребують охорони, в тому числі і ті, що занесені до

[1] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри геодезії та землеустрою
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: tetjana.kotkova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1785-7620
[2] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри геодезії та землеустрою
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: iraver@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6958-3636
[3] кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ґрунтознавства і землеробства
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: lldov@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0528-145X

Червоної книги України та охороняються Бернською конвенцією, відсутні. Угруповання рослин, що занесені до Зеленої книги України, в межах проекту відведеної під видобуток пісковику ділянки також відсутні. Відсутні такі угруповання і в межах майбутньої санітарно-захисної (300м) зони родовища.
Виявлені найближчі локалітети рідкісних та зникаючих видів знаходяться на значній відстані від ділянки Шевченківського родовища пісковиків, захищені гірськими хребтами та перевалами, тому майбутня виробнича діяльність підприємства на їх існування не вплине.

Ключові слова: *Шевченківське родовище, пісковики, рослини, вид, Червона книга, угруповання, Зелена книга.*

MONITORING OF PLANT COMMUNITIES FOR THE PRESENCE OF SPECIES LISTED IN THE GREEN BOOK OF UKRAINE AND THE PRESENCE OF PLANT SPECIES LISTED IN THE RED BOOK OF UKRAINE NEAR THE SHEVCHENKIVSKE SANDSTONE DEPOSIT IN THE KALUSH DISTRICT OF IVANO-FRANKIVSK REGION

T. N. Kotkova, I. F. Karas, L. L. Dovbysh

The article presents the results of monitoring studies of the species diversity of flora and plant communities at the production sites of the sandstone quarry and within the 300-meter sanitary protection zone of the Shevchenkivske deposit in the Kalush district of Ivano-Frankivsk region.
These studies were part of the project of environmental impact assessment (EIA) of the production activity of the quarry for the extraction of building stone, which is used in various sectors of the national economy, but mainly for road construction and belongs to the State Enterprise "Ivano-Frankivsk Automobile Roads " of the Open Joint-Stock Company "State Joint-Stock Company "Automobile Roads of Ukraine".
During the studies, it was established that there is almost no vegetation on the production site itself and the site for the shipment and sorting of stone and storage of equipment. Only hardy and invasive plants, atypical for the Carpathians, have survived as remnants. Along the roads and entrances to the quarry, only woody-shrub groups have remained natural, while herbaceous ones have been greatly altered with a predominance of adventitious and aggressive species. The existence of individual species and their groups has been affected by the production activity of the Shevchenko sandstone deposit.
Within the sanitary protection zone (including the future quarry expansion zone) the species diversity is greater and is represented by typical species that have survived. However, among them, there are no rare species and those that require protection, including those listed in the Red Book of Ukraine and protected by the Bern Convention.
Plant groups listed in the Green Book of Ukraine are also absent within the project area allocated for sandstone mining. There are no such groups within the future sanitary and protective (300m) zone of the deposit.
The nearest localities of rare and endangered species identified are located at a considerable distance from the Shevchenkivske sandstone deposit site, protected by mountain ranges and passes, therefore the future production activities of the enterprise will not affect their existence.

Key words*: Shevchenkivske deposit, sandstones, plants, species, Red Book, groups, Green Book.*

Вступ

Видобуток корисних копалин кар'єрним (відкритим) способом завжди негативно позначається на стані окремих популяцій рослин та їх угруповань. Зниження рівня біорізноманіття займає особливе місце серед головних екологічних проблем сучасності (Регіональна…, 2024), а в Україні на збереженість видів негативно впливають ще й воєнні дії. Збитки від втрачених (очевидно назавжди) видів можна, звісно, прорахувати у грошовому виразі, про що йдеться у п'ятому розділі даної регіональної доповіді, але повернути їх у природу не зможуть будь-які кошти. Тому, у пріоритеті для України є збереження окремих популяцій рідкісних рослин та їх угруповань на неокупованій території.

Пісковик або піщаник – осадова гірська порода, що складається із зерен піску, зцементованого глинистими кременистими та іншими матеріалами (Мала…, 2013).

Як стверджує Вікіпедія та інші джерела, в Україні з давніх давен пісковик широко використовували при спорудженні монументів, замків, храмів, палаців і садиб (Пісковик…, 2024).

В Україні-Русі пісковик використовували для будівельних та ремісничих потреб.

Зокрема відомі місця розробки канівських пісковиків у X–XIII ст., а на початку XXI ст. видобуток цієї гірської породи в основному проводять в Івано-Франківській, Тернопільській та Львівській областях. На Івано-Франківщині – це Шевченківське родовище та низка інших (Корисні…, 2024).

Об'єкт дослідження. Шевченківське родовище пісковиків розташоване у передгірському кліматичному районі, який знаходиться на стику двох великих природно-географічних підрозділів Східноєвропейської рівнини та Карпат.

За своїм мінеральним складом пісковики не дуже поступаються гранітам. Гарне, декоративне забарвлення піщаникам надає вміст залізної руди. Кольорова гама піщаників – від світло-сірого, червоно-бордового, сіро-зеленого, жовто-коричневого і навіть синього (Пісковик…, 2024).

Родовище вже давно освоєне, але Державне підприємство «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ ОБЛАВТОДОР» відкритого акціонерного товариства «Державна акціонерна компанія «Автомобільні дороги України» планує подальшу промислову розробку Шевченківського родовища пісковиків площею 15,6 га в Калуському районі Івано-Франківської області.

Для отримання дозволу на подальшу розробку родовища, підприємство повинне пройти процедуру оцінки впливу на довкілля (ОВД). У процесі прийняття рішень про здійснення планованої діяльності ключовою частиною є дослідження її впливу на біологічне різноманіття, особливо рідкісних та зникаючих видів рослин. Як частина проекту ОВД, нами були проведені біоценотичні дослідження місця планової діяльності на наявність рідкісних і зникаючих видів рослин, зокрема і таких, що занесені до Червоної книги України, а також цінних угруповань, занесених до Зеленої книги України.

Матеріал і методи

Дослідження здійснювали маршрутним польовим методом відповідно до попередньо виконаних тахеометричних знімань замкнутого ходу. Використано загальнонаукові та спеціальні методи. Проводились польові спостереження, лабораторне визначення зібраних гербарних зразків рослин за допомогою визначників (Визначник…, 1965; Атлас…, 2022; Електронна…, 2025). Рідкісні види визначали відповідно до затверджених переліків (Офіційні…, 2012; Про затвердження видів…, 2021). Рідкісні угруповання визначали також відповідно до затверджених переліків (Про затвердження …, 2020).

Для географічної прив'язки місця розташування родовища використовували картографічний метод.

Метою дослідження було встановлення можливого впливу тривалої розробки родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області на різноманіття місцевої і заносної флори, що відображено у попередніх публікаціях (Коткова та ін…, 2023; Коткова та ін…, 2025). Крім того, при моніторингових дослідженнях флори поблизу кар'єру родовища пісковиків, які були частиною оцінки впливу виробничої діяльності підприємства на довкілля (ОВД), було також встановлено можливий вплив цієї діяльності на існування рідкісних та зникаючих видів, що занесені до Червоної книги України (Червона…, 2009), таких, що охороняються Бернською конвенцією (Конвенція…, 1979) та угруповання, занесені до Зеленої книги України (Зелена…, 2009).

Результати та їх обговорення

В адміністративному відношенні Шевченківське родовище пісковиків знаходиться на відстані 10 км південніше

с. Шевченкове Вигодської громади Калуського району Івано-Франківської області в урочищі Шандра. Найближчий населений пункт – с. Підліски, який знаходиться на відстані 3,3 км з північно-східної сторони. Раніше це був Долинський район (нині укрупнений Калуський) Івано-Франківської області.

Завдяки своєму розташуванню область має різноманітний рельєф і поділяється на райони, які відмінні між собою геологічною будовою, висотами над рівнем моря і, відповідно, рослинним покривом та тваринним світом.

Шевченківське родовище пісковиків знаходиться в межах низовини, яка характеризується плоским, слабо розчленованим рельєфом. Абсолютні позначки поверхні в межах родовища змінюються від 60 м до 126,6 м над рівнем моря.

За геоботанічним районуванням ділянка провадження планованої діяльності розташована в межах Центральноєвропейської провінції широколистяних лісів Опільсько-Кременецького округу букових та грабово-дубових лісів.

Оскільки ділянка, на якій проводились моніторингорві дослідження угруповань

флори Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франкфівської області (власне сама виробнича ділянка кар'єру, ділянка грохотів та відстою техніки, а також санітарно-захисна 300 м навколо), вже давно розробляється, а особливо інтенсивно з 2017 р., тому рослинний світ зазнав суттєвого впливу (Коткова та ін..., 2023).

Власне на самій ділянці карєру рослинний світ збіднений і зазнав суттєвих змін через саму виробничу діяльність, переущільнення ділянок від роботи важкої техніки та впливу антропогенніих зсувів та абразії. Існування будь-яких видів в таких умовах не є можливим, адже на ділянці частково або повністю знищений ґрунтовий покрив, а дно карє'ру заповнене водою (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд кар'єру Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області

Земельна ділянка, на якій вже здійснювалась виробнича діяльність, а також проектна ділянка, що відводиться під видобуток пісковика, є гірничо освоєною та знаходиться в межах трансформованих угруповань, в яких переважають синантропні види (адвентофіти та антропофіти). Переважання цих видів говорить про певну ступінь деградації природних угруповань.

Деградованими також є під'їзди до ділянки Шевченківського родовища пісковиків та річище р. Шандра, хоча і в меншій мірі, ніж власне ділянка кар'єру. На таких ділянках частково втрачений трав'янистий покрив, або ж він змінений більш витривалими видами. Однак, дерев'янистий ярус зберігся, представлений типовими для Карпат угрупованнями бука лісового або звичайного (*Fagus sylvatica L.*), граба звичайного (*Carpinus betulus L.*), дубів звичайного або черешчатого (*Quercus robur L.*) та скельного (*Q. petraea L. ex Liebl.*), лип серцелистої (*Tilia cordata Mill.*) та європейської (*T. europaea L.*), явора (*Acer pseudoplatanus J. K. Kraus*), вільхи сірої (*Alnus incana (L.) Moench*) та різних видів вербових (*Salicaceae*) (рис. 2–3).

За межами самого кар'єру, в санітарно-захисній зоні (300 м) рослинний покрив збережений, навіть трав'яно-чагарничковий. Він складений з бореальних видів і зазвичай добре розвинений, тут переважають чагарнички, чорниця (Vaccinium myrtillus L.), брусниця (*Vaccinium vitis-idaea L.*) (рис. 4), верес звичайний (*Calluna vulgaris L.*).

На території підприємства не виявлене існування цінних, рідкісних і зникаючих видів рослин, які занесені в Червону книгу України.

Наразі промисловий майданчик підприємства та прилегла територія, включаючи ділянку розширення, що знаходиться в зоні активного впливу підприємства, є цілком антропізованим ландшафтом. Природні комплекси тут не збережені.

В проектній санітарно-захисній зоні, яка розташовуватиметься навколо ділянки видобутку каменю, включаючи ділянку розширення, підїзди та ділянку відвантажування каменю і зберігання техніки, угруповання хоч і збереглись, але представлені типовими видами, серед яких рідкісні та такі, що потребують охорони відсутні.



Рис. 2, 3. Угруповання ялини звичайної, або європейської *(Picea abies (L.),* та бука лісового (*Fagus sylvatica L.)* на під'їзді до ділянки Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області

Угруповання рослин, що занесені до Зеленої книги України в межах проекту від-

веденої під видобуток пісковику ділянки, відсутні. Відсутні такі угруповання і в межах майбутньої санітарно-захисної (300 м) зони родовища.

Найближчими угрупованнями, що занесені до Зеленої книги України, є залишки перестійного лісу буково-ялицево-смерекового та букового в заповідному урочищі місцевого значення «Нягра», що розташоване в межах Рожнятівського району Івано-Франківської області, на південний захід від села Ілемня. Ці угруповання зростають на схилах гори Нягра (гірський масив Ґорґани), площа 46,6 га. Відстань даного об'єкту природно-заповідного фонду від Шевченківського родовища пісковиків складає 1,08 км по прямій лінії (рис. 5).

Якщо врахувати особливості ландшафту, то навіть ті цінні види рослин, що локалізовані або перебувають у сусідніх, вище згаданих територіях природно-заповідного фонду та охороняються законодавством, добре захищені від впливу планової діяльності Шевченківського родовища пісковиків, оскільки знаходяться на віддалених та протилежних схилах сусідніх гір. Це добре видно на фрагментах ландшафтних 3D-карт прилеглих до родовища територій (рис. 6).

Види рослин, занесені до Червоної книги України в межах ділянки Шевченківського родовища, відведеної під видобуток пісковику, *відсутні*. Відсутні такі види і в межах майбутньої санітарно-захисної (300 м) зони.



Рис. 4. Пагорб, зарослий чорницею *(Vaccinium myrtillus L.)* поблизу Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області

Найближчі локалітети видів рослин, що занесені до Червоної книги України, серед яких тирлич крапчастий *(Gentiana punctata L.)* та арніка гірська *(Arnica montana L.)* (IPNI, 2025; World ..., 2025), виявлені в урочищі «Ільма», що розташоване на захід від ділянки родовища і південь від села Шевченкове.

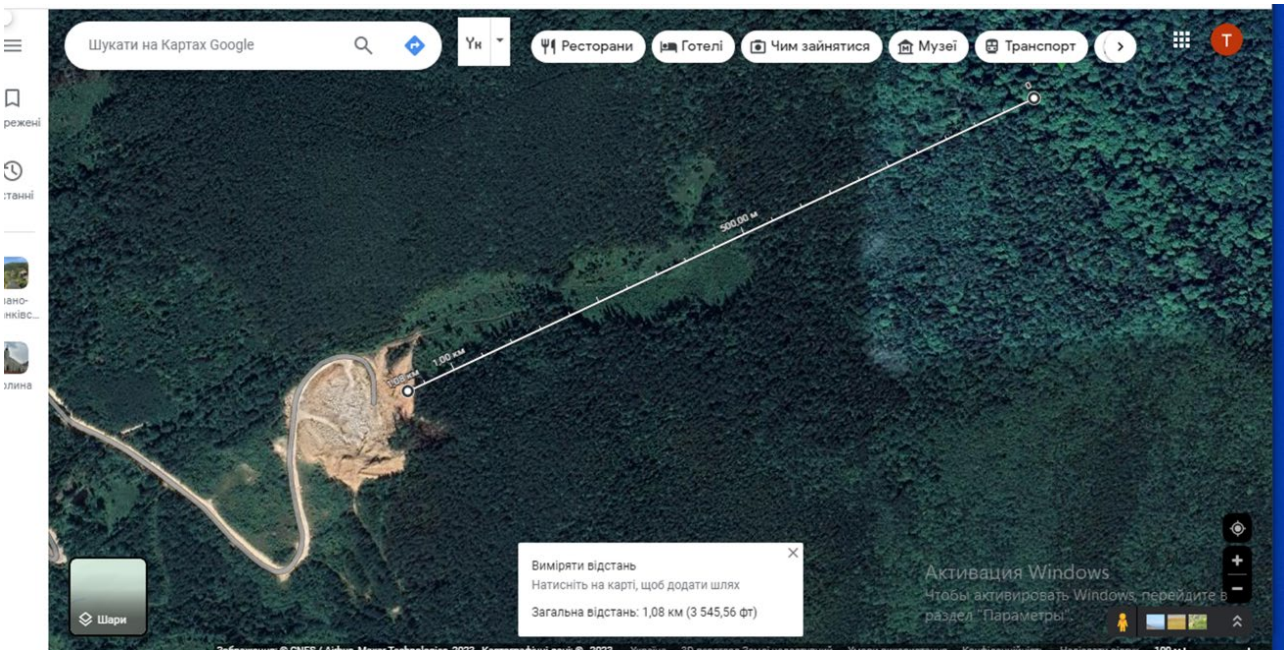


Рис. 5. Фрагмент гугл-карти із позначенням відстані від гори Нягра (гірський масив Ґорґани), де збереглися залишки перестійного буково-ялицево-смерекового та букового лісу до Шевченківського родовища пісковиків (1,08 км). https://www.google.com.ua/maps/@48.8382435,23.8759659,3645m/data

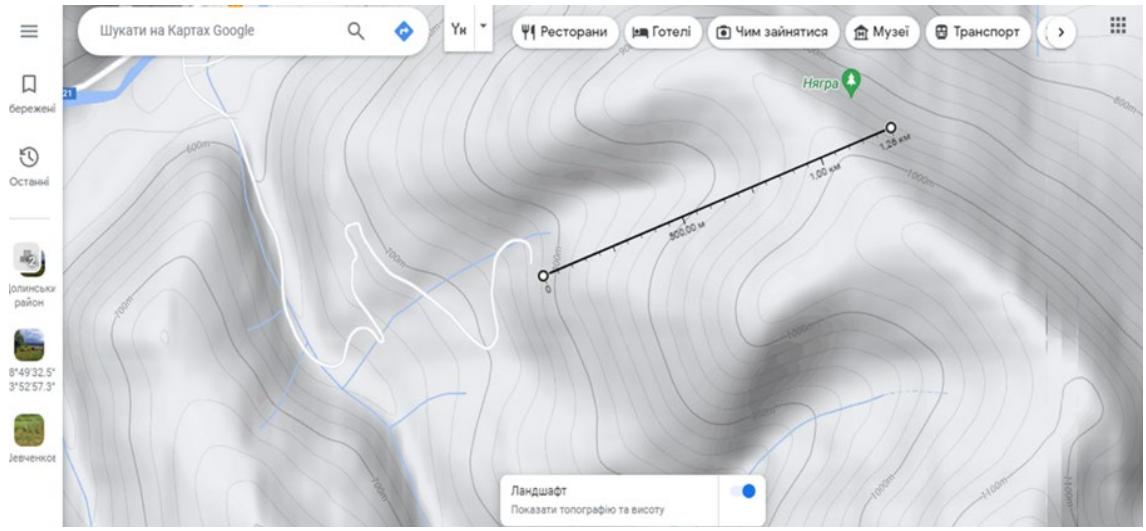


Рис. 6. Фрагмент ландшафтної 3D-карти із позначенням відстані від гори Нягра (гірський масив Ґорґани) до Шевченківського родовища пісковиків (на карті добре видно, що дане урочище знаходиться на протилежному від родовища схилі, захищене гірським хребтом). https://www.google.com.ua/maps/@48.8382435,23.8759659,14z/data

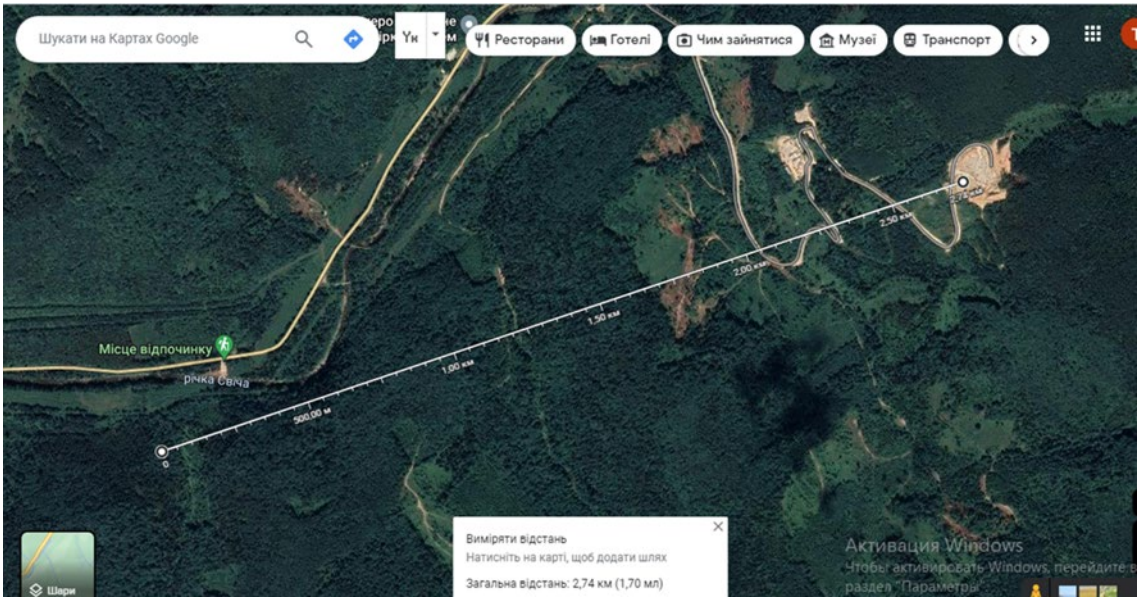


Рис. 7. Фрагмент гугл-карти із позначенням відстані від урочища «Ільма», де збереглися найближчі локалітети тирлича крапчастого *(Gentiana punctata L.)* та арніки гірської *(Arnica montana L.)*, що занесені до Червоної книги України, до Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області (2,74 км по прямій лінії). https://www.google.com.ua/maps/@48.8382435,23.8759659,3645m/data

Урочище являє собою лісовий заказник місцевого значення. Відстань від даного локалітету до Шевченківського родовища пісковиків становить 2,74 км по прямій лінії (рис. 7).

Більш наочно це виглядає на ландшафтній карті (рис. 8).

Декілька локалітетів арніки гірської збереглися в урочищі «Гатчин звір». Це – заповідне урочище місцевого значення, розташоване на території Калуського району Івано-Франківської області, на північний захід від села Новий Мізунь.

Площа урочища 54,8 га. Статус надано згідно з рішенням облвиконкому від 19.07.1988 року № 128. Перебуває у віданні ДП «Вигодський лісгосп» (Шевченківське л-во, кв. 21). Найближча відстань від цього

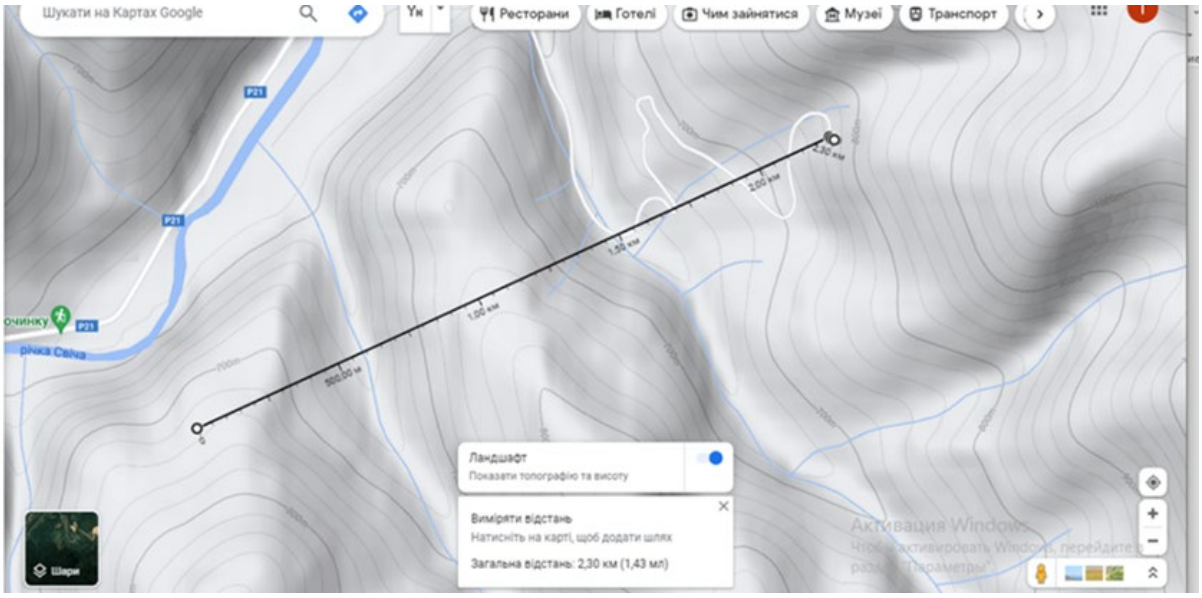


Рис. 8. Фрагмент ландшафтної 3D-карти із позначенням відстані від урочища «Ільма» (2,74 км) до Шевченківського родовища пісковиків (на карті добре видно, що дане урочище знаходиться за двома перевалами і захищене двома хребтами). https://www.google.com.ua/maps/@48.8382435,23.8759659,14z/data

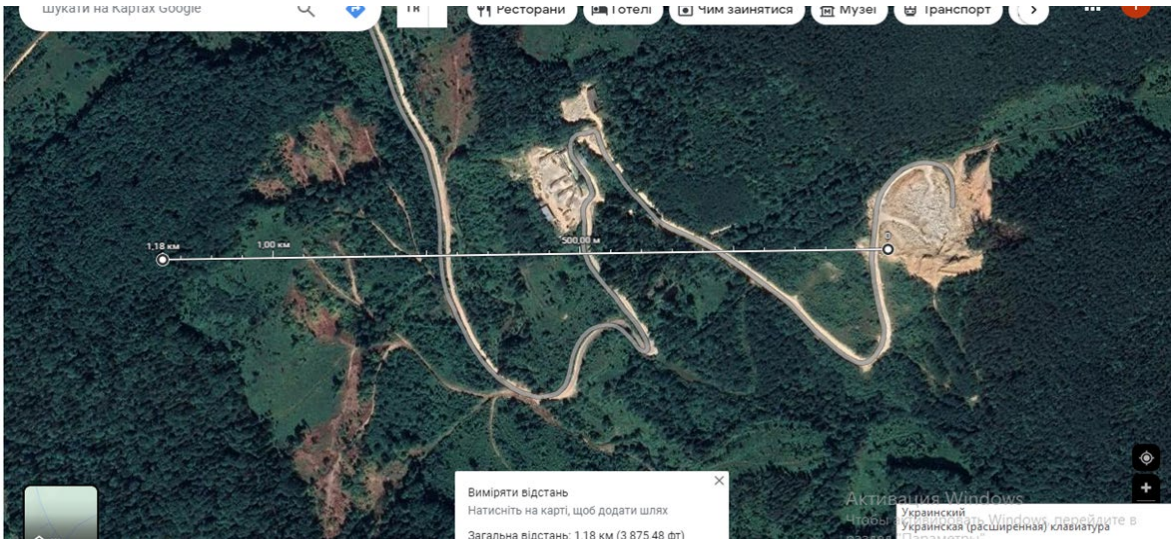


Рис. 9. Фрагмент гугл-карти із позначенням відстані від заповідного урочища місцевого значення «Гатчин звір», де збереглися найближчі локалітети арніки гірської *(Arnica montana L.)* та язичка зеленого *(Coeloglossum viride (L.) C. Hartm.)*, до Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області (1,18 км). https://www.google.com.ua/maps/@48.8382435,23.8759659,3645m/data

урочища до території кар'єру становить 1,18 км по прямій лінії (рис. 9).

Види рослин, занесені до списків видів, що охороняються Бернською конвенцією, які виявлені у вище згаданих урочищах, включають як судинні рослини: плаун колючий *(Lycopodium annotinum L.)*, любка дволиста *(Platanthera bifolia (L.) Rich)*, сон розкритий *(Pulsatilla patens (L.) Mill.)*, так і наступні види, а саме тирлич крапчастий *(Gentiana punctata L.)*, язичок зелений *(Coeloglossum viride (L.)* та арніку гірську *(Arnica montana L.)* (Протопопова і Морозюк, 2007; Червона..., 2009; Українська..., 2025), що занесені до Червоної книги України, їх найближчі локалітети зустрічаються в заповідних урочи-

щах місцевого значення «Гатчин звір», урочищі «Ільма» та природному заповіднику «Горгани».

В межах відведених ділянок і на землях, що прилягають до них, немає рідкісних і зникаючих видів рослин, що особливо охороняються. Це пов'язане з тим, що прилегла територія зазнала багаторічного антропогенного впливу.

На земельній ділянці, планового розширення кар'єру, об'єкти природно-заповідного фонду відсутні. Територія планованої діяльності не відноситься до територій, зарезервованих для наступного заповідання.

Згідно затвердженого Наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 лютого 2021 року № 111 «Перелік видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ)» та Української інформаційної мережі біорізноманіття (Червона…, 2009; Українська…, 2025), та занесених до списків Резолюції 6-ої Бернської конвенції (Конвенція…, 1979) на дослідженій території не виявлено.

Рослинні формації, які перелічені в Зеленій книзі України, що затверджена Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження переліків рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, та типових природних рослинних угруповань, які підлягають охороні і заносяться до Зеленої книги України, та природних рослинних угруповань, які вилучені із Зеленої книги України» № 368 від 17.12.2020 року (Зелена…, 2009; Про затвердження переліків…, 2020), на території проммайданчику та в межах санітарно-захисної зони Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області не виявлені.

Висновки

1. На виробничій ділянці Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області рослинність майже відсутня, а та, що збереглась, представлена нечисельними адвентивними та агресивними видами. На різке збіднення флори вплинула виробнича діяльність підприємства.

2. В межах санітарно-захисної зони підприємства переважно збереглось видове різноманіття дерев і кущів, а трав'янистий покрив видозмінений, насичений не типовими для Карпат видами.

3. Виявлені найближчі локалітети рідкісних та зникаючих видів знаходяться на значній відстані від ділянки Шевченківського родовища пісковиків, захищені гірськими хребтами та перевалами, тому майбутня виробнича діяльність підприємства на їх існування не вплине.

Список використаних джерел

Атлас трав'яних біотопів України / за ред. А. А. Куземко. Чернівці : Друк Арт., 2022. 244 с.

Визначник рослин України : учбовий посібник / А. І. Барбарич, Є. М. Брадіс, О. Д. Вісюлін та ін.; відп. ред. Д. К. Зеров. Вид. 2-ге, випр. і допов. Київ : Урожай, 1965. 875 с.

Електронна база рослин ПЗФ України [Електронний ресурс]. URL: http://www.ieenas.org/p/ (дата звернення: 24.12.2025).

Зелена книга України / під заг. ред. Я. П. Дідуха. Київ : Альтерпрес, 2009. 448 с.

Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі : Бернська конвенція від 19.09.1979 р. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_032 (дата звернення 19.12.2025 р.).

Корисні копалини Івано-Франківської області [Електронний ресурс]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki (дата звернення 19.12.2025 р.).

Коткова Т.М., Яременко О.В., Лук'яненко О.П., Дребот О.В. Оцінка впливу планової діяльності Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області на флору та фауну. *Український журнал природничих наук.* 2023. № 6. С. 54–62. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.6.

Коткова Т.М., Котюк Л.А., Яременко О.В., Стоцька С.В. Дослідження стану угруповань флори за впливу промислової розробки Сокирницького родовища цеолітів Хустського району Закарпатської області. *Український журнал природничих наук.* 2025. № 11. С. 280–293. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.30.

Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. Т. 3 : С – Я / В. І. Альохін [та ін.] ; за ред. В. С. Білецького. Донецьк : Східний видавничий дім, 2013. 644 с.

Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України : довідник / уклад.: Т. Л. Андрієнко, М. М. Перегрим. Київ : Альтерпрес, 2012. 148 с.

Пісковик або піщаник. Вікіпедія. Вільна енциклопедія [Електронний ресурс]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/ Пісковик (дата звернення 19.12.2025 р.).

Про затвердження переліків рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, та типових природних рослинних угруповань, які підлягають охороні і заносяться до Зеленої книги України, та природних рослинних угруповань, які вилучені із Зеленої книги України : наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 17.12.2020 р. № 368 [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0130-21 (дата звернення 22.12.2025 р.).

Про затвердження видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ) та видів рослин та грибів, що виключені з Червоної книги України (рослинний світ) : наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15.02.2021 р. № 111. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0371-2 (дата звернення 19.12.2025 р.).

Протопопова В., Морозюк С. Трав'янисті рослини України : навч. посібник. Тернопіль : Навчальна книга. Богдан, 2007. 216 с.

Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2024 році [Електронний ресурс]. URL: https://www.if.gov.ua/dovkillya/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha-v-ivano-frankivskij-oblasti (дата звернення 19.12.2025 р.).

Українська інформаційна мережа біорізноманіття – Ukrainian Biodiversity Information Network [Електронний ресурс]. URL: https://ukrbin.com/index.php?action=about&lang=2 (дата звернення: 24.12.2025).

Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Глобалколсалтинг, 2009. 900 с.

World Flora Onlin [Електронний ресурс]. URL: https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000930752 (дата звернення: 24.12.2025).

References

Kuzemko, A.A. (ed.). (2022). Atlas travianykh biotopiv Ukrainy [Atlas of grassland habitats of Ukraine]. Chernivtsi: Druk Art [in Ukrainian].

Barbarych, A.I., Bradis, Ye.M., & Visiulin, O.D., et al. (1965). Vyznachnyk roslyn Ukrainy [Guide to plants of Ukraine] (2nd ed., revised and expanded). Kyiv : Urozhai [in Ukrainian].

Elektronna baza roslyn pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy [Electronic database of plants of the Nature Reserve Fund of Ukraine]. [Electronic resource] URL: http://www.ieenas.org/p/ (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P. (ed.). (2009). Zelena knyha Ukrainy [Green Book of Ukraine]. Kyiv : Alterpres [in Ukrainian].

Council of Europe. (1979). Konventsiia pro okhoronu dykoyi flory ta fauny i pryrodnykh seredovyshch isnuvannia v Yevropi. [Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats]. (Bern Convention). [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_032 (access date 19.12.2025) [in Ukrainain].

Korysni kopalyny Ivano-Frankivskoi oblasti [Mineral resources of Ivano-Frankivsk region]. [Electronic resource] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki (access date 19.12.2025) [in Ukrainian].

Kotkova, T.M., Yaremenko, O.V., Lukianenko, O.P., & Drebot, O.V. (2023). Otsinka vplyvu planovoi diialnosti Shevchenkivskoho rodovyshcha piskovykiv Kaluskoho raionu Ivano-Frankivskoi oblasti na floru ta faunu [Assessment of the impact of planned activities at the Shevchenkivske sandstone deposit in Kalush district, Ivano-Frankivsk region on flora and fauna]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk* [*Ukrainian Journal of Natural Sciences],* (6), 54–62. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.6 [in Ukrainian].

Kotkova, T.M., Kotyuk, L.A., Yaremenko, O.V., & Stotska, S.V. (2025). Doslidzhennia stanu uhrupovan flory za vplyvu promyslovoi rozrobky Sokyrnytskoho rodovyshcha tseolitiv Khustskoho raionu Zakarpatskoi oblasti [Study of the condition of plant communities under the impact of industrial exploitation of the Sokyrnytsia zeolite deposit in the Khust District of the Transcarpathian Region]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, (11), 280–293. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.11.2025.30 [in Ukrainian].

Biletskyi, V.S. (ed.). (2013). Mala hirnycha entsyklopediia [Small mining encyclopedia]. Donetsk: Skhidnyi vydavnychyi dim, Vol. 3 [in Ukrainian].

Andriienko, T.L., & Perehrym, M.M. (2012). Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisnykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy [Official lists of regionally rare plants of administrative territories of Ukraine]. Kyiv: Alterpres [in Ukrainian].

Piskovyk abo pishchanyk [Sandstone]. Wikipedia. [Electronic resource] URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Piskovyk (access date 19.12.2025) [in Ukrainian].

Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2020). Order № 368. *Pro zatverdzhennia perelikiv ridkisnykh i takykh, shcho perebuvaiut pid zahrozoiu znyknennia, ta typovykh pryrodnykh roslynnykh uhrupovan, yaki pidliahaiut okhoroni i zanosiat'sia do Zelenoi knyhy Ukrainy, ta pryrodnykh roslynnykh uhrupovan, yaki vylucheni iz Zelenoi knyhy Ukrainy* [On approval of lists of rare and endangered plant species and typical natural plant communities subject to protection and inclusion in the Green Book of Ukraine, and natural plant communities excluded from the Green Book of Ukraine] [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0130-21 (access date: 22.12.2025) [in Ukrainian].

Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (2021). Order № 111. Pro zatverdzhennia vydiv roslyn ta hrybiv, shcho zanosiatsia do Chervonoi knyhy Ukrainy (roslynnyi svit) ta vydiv roslyn ta hrybiv, shcho vykliucheni z Chervonoi knyhy Ukrainy (roslynnyi svit) [On approval of plant and mushroom species included in the Red Book of Ukraine (flora) and plant and mushroom species excluded from the Red Book of Ukraine (flora)]. [Electronic resource] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0371-2 (access date 19.12.2025) [in Ukrainian].

Protopopova, V., & Moroziuk, S. (2007). Travianysti roslyny Ukrainy: navchalnyi posibnyk [Herbaceous plants of Ukraine: study guide]. Ternopil : Navchalna knyha – Bohdan [in Ukrainian].

Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ivano-Frankivskii oblasti u 2024 rotsi [Regional report on the state of the environment in Ivano-Frankivsk region in 2024]. [Electronic resource] URL: https://www.if.gov.ua/dovkillya/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha-v-ivano-frankivskij-oblasti (access date 19.12.2025) [in Ukrainian].

Ukrainska informatsiina merezha bioriznomanittia – Ukrainian Biodiversity Information Network. [Electronic resource] URL: https://ukrbin.com/index.php?action=about&lang=2 (access date 24.12.2025) [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P. (ed.). (2009). Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyi svit [Red Book of Ukraine. Plant world]. Kyiv: Globalconsulting [in Ukrainian].

World Flora Online. [Electronic resource] URL: https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000930752 (access date 24.12.2025) [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 02.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 622.765:66.065.5
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.26

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ ТА РОЗМІРУ ТВЕРДОЇ ФАЗИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФЛОКУЛЯЦІЇ ТА СЕДИМЕНТАЦІЇ ТОНКОДИСПЕРСНИХ ЗАВИСЛИХ ЧАСТОК ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ

С. С. Кулініч[1], А. О. Шкоп[2], А. С. Босюк[3], О. В. Шестопалов[4], І. О. Лаврова[5]

Представлено результати досліджень впливу концентрації твердої фази та присутності грубодисперсної фракції на ефективність флокуляції й седиментації тонкодисперсних завислих часток у вугільних шламах вуглезбагачувальних фабрик. Використано реальні проби рідких відходів із концентрацією твердої фази 13–48 г/л, де частка тонкодисперсних часток (<20 мкм) становить 77–79 %. Гранулометричний аналіз проведено методом мокрого просіювання, кінетику седиментації досліджено в мірних циліндрах об'ємом 500 мл при 19 °С. Встановлено, що при низьких концентраціях (~13 г/л) переважає вільне осідання з початковою швидкістю до 0,14 мм/с без чіткої межі розділу фаз. При концентраціях понад 48 г/л одразу формується чітка межа, процес

[1] здобувач наукового ступеня доктора філософії
кафедри хімічної техніки та промислової екології
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: serhii.kulinich@mit.khpi.edu.ua
ORCID: 0009-0004-2018-5855
[2] кандидат технічних наук,
старший викладач кафедри хімічної техніки та промислової екології
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: Andrii.Shkop@mit.khpi.edu.ua
ORCID: 0000-0002-1974-0290
[3] доктор філософії,
старший викладач кафедри хімічної техніки та промислової екології
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: Alona.Bosiuk@mit.khpi.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5254-2272
[4] кандидат технічних наук, професор,
завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: oleksii.shestopalov@khpi.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6268-8638
[5] кандидат технічних наук, доцент,
професор кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків)
e-mail: Inna.Lavrova@khpi.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3970-1627

переходить до стисненого осідання зі швидкістю 0,01–0,013 мм/с. Максимальна швидкість осідання досягається при 40–80 г/л. Досліджено вплив додавання грубодисперсної фракції (>0,1 мм) на флокуляцію з використанням аніонного (А-19), неіоногенного (ТФН) та катіонного (Zetag 8185) флокулянтів. Введення 6–30 г/л грубодисперсних часток підвищує швидкість седиментації флокул з 3,2 до 18 мм/с і міцність агрегатів (швидкість після руйнування – від 0,04 до 3,8 мм/с). Грубодисперсна фаза сприяє утворенню більших і важчих флокул, що зменшує витрати флокулянтів та підвищує стійкість до гідродинамічних впливів. Отримані результати свідчать про доцільність підготовки шламів перед флокуляцією шляхом регулювання концентрації твердої фази (розбавлення або змішування потоків) та введення грубодисперсної фракції. Це дає змогу оптимізувати процеси очищення стічних вод у відстійниках, зменшити витрати реагентів, підвищити ступінь освітлення води та інтенсифікувати зневоднення шламів. Запропоновані підходи можуть бути впроваджені на промислових підприємствах для підвищення екологічної та економічної ефективності водно-шламових схем вуглезбагачення.

Ключові слова: *вугільні шлами, тонкодисперсні частки, седиментація суспензій, грубодисперсна фаза, кінетика осідання, очищення стічних вод.*

THE EFFECT OF CONCENTRATION AND SIZE OF THE SOLID PHASE ON THE EFFICIENCY OF FLOCCULATION AND SEDIMENTATION OF FINELY DISPERSED SUSPENDED PARTICLES IN COAL SLUDGE

S. S. Kulinich, A. O. Shkop, A. S. Bosiuk, O. V. Shestopalov, I. O. Lavrova

The results of studies on the influence of solid phase concentration and the presence of coarse-grained fraction on the efficiency of flocculation and sedimentation of finely dispersed suspended particles in coal sludge from coal preparation plants are presented. Real samples of liquid waste with a solid phase concentration of 13–48 g/l were used, where the proportion of finely dispersed particles (<20 μm) is 77–79%. The granulometric analysis was carried out by wet sieving, and the sedimentation kinetics were studied in 500 ml measuring cylinders at 19°C. It was found that at low concentrations (~13 g/l), free sedimentation prevails with an initial rate of up to 0.14 mm/s without a clear phase boundary. At concentrations above 48 g/l, a clear boundary is immediately formed, and the process transitions to hindered sedimentation at a rate of 0.01–0.013 mm/s. The maximum sedimentation rate is achieved at 40–80 g/l. The effect of adding coarse-grained fraction (>0.1 mm) on flocculation using anionic (A-19), non-ionic (TFN) and cationic (Zetag 8185) flocculants was investigated. The introduction of 6–30 g/l of coarse particles increases the sedimentation rate of flocs from 3.2 to 18 mm/s and the strength of aggregates (speed after destruction — from 0.04 to 3.8 mm/s). The coarse-dispersed phase promotes the formation of larger and heavier flocs, which reduces flocculant consumption and increases resistance to hydrodynamic influences. The results obtained indicate the advisability of preparing sludge prior to flocculation by adjusting the concentration of the solid phase (dilution or mixing of flows) and introducing a coarse fraction. This makes it possible to optimise wastewater treatment processes in settling tanks, reduce reagent consumption, improve water clarification and intensify sludge dewatering. The proposed approaches can be implemented at industrial enterprises to improve the environmental and economic efficiency of water-sludge coal preparation schemes.

Key words: *coal sludge, fine particles, sedimentation of suspensions, coarse phase, sedimentation kinetics, wastewater treatment.*

Вступ

Інтенсивний розвиток гірничодобувної та вуглезбагачувальної промисловості супроводжується утворенням значних обсягів стічних вод, що містять тонкодисперсні завислі частки вугільних шламів (Khazaie et al., 2022; Yuan et al., 2025). Ці шламові води характеризуються високою стійкістю суспензій, коливаннями концентрації твердої фази та складним гранулометричним складом (Wang et al., 2020), де переважають частки розміром менше 20 мкм. Традиційні методи гравітаційного відстоювання часто виявляються недостатньо ефективними через повільну седиментацію тонкодисперсних часток, що призводить до перевитрат флокулянтів, низької якості освітленої води та накопичення шламів у накопичувачах.

Оптимізація процесів флокуляції та седиментації є ключовим напрямком для інтенсифікації очищення стічних вод вуглезбагачення (Shkop et al., 2016; Shkop et al., 2017). Дослідження показують, що ефективність цих процесів суттєво залежить від

концентрації твердої фази, яка впливає на перехід від вільного до стисненого (зонного) осідання, а також від присутності грубодисперсної фракції, що сприяє утворенню міцніших і важчих флокул (Li et al., 2016). Введення грубодисперсних часток дозволяє зменшити дозування флокулянтів і підвищити стійкість агрегатів до гідродинамічних впливів.

Як правило, забрудненні стічні води для очищення від механічних домішок на підприємствах потрапляють у відстійні споруди для часткового освітлення води в процесі седиментації твердих часток. Освітлена вода повертається у замкнений цикл, а осаджені шлами прямують на подальше очищення та зневоднення з використанням хімічних реагентів (коагулянтів або флокулянтів) (Wei et al., 2018). Однак, у виробничих умовах виникають певні труднощі через коливання концентрації забруднюючих речовин у стічній воді протягом короткого часу. Збільшення або зменшення концентрації твердої фази призводить до зміни якості відстоювання та кількості освітленої води. Хімічне підсилення процесу агрегації з використанням флокулянтів також сильно залежить від концентрації твердої фази. Саме тому, дослідження особливостей осідання твердої фази є актуальними та потребує розробки певної методології, яка дозволить оптимізувати процес очищення стічної води.

Інтенсивна промислова діяльність у хімічній, металургійній та гірничодобувній галузях утворює значну кількість полідисперсних суспензій та шламів із завислими речовинами. Промислові стічні води становлять до 20% глобального забруднення водних ресурсів, а накопичення шламів у шламонакопичувачах призводить до втрати мінеральних компонентів і забруднення ґрунтів, вод та атмосфери (World bank, 2023; United Nations, 2024). В Україні промисловість щорічно генерує мільйони тонн шламів, які спричиняють засолення земель і забруднення ґрунтових вод (Міндовкілля, 2023). Це ускладнює досягнення ЦСР 6 (забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами та санітарією) і ЦСР 12 (забезпечення переходу до раціональних моделей споживання і виробництва) (United Nations, 2025).

Сучасні методи очищення стічних вод на промислових підприємствах України включають фізичні (седиментація, фільтрація, центрифугування), хімічні (коагуляція, флокуляція) та комбіновані підходи. У металургії застосовують седиментацію для видалення грубих часток і хімічну преципітацію (процес утворення осаду з розчину) для осадження металів (Genesis ..., 2024).

Оптимізація коагуляції та флокуляції забезпечує видалення завислих речовин з мінімальними витратами реагентів (Mahapatra ..., 2025). Ефективність залежить від концентрації часток (10–30 г/л), їх розміру, pH, в'язкості та розчинених сполук. На очисних спорудах ці фактори часто не враховуються, що знижує ефективність при зміні параметрів стоків. Однак, дозволяє зменшити витрати реагентів на 20–30% і підвищити осадження (Martín et al., 2011; Gökçek ..., 2020). Для промислових шламів, оптимальна концентрація твердої фази становить 10–30 г/л, де флокуляція відбувається найефективніше, а швидкість руху рідини до відстійників понад 1–1,5 м/с призводить до руйнування флокул (Shestopalov et al., 2019a). Тонкодисперсні частки важче вловлювати, тому потрібна підготовка шламів (розбавлення, додавання грубодисперсної фази, синергія реагентів). Утилізація осаду як наповнювачів композитів (45–60% мас.) зменшує екологічне навантаження (Shestopalov et al., 2019b).

Існуючі аналоги, такі як модулі очищення від компаній Veolia, використовують стандартні ланцюги апаратів (відстійники, центрифуги) з ручним регулюванням, що призводить до перевитрат реагентів (до 20–30%) і низької адаптивності до змін концентрації шламів (Veolia ..., 2025). На відміну від них, запропонований проєкт вводить модульні установки з автоматичним управлінням, математичним моделюванням залежностей (швидкість осідання флокул, вологість осаду) і оптимізацією гідродинамічних параметрів, забезпечуючи мінімальні витрати флокулянтів ($Q \rightarrow \min$) і підвищення ефективності затримання твердої фази до 98–99%. Це дозволяє інтегрувати систему в замкнуті цикли оборотного водопостачання, зменшуючи втрати води на 40% і сприяють утилізації шламів (Shestopalov et al., 2020).

Метою проведених досліджень є визначення впливу концентрації твердої фази та домішок грубодисперсної твердої фази на ефективність седиментації тонкодисперсних завислих часток з використанням флокулянтів. Це потрібно для інтенсифікації осідання тонкодисперсних часток рідких відходів та стічних вод при використанні флокулянтів, а також мінімізації їх витрати.

Для досягнення зазначеної мети потрібно було вирішити наступні задачі:

– дослідити дисперсний склад рідких відходів вуглезбагачення;
– дослідити кінетику осідання твердої фази різної концентрації;
– дослідити вплив грубодисперсної фази на флокуляцію тонкодисперсної фази.

Матеріал і методи

Дане дослідження проводилось з реальними пробами рідких відходів вуглезбагачувальної фабрики, які поступають у радіальний згущувач кінцевого етапу водно-шламової схеми. Для аналізу були відібрані три проби шламу, які відрізнялись вмістом твердої фази за концентрацією:

Зразок 1 – живлення радіального згущувача;

Зразок 2 – згущений продукт радіального згущувача;

Зразок 3 – живлення гвинтових сепараторів вуглезбагачувальної фабрики.

Для досліджуваних зразків проводилося наступні досліди:

– визначення густини рідких відходів шляхом зважування 1 дм^3 зразків відходів;
– визначення вмісту твердої фази в пробі шляхом висушування проби до постійної маси в сушильній шафі;
– гранулометричний аналіз методом мокрого просіювання через вібросито ВА-В01 з розміром отворів 1,0; 0,5; 0,3; 0,2; 0,1; 0,063; 0,04; 0,02 мм;
– дослідження кінетики седиментації проб шляхом осадження твердих часток у полі земного тяжіння в мірильних циліндрах об'ємом 500 мл при температурі 19°С з різним ступенем розбавлення за швидкістю;
– тестова флокуляція зразків шламу (підбір дозування флокулянту з визначенням швидкості осадження флокул) шляхом введення певної дози флокулянту та грубодисперсних часток у мірильний циліндр об'ємом 500 мл;
– випробування міцності флокул шляхом перемішування протягом 40 секунд мішалкою з визначенням швидкості осадження флокул після подрібнення.

При дослідженнях швидкості осідання часток визначали швидкість руху межі розділу фаз (рис. 1).

Слід зазначити, що при осіданні завислих часток з низькою концентрацією межа фаз не є чіткою, однак під час згущення і початку стисненого осідання вона має чіткі межі.

Результати та їх обговорення

Аналіз результатів визначення гранулометричного розміру часток шламів (табл. 1)

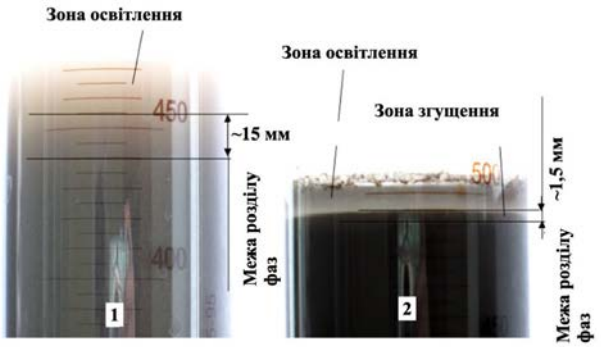


Рис. 1. Порівняльна характеристика руху межі розділу фаз в процесі відстоювання зразків № 1 та № 2

показав, що зразки №1 та №2 мають майже однаковий склад: тонких фракцій (частинки менше 20 мкм) приблизно 80 % та близько 9 % (частинки від 20 мкм до 40 мкм) та зернисті частинки більше 40 мкм близько 10 %. Однак, зразки №1 та №2 відрізняються концентрацією твердої фази майже в 3 рази, що є характерним для діючих підприємств. Коливання концентрації твердої фази може призводити до зменшення ефективності освітлення води у відстійних спорудах та вплинути на час очищення або ризик скиду недоочищеної (недоосвітленої мутної води) води, забрудненої тонкодисперсними завислими частинками. Зразок №3 має в своєму складі переважно грубодисперсні частинки, які відокремлюються до відстійників.

Аналіз результатів кінетики відстоювання завислих часток зразків № 1 та № 2 стічних вод вуглезбагачення в полі земного тяжіння (табл. 2) та рис. 1–4 свідчить про суттєві відмінності у відстоюванні зразків проб № 1 та № 2 різної концентрації.

Зразок № 1 з меншою концентрацією, на відміну від зразка № 2 (рис. 1), перші 25 хвилин відстоювання не мав чіткої межі розділу фаз між освітленою рідиною та забрудненою частиною води. Відсутність чіткого розмежування між брудною та освітленою водою, свідчить про вільне осадження часток, без перешкод з боку інших часток. Однак, під час осідання відбувається згущення суспензії і при досягненні певної концентрації твердої фази починається обмежене осідання частинок. Цей період характеризується тим, що частинки стикаються між собою, гальмуючи одна одну. Крім того, частинки в суспензії мають різні розміри, тому крупніші та більш важкі

Таблиця 1

Гранулометричний аналіз зразків шламу

Найменування параметру / Розмір часток суспензії, мм	**Зразок №1**		**Зразок №2**		**Зразок №3**	
	Вихід за масою, г	**Частка, %**	**Вихід за масою, г**	**Частка, %**	**Вихід за масою, г**	**Частка, %**
Більше 1	-	-	-	-	9,2	2,2
1–0,5	0,04	0,3	0,04	0,1	20,8	5,1
0,5–0,3	0,10	0,7	0,2	0,4	31,6	7,8
0,3–0,2	0,40	3,0	0,8	1,7	56	13,8
0,2–0,1	0,40	3,0	2	4,2	133,4	33,0
0,1–0,063	0,40	3,0	1,1	2,3	71,6	17,7
0,063–0,04	0,40	3,0	2,3	4,8	44,6	11,0
0,04–0,02	1,10	8,1	4,5	9,4	17,2	4,3
< 0,02	10,7	79,0	37,1	77,2	20,1	5,0
Вміст твердої фази в 1 л	13,54	100,0	48,04	100,0	404,5	100,0
Густина проб, г/л	1015,25		1034,45		1339,95	

Таблиця 2

Кінетика відстоювання зразків шламу

Проба 1 (13,2 г/л)			**Проба 2 (48,04 г/л)**		
Час відстоювання, хвилин	**Висота освітленого шару, мм**	**Швидкість осадження (згущення), мм/с**	**Час відстоювання, хвилин**	**Висота освітленого шару, мм**	**Швидкість осадження (згущення), мм/с**
4	23	0,0958	10	4	0,007
7	42	0,1000	25	14	0,0093
10	72,5	0,1208	35	22	0,0105
15	122	0,1355	47	32,5	0,0113
20	172	0,1433	56	41	0,0122
25	**204**	**0,136**	68	51	0,0125
30	213	0,1183	75	57	0,0127
35	220	0,1047	85	66	0,0129
40	223,5	0,0931	95	75,5	0,0132
45	226	0,0837	105	84,5	0,0134
57	230	0,0672	115	93	0,0134
100	238	0,0397	129	107	0,0138
156	242	0,0258	136	113	0,0138
1500	243	0,0005	145	121	0,0139
			156	127	0,0135
			165	129,5	0,0131
			175	132	0,0126
			185	134	0,0121
			239	139	0,0097
			1121	171	0,0025
			1208	173,5	0,0024
			1317	176	0,0022
			1416	177,5	0,0021
			1595	180	0,0018

частинки осідають швидше, але витіснять шари води, яка рухається догори та перешкоджає осідати дрібнішим частинкам. Під час стисненого (зонного) осідання починає візуально спостерігатись чіткіша межа розділу фаз.

Зразок № 2 з концентрацією більше 48 г/л одразу на перших хвилинах вже має чітку межу розділу фаз і освітлена частина води є більш прозорою. Під час обмеженого осідання часток освітлення рідина є більш прозорою завдяки тому, що згруповані час-

тинки захоплюють та осаджують дрібнодисперсну фазу.

Рух межі розділу фаз при стисненому осіданні має майже лінійну динаміку (рис. 2–4), що в цілому свідчить, що при концентрації більше 50 г/л освітлення рідини, згущення шламу та ущільнення осаду має майже однакову швидкість. Однак, між межею розділу фаз і дном мірильного циліндру можна також спостерігати нерівномірне осадження крупніших часток, висхідні потоки рідини з тонкодисперсною фазою, яка витісняється при ущільненні осаду.

Аналіз рис. 2 та рис. 3 свідчить, що швидкість вільного осідання, яке спостерігається при низьких концентраціях, суттєво вище, ніж у концентрованих розчинів. Це спостереження може бути використане при підготовці стічної води для розділення гравітаційними методами у відстійниках. Іноді можливо знизити концентрації шляхом розбавлення стічної води або змішати рідинні потоки для прискорення процесу освітлення.

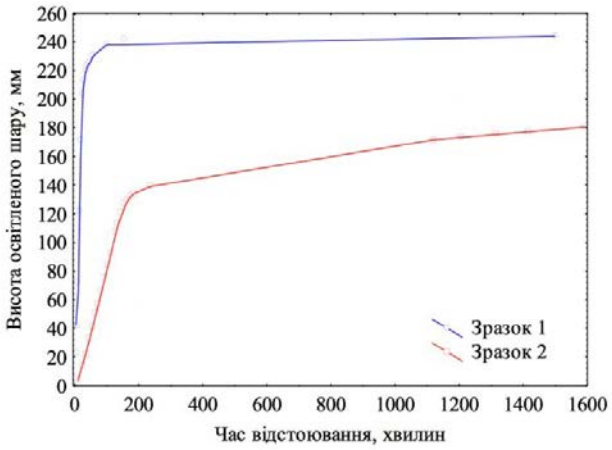


Рис. 2. Залежність висоти освітлення від часу відстоювання

З плином часу відбувається згущення суспензії і зростання концентрації у не освітленій частині мірильного циліндру (рис. 4). Це призводить до постійної зміни концентрації (наростання концентрації) в процесі осадження часток і переходу від вільного осідання до обмеженого (зонного), а потім і ущільнення осаду. Швидкість осадження твердої дрібнодисперсної фази в суспензії (швидкість освітлення) залежить від вихідної концентрації твердої фази, а максимальне значення швидкості осадження досягається при усередненій концентрації твердої фази 40–50 г/л в пробі 1, а в пробі *2* максимальне значення швидкості осадження досягається при усередненій концентрації твердої фази 70–80 г/л (рис. 4).

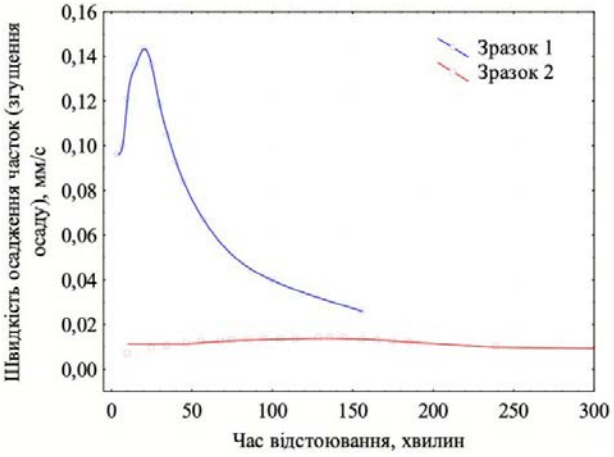


Рис. 3. Залежність швидкості осадження часток від часу відстоювання

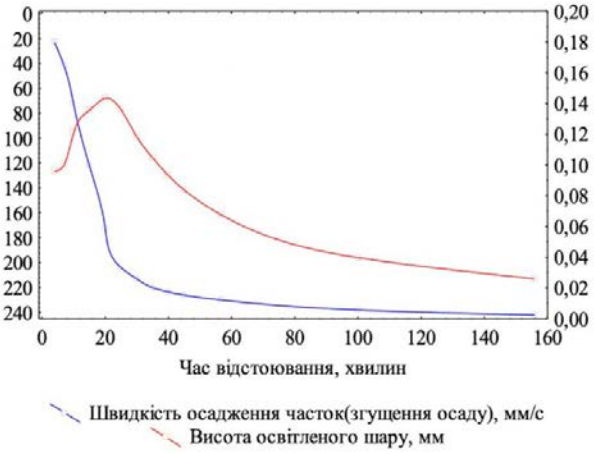


Рис. 4. Залежність висоти освітлення та швидкості осадження часток від часу відстоювання

Однак, слід відзначити, що навіть при низькій концентрації з плином часу відбувається згущення суспензії та зростання концентрації. Це призводить до переходу від вільного до стисненого (обмеженого) осідання часток, уповільнення швидкості осідання. Цей факт не завжди враховується у відстійних очисних спорудах і потребує корекції при розрахунку часу відстоювання. Порівняльний аналіз зміни зон та перехід від вільного осідання до стисненого, в залежності від зміни швидкості руху межі розділу фаз, наведено на рис. 4. Таким чином, дослідження кінетики осідання часток під час вибору способу очищення води та проєктування очисних споруд дозво-

ляє визначити такі параметри, як висоту освітленого шару зони вільного осідання; концентрацію твердої фази, за якої відбувається перехід до стисненого осідання; час початку ущільнення осаду. Ці параметри важливі для роботи відстійних споруд (відстійників) в безперервному режимі для визначення часу перебування рідини та відсоткового обсягу відведення освітленої води, згущеного шламу та осаду.

Наступним етапом досліджень було визначення впливу розміру часток на агрегатоутворення в процесі флокуляції. Для проведення досліду використовували пробу шламу (Зразок № 2) з вихідною концентрацією 48 г/л, в який додавалась проба зернистого шламу (Зразок № 3) для привнесення грубодисперсних часток в кількості по 6 г/л.

Під час експерименту використовували аніонний флокулянт А-19, неіоногенний флокулянт ТФН та катіонний флокулянт Zetag 8185 з концентрацією 0,05 %. Досліди із флокуляції проводилися наступним чином: спочатку дозувався флокулянт в пробу, перемішували і визначали швидкість осадження часток. Після цього сфлокульовану пробу перевіряли на міцність агрегатів – піддавали впливу мішалки протягом 30 с і 60 с, а потім після перемішування фіксувалася швидкість осадження за вже описаною методикою (Shkop et al., 2016; Shkop et al., 2017). Причому в пробі 1 швидкість осадження фіксувалася, коли була помітна чітка межа розділу фаз по висоті водяного стовпа (в середньому межа розділу фаз з'являлася на 7–8 с при висоті освітленого шару 110 мм), аналогічна картина спостерігалася і після впливу мішалки, руйнуючої флокули. Результати дослідження наведені в табл. 3 та рис. 5.

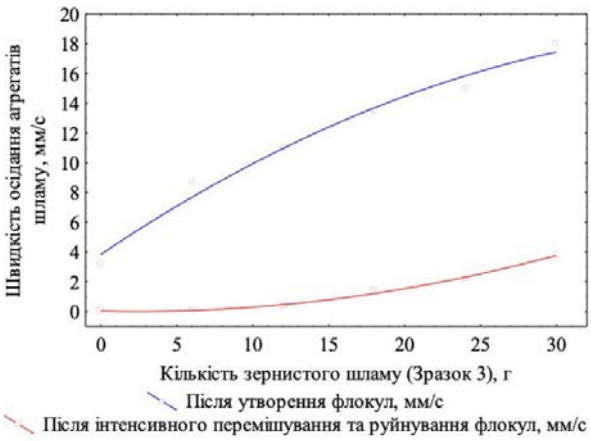


Рис. 5. Залежність швидкості осадження часток в процесі флокуляції від кількості зернистого шламу

Аналіз результатів флокуляції свідчить, що введення грубодисперсного шламу інтенсифікує седиментацію флокул, які утворюються і підвищують їх міцність. Візуальні спостереження свідчать, що введення додаткових грубодисперсних часток призводить до утворення більших за розміром флокул. Окрім того, введення грубодисперсних часток сприяє збільшенню ваги флокул і може бути напрямком для зменшення витрати флокулянтів.

Висновки

1. Порівняльний аналіз кінетики осідання проб *1* та *2* однакового гранулометричного складу, але різної концентрації показав, що процеси осідання часток мають різну динаміку, зони та швидкість освітлення води. Під час згущення при концентрації близько 50 г/л відбувається стиснене осідання і з'являється межа розділу фаз, що призводить до суттєвого уповільнення процесу. За цей час приблизно 2/3 висоти об'єму води освітлюється. Це може бути

Таблиця 3

Результати флокуляції зразків шламу

Вміст твердої фази в пробі, г/л	**Домішки**		**Швидкість осадження флокул, мм/с**	
	Зернистий шлам гвинтових сепараторів, г	**Кількість флокулянту (розчин 0,05 %), г/т**	**Після флокуляції**	**Після інтенсивного перемішування**
48	0	320*	3,2	0,04
54	6	300	8,75	0,09
60	12	280	11	0,33
66	18	260	13,5	1,4
72	24	240	15	2,2
78	30	220	18	3,8

Примітка: флокулянт подавався трьома порціями: неіоногенний флокулянт ТФН-3 в кількості 80 г/т, аніонний А-19 в кількості 160 г/т, катіонний Zetag 8185 в кількості 80 г/т.

враховано при очищенні води у відстійних спорудах як засіб швидкого відстоювання та відведення основної частини води слабоконцентрованих суспензій. З іншого боку, саме розбавлення концентрованих шламів перед відстоюванням може сприяти більш швидкому осадженню тонкодисперсних часток за рахунок їх вільного осідання.

2. Дослідження результатів порівняльної флокуляції зразків стічної води із введенням додаткової грубодисперсної фази дозволяє зробити висновки, що тонкодисперсні частки без додавання зернистого шламу мають більшу витрату флокулянта, а утворені флокули меншу міцність до механічного впливу. Тому при проведенні флокуляції може бути раціональним підготовка стічної води шляхом введення додаткових грубодисперсних часток, які сприятимуть збільшенню ваги флокул та проведенню процесу очищення стічної води із мінімальною витратою флокулянта. Наявність грубодисперсних часток сприяє утворенню міцних агрегатів для подальшого транспортування та зневоднення.

Список використаної літератури

Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України (Міндовкілля). Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні за 2023 рік. [Електронний ресурс]. URL: https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini/ (дата звернення 20.12.2025)

Genesis Water Tech. Innovative Solutions for Treating Wastewater from Mining Operations. 2024. [Електронний ресурс]. URL: https://genesiswatertech.com/blog-post/solutions-for-treating-wastewater-from-mining-operations/ (дата звернення 20.12.2025)

Gökçek Ö.B., Özdemir S. Optimization of the Coagulation–Flocculation Process for Slaughterhouse Wastewater Using Response Surface Methodology. *CLEAN – Soil, Air, Water.* 2020. Vol. 48(7–8). Portico. https://doi.org/10.1002/clen.202000033

Khazaie A., Mazarji M., Samali B., Osborne D., Minkina T., Sushkova S., Mandzhieva S., Soldatov A. A Review on Coagulation/Flocculation in Dewatering of Coal Slurry. *Water.* 2022. Vol. 14(6). P. 918. https://doi.org/10.3390/w14060918

Li S., Wang X., Zhang Q. Dynamic experiments on flocculation and sedimentation of argillized ultrafine tailings using fly-ash-based magnetic coagulant. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China.* 2016. Vol. 26(7). P. 1975–1984. URL: https://doi.org/10.1016/s1003-6326(16)64308-x

Mahapatra S.S., Vishwanathan A.S. Improving the Efficiency and Turnover of a Domestic Wastewater Treatment Plant Using Coagulation–Flocculation. *Water and Environment Journal.* 2025. Vol. 40, Issue 1. pp. 153–166. https://doi.org/10.1111/wej.70020

Martín M.A., González I., Berrios M., Siles J.A., Martín A. Optimization of coagulation–flocculation process for wastewater derived from sauce manufacturing using factorial design of experiments. *Chemical Engineering Journal.* 2011. Vol. 172(2–3). P. 771–782. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.060

Shestopalov O., Briankin O., Lebedev V., Troshin O., Muradian A., Ocheretna V., Yaremenko N. Identifying the properties of epoxy composites filled with the solid phase of wastes from metal enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019b. Vol. 6(10). P. 25–31. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186050

Shestopalov O., Briankin O., Rykusova N., Hetta O., Raiko V., Tseitlin M. Optimization of floccular cleaning and drainage of thin dispersed sludges. *EUREKA: Physics and Engineering.* 2020. Vol. 3. P. 75–86. https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001239

Shestopalov O., Briankin O., Tseitlin M., Raiko V., Hetta O. Studying patterns in the flocculation of sludges from wet gas treatment in metallurgical production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019a. Vol. 5(10). P. 6–13. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181300

Shkop A., Tseitlin M., Shestopalov O. Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. Vol. 6(10 (84)). P. 35–40. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86085

Shkop A., Tseitlin M., Shestopalov O., Raiko V. Study of the strength of flocculated structures of polydispersed coal suspensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. Vol. 1(10 (85)). P. 20–26. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91031

United Nations. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. 2024. [Електронний ресурс]. URL: https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2024 (дата звернення 20.12.2025)

United Nations. Sustainable Development Goals Report. 2025. [Електронний ресурс]. URL: https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/ (дата звернення 20.12.2025)

Veolia Water Technologies. Industrial Wastewater Treatment Solutions. 2025. [Електронний ресурс]. URL: https://www.veoliawatertech.com/en/expertise/applications/industrial-wastewater-treatment (дата звернення 20.12.2025)

Wang S., Song X., Wang X., Chen Q., Qin J., Ke, Y. Influence of coarse tailings on flocculation settlement. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials.* 2020. Vol. 27(8). P. 1065–1074. https://doi.org/10.1007/s12613-019-1948-9

Wei H., Gao B., Ren J., Li A., Yang H. Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. Water Research. 2018. Vol. 143. P. 608–631. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.029

World Bank. Water in Circular Economy and Resilience. 2023. [Електронний ресурс]. URL: https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wicer (дата звернення 20.12.2025)

Yuan J., Liu R., Jiang H., Duan C., Wang H., Wen D., Huang, L. Synergistic regulation mechanism and optimization research of coal slurry flocculation flotation and sedimentation dewatering. *International Journal of Coal Preparation and Utilization.* 2025. P. 1–37. https://doi.org/10.1080/19392699.2025.2526565

References

Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy (Mindovkillia). Rehionalni dopovidi pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini za 2023 rik. [Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine (Ministry of Environment). Regional reports on the state of the environment in Ukraine for 2023]. [Electronic resource]. URL: https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/regionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-seredovyshha-v-ukrayini/ (access date 20.12.2025) [in Ukrainian].

Genesis Water Tech. Innovative Solutions for Treating Wastewater from Mining Operations. 2024. [Electronic resource]. https://genesiswatertech.com/blog-post/solutions-for-treating-wastewater-from-mining-operations/ (access date 20.12.2025) [in English].

Gökçek, Ö.B. & Özdemir, S. (2020). Optimization of the Coagulation–Flocculation Process for Slaughterhouse Wastewater Using Response Surface Methodology. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 48(7–8). https://doi.org/10.1002/clen.202000033 [in English].

Khazaie, A., Mazarji, M., Samali, B., Osborne, D., Minkina, T., Sushkova, S., Mandzhieva, S. & Soldatov, A. A (2022). Review on Coagulation/Flocculation in Dewatering of Coal Slurry. *Water,* 14(6), 918. https://doi.org/10.3390/w14060918 [in English].

Li, S., Wang, X., & Zhang Q. (2016). Dynamic experiments on flocculation and sedimentation of argillized ultrafine tailings using fly-ash-based magnetic coagulant. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China,* 26(7), 1975–1984. https://doi.org/10.1016/s1003-6326(16)64308-x [in English].

Mahapatra, S.S., & Vishwanathan, A.S. (2025). Improving the Efficiency and Turnover of a Domestic Wastewater Treatment Plant Using Coagulation–Flocculation. *Water and Environment Journal,* Vol. 40, Issue 1, 153–166. https://doi.org/10.1111/wej.70020 [in English].

Martín, M.A., González, I., Berrios, M., Siles, J.A., & Martín A. (2011). Optimization of coagulation–flocculation process for wastewater derived from sauce manufacturing using factorial design of experiments. *Chemical Engineering Journal.* 172(2–3), 771–782. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.060 [in English].

Shestopalov, O., Briankin, O., Lebedev, V., Troshin, O., Muradian, A., Ocheretna, V. & Yaremenko N. (2019). Identifying the properties of epoxy composites filled with the solid phase of wastes from metal enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 6(10), 25–31. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.186050 [in English].

Shestopalov, O., Briankin, O., Rykusova, N., Hetta O., Raiko, V. & Tseitlin, M. (2020). Optimization of floccular cleaning and drainage of thin dispersed sludges. *EUREKA: Physics and Engineering,* 3, 75–86. https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001239 [in English].

Shestopalov, O., Briankin, O., Tseitlin, M., Raiko, V., & Hetta, O. (2019). Studying patterns in the flocculation of sludges from wet gas treatment in metallurgical production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 5(10), 6–13. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181300 [in English].

Shkop, A., Tseitlin, M., & Shestopalov, O. (2016). Exploring the ways to intensify the dewatering process of polydisperse suspensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 6(10(84)), 35–40. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86085 [in English].

Shkop, A., Tseitlin, M., Shestopalov, O., & Raiko, V. (2017). Study of the strength of flocculated structures of polydispersed coal suspensions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 1(10 (85)), 20–26. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.91031 [in English].

United Nations. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. [Electronic resource]. URL: https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2024 (access date 20.12.2025) [in English].

United Nations. Sustainable Development Goals Report (2025). [Електронний ресурс]. URL: https://unstats.un.org/sdgs/report/2025/ (дата звернення 20.12.2025)

Veolia Water Technologies. Industrial Wastewater Treatment Solutions. [Electronic resource]. URL: https://www.veoliawatertech.com/en/expertise/applications/industrial-wastewater-treatment (access date 20.12.2025) [in English].

Wang, S., Song, X., Wang, X., Chen, Q., Qin, J., & Ke, Y. (2020). Influence of coarse tailings on flocculation settlement. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials,* 27(8), 1065–1074. https://doi.org/10.1007/s12613-019-1948-9 [in English].

Wei, H., Gao, B., Ren, J., Li, A., & Yang, H. (2018). Coagulation/flocculation in dewatering of sludge: A review. *Water Research*, 143, 608–631. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.029 [in English].

World Bank. Water in Circular Economy and Resilience (2023). [Electronic resource]. URL: https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wicer (access date 20.12.2025) [in English].

Yuan, J., Liu, R., Jiang, H., Duan, C., Wang, H., Wen, D., & Huang, L. (2025). Synergistic regulation mechanism and optimization research of coal slurry flocculation flotation and sedimentation dewatering. *International Journal of Coal Preparation and Utilization,* 1–37. https://doi.org/10.1080/19392699.2025.2526565 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 24.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 63+502/636.2/637.1
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.27

ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ОРГАНІЗМІ ДІЙНИХ КОРІВ З РІЗНИМИ РАЦІОНАМИ ГОДІВЛІ

С. В. Портянник[1], О. М. Маменко[2], О. М. Церенюк[3], А. О. Онищенко[4]

Забруднення довкілля важкими металами (ВМ) чинить негативний вплив на стан сільськогосподарських угідь і тварин. Екологічна безпека в умовах війни є надзвичайно загрозливою. Важкі метали Cd, Pb та ін. швидко мігрують у біосфері, потрапляючи з раціоном в організм дійних корів, акумулюються у внутрішніх органах, тканинах. Експеримент проведено на коровах, відібраних методом аналогів за живою масою і продуктивністю. Наприкінці досліду, що тривав 120 днів, забито по три тварини з кожної піддослідної групи. Аналіз середніх зразків нирок, печінки, селезінки, легень, серця, кісткової і м'язової тканини на вміст екотоксикантів зроблено атомно-абсорбційним методом. Мета досліджень – встановлення концентрації кадмію та плюмбуму в нирках, печінці, легенях, серці, селезінці, кістковій та м'язовій тканині лактуючих корів за різних раціонів годівлі. Найбільша концентрація Cd спостерігалася в нирках, м'язах, печінці, легенях, селезінці, серці, кістках, а Pb – у легенях, нирках, м'язах, печінці, кістках, селезінці, серці. На нирки, м'язи, печінку припадало 57 % від загальної кількості перевищення гранично допустимої концентрації кадмію. Печінка, нирки, селезінка, легені найбільше акумулювали кадмій. Нирки та печінка приймали на себе головний удар екотоксиканта кадмію. На них разом припадало 38 % контамінації. По 69 % перевищення гранично допустимої концентрації Pb припадало на нирки, печінку, м'язи, легені, по 31 % – селезінку, кістки, серце. У нирках, печінці, головному мозку, кістковій тканині акумуляція

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
старший науковий співробітник лабораторії екологічної безпеки в тваринництві
(Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН України, м. Полтава)
e-mail: portynnyk@i.ua
ORCID: 0000-0001-5716-7352
[2] доктор сільськогосподарських наук, професор,
головний науковий співробітник лабораторії годівлі, фізіології живлення
сільськогосподарських тварин та кормовиробництва
(Інститут тваринництва НААН України, м. Харків)
e-mail: z-t_e-y2015@meta.ua
ORCID: 0000-0003-3638-2525
[3] доктор сільськогосподарських наук, професор
(Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН України, м. Полтава)
e-mail: tserenyuk@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4797-9685
[4] кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
(Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН України, м. Полтава)
e-mail: geroi76@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0684-1201

плюмбуму була найвищою. Нирки, печінка, легені найбільше концентрують важкі метали, кадмій та плюмбум, котрі є небезпечними контамінантами. Їх акумуляційний вплив змінюється залежно від виду раціонів і застосованих антидотів у вигляді преміксу та фітобіопрепарату в технологічному процесі виробництва екологічно безпечного коров'ячого молока.

Ключові слова: *внутрішні органи, тканина, тип годівлі, кадмій, плюмбум.*

HEAVY METALS CONTENT IN THE ORGANISM OF LIVING COWS WITH DIFFERENT FEEDING DIETS

S. V. Portiannyk, O. M. Mamenko, O. M. Tsereniuk, A. O. Onyshchenko

Environmental pollution with heavy metals (HM) has a negative impact on the condition of agricultural lands and animals. Ecological safety in war conditions is extremely threatening. Heavy metals Cd, Pb, etc. quickly migrate in the biosphere, entering the body of dairy cows with the diet, accumulate in internal organs and tissues. The experiment was conducted on cows selected by the method of analogues for live weight and productivity. At the end of the experiment, which lasted 120 days, three animals from each experimental group were slaughtered. Analysis of average samples of kidneys, liver, spleen, lungs, heart, bone and muscle tissue for the content of ecotoxicants was carried out by the atomic absorption method. The purpose of the research is to determine the concentration of cadmium and lead in the kidneys, liver, lungs, heart, spleen, bone and muscle tissue of lactating cows under different feeding rations. For Cd, the highest concentration was in the kidneys, muscles, liver, lungs, spleen, heart, bones, and for Pb, the lungs, kidneys, muscles, liver, bones, spleen, heart. Kidneys, muscles, liver accounted for 57% of the total excess of the maximum permissible concentration for cadmium. The highest accumulation effect. The liver, kidneys, spleen, lungs accumulated cadmium the most. The kidneys and liver take the main blow of the ecotoxicant cadmium. Together, they account for 38% of the contamination. For Pb, 69% of the excess of the maximum permissible concentration is accounted for by the kidneys, liver, muscles, lungs, 31% by the spleen, bones, heart. The accumulation of lead is highest in the kidneys, liver, brain, and bone tissue. The kidneys, liver, and lungs concentrate the heavy metals cadmium and lead, which are dangerous contaminants, the accumulation of which varies depending on the type of diet and the antidotes used in the form of premixes and phytobiopreparations in the technological process of producing environmentally safe cow's milk.

Key words: *internal organs, tissue, type of feeding, cadmium, lead.*

Вступ

Важкі метали, особливо такі небезпечні, як кадмій, плюмбум, ртуть та інші, потрапляють у довкілля внаслідок техногенного, а сьогодні і мілітарного впливу. Порушення науково-обґрунтованих норм застосування агрохімікатів також призводить до акумуляції токсикантів у компонентах біосфери. Забруднення навколишнього природного середовища здійснюють неконтрольовані викиди промислових підприємств, техногенні аварії, викиди автотранспорту тощо. Акумулюючись у ґрунті, рослинах полютанти потрапляють із кормами в раціон дійних корів, накопичуються в організмі у внутрішніх органах і тканинах, виводяться з молоком (Засєкін та ін., 1995; Засєкін, 1999; Засєкін, 2000; Засєкін та ін., 2000; Маменко, 2000; Буцяк і Кравців, 2003; Portiannyk & Mamenko, 2021; Величко, 2023; Portiannyk et al., 2024).

До існуючих антропогенного-техногенних факторів забруднення довкілля з 2022 року додалося забруднення повітря, ґрунту, води внаслідок бойових дій. У деяких регіонах України ситуація перебуває на межі екологічної катастрофи, забруднення сільськогосподарських угідь є дуже значним. У післявоєнний період ситуація щодо забруднення ВМ агроекосистем не зменшиться. Виробництво екологічно безпечної продукції тваринництва молока, м'яса тощо та збереження здоров'я тварин буде актуальним і важливим завданням. Вміст ВМ у молоці, внутрішніх органах, тканинах залежить від інтенсивності забруднення екосистем, виду раціону і його збалансованості, технології утримання тварин, продуктивності тощо (Ковальчук і Федорук, 2006; Кушнір і Оніпко, 2018).

Акумуляція кадмію та плюмбуму в організмі тварин спричиняє токсичний ефект, що негативно впливає на функціонування нирок, печінки інших органів і систем, розвиваються процеси канцерогенезу, знижується резистентність (Liu et al., 2009;

Hashemi, 2018;). Тому актуальними є дослідження щодо контамінації ВМ в організмі дійних корів за різних типів годівлі й застосування спеціальних антидотних речовин для зниження хронічної інтоксикації в умовах технології виробництва коров'ячого молока.

Метою досліджень є встановлення концентрації кадмію та плюмбуму в нирках, печінці, легенях, серці, селезінці, кістковій та м'язовій тканині корів за різних раціонів годівлі.

Матеріал і методи

Науково-господарські досліди проведено на скотарських фермах Лісостепової ґрунтово-кліматичної зони України. Дійних корів із третім періодом лактації відібрано методом аналогів за живою масою, продуктивністю. Тваринам першої контрольної групи з різними типами раціонів згодовувався основний раціон. У другій дослідній групі основний раціон добалансовано преміксом «МП-А», у третій – антидотну дію преміксу посилено ін'єкцією фітобіопрепарату «БП-9». У годівлі корів української чорно- і червоно-рябої молочної породи застосовували раціони силосно-сінажного, силосно-коренеплодного, силосно-сінного та силосно-сінажно-концентратного типу. Середня жива маса корів – 500–545 кг. Дослід тривав 120 днів. Наприкінці проведено гострий дослід. Забито по три тварини з кожної піддослідної групи та відібрано середні зразки внутрішніх органів і тканин. У лабораторії методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії проведено аналіз зразків на вміст кадмію, плюмбуму. Статистичну обробку отриманих результатів зроблено в програмі STATISTICA версії 10.0. Визначено середнє значення концентрації полютантів у виборці (M) і стандартне відхилення (SD). У таблиці дані наводяться у вигляді діапазону середнього значення (M). Розбіжності між середніми значеннями вважали статистично вірогідними за $p < 0,05$.

Результати

Після проведення гострого досліду внутрішні органи ретельно оглянуті ветлікарем і не виявлено патологічних змін, відхилень. Печінка нормального кольору, пружна. Нирки із характерною хвилястістю долей, типового кольору із чітко помітною лінією поділу сірої та білої речовини. Селезінка має характерну зернистість на зрізі, помірну щільність, специфічний колір. Легені без уражень, проявів запалення.

Концентрація ВМ у нирках, печінці, селезінці, серці, легенях, кістковій і м'язовій тканині є головним показником, що підтверджує потрапляння екотоксикантів в організм тварин із раціоном, водою чи з атмосферного повітря в процесі філогенезу.

Результати лабораторних досліджень показують, що згодовування премікса дійним коровам та ін'єкція біопрепарату вплинули на перерозподіл плюмбуму, кадмію у досліджуваних органах і тканинах.

Вміст ВМ може бути не лише у виробленому молоці, але й у м'язовій тканині, ураження зазнають внутрішні органи, що відіграють важливу роль у знешкодженні й екскреції небезпечних полютантів. Cd, Pb безперешкодно проникають із кормами раціону через шлунково-кишковий тракт (ШКТ). Токсиканти всмоктуються в кров, розносяться по організму, акумулюються у внутрішніх органах і тканинах, котрі у корів перших контрольних груп із різними раціонами не відповідали встановленим нормам (табл. 1 та рис. 1–2).

У порядку зменшення концентрації найбільше акумулювали кадмій нирки, м'язова тканина, печінка, легені, селезінка, серце та кісткова тканина; плюмбум легені, нирки, м'язова тканина, печінка, кісткова тканина, селезінка та серце (див. табл. 1). 57 % від загальної кількості перевищення гранично допустимої концентрації Cd припадає на нирки, м'язову тканину та печінку. Нами встановлено рівномірний розподіл елемента в легенях, селезінці, серці та кістковій тканині. Кадмій без винятку стає доступним всім органам і тканинам організму, що може впливати на його гомеостаз. М'язова тканина.

Акумулює полютанта в небезпечній концентрації. Токсичний удар передусім сприймають нирки й печінка – на них припадає 38 %. Стосовно плюмбуму, то 69 % його припадає на нирки, печінку, м'язову тканину та легені, а 31 % – на селезінку, кісткову тканину та серце. Акумуляція полютанта в легенях означає надходження його в організм із вдихуваним атмосферним повітрям протягом усього часу існування тварини. 34 % вмісту елемента припадає на нирки та печінку. Плюмбум, як і кадмій, – два небезпечні екотоксиканти з ефектом акумуляції в органах та тканинах. Процес їх виведення з організму значно повільніший, ніж накопичення. У таких ситуаціях ризик негативного впливу на стан здоров'я тварин, їх продуктивність і якість молока, його екологічну безпеку є дуже значним.

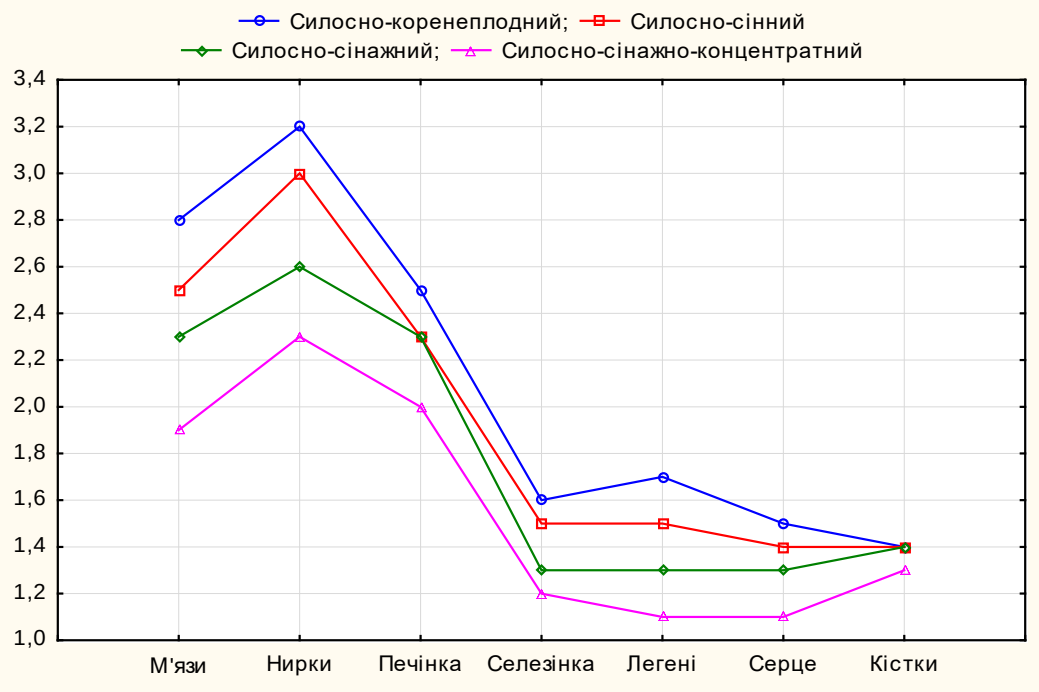


Рис. 1. Перевищення ГДК Cd у внутрішніх органах і тканинах тварин перших контрольних груп за різних типів раціонів (раза)

Таблиця 1

Перевищення гранично допустимої концентрації важких металів у внутрішніх органах і тканинах дійних корів

Орган (тканина), що акумулювали важкий метал у корів із силосно-коренеплодним, силосно-сінним, силосно-сінажним та силосно-сінажно-концентратним типом раціону (раза)					
Cd	1	нирки у 3,2; 3,0; 2,6; 2,3	Pb	1	нирки у 4,5; 4,4; 4,0; 3,5
	2	печінка у 2,5; 2,3; 2,3; 2,0		2	легені у 4,6; 4,1; 3,7; 3,0
	3	легені у 1,7; 1,5; 1,3; 1,1		3	печінка у 3,1; 2,9; 2,8; 2,7
	4	селезінка у 1,6; 1,5; 1,3; 1,2		4	м'язи у 3,4; 2,9; 2,5; 2,2
	5	серце у 1,5; 1,4; 1,3; 1,1		5	кістки у 2,8; 2,5; 2,5; 2,1
	6	кістки у 1,4; 1,4; 1,3; 1,2		6	селезінка у 2,5; 2,5; 2,1; 1,7
	7	м'язи у 2,8; 2,5; 2,3; 1,9		7	серце у 1,9; 1,8; 1,6; 1,4

Примітка: ГДК Cd у м'язовій тканині – 0,005 мг/кг, нирках – 1,0 мг/кг, субпродуктах – 0,3 мг/кг, Pb – 0,5, 1,0 та 0,6 мг/кг відповідно (Обов'язковий мінімальний перелік досліджень сировини, продукції тваринного та рослинного походження, 1998).

Таблиця 2

Порядок розташування органів і тканин корів перших контрольних груп за фактичним вмістом важких металів

Орган (тканина) накопичення токсичних важких металів (у порядку зменшення вмісту токсикантів), мг/кг сирої речовини					
Cd	1	нирки 2,305–3,241	Pb	1	нирки 3,452–4,522
	2	печінка 0,611–0,752		2	легені 1,812–2,763
	3	легені 0,331–0,513		3	печінка 1,607–1,865
	4	селезінка 0,361–0,486		4	м'язи 1,083–1,691
	5	серце 0,337–0,459		5	кістки 1,234–1,685
	6	кістки 0,392–0,423		6	селезінка 1,029–1,503
	7	м'язи 0,094–0,140		7	серце 0,840–1,146

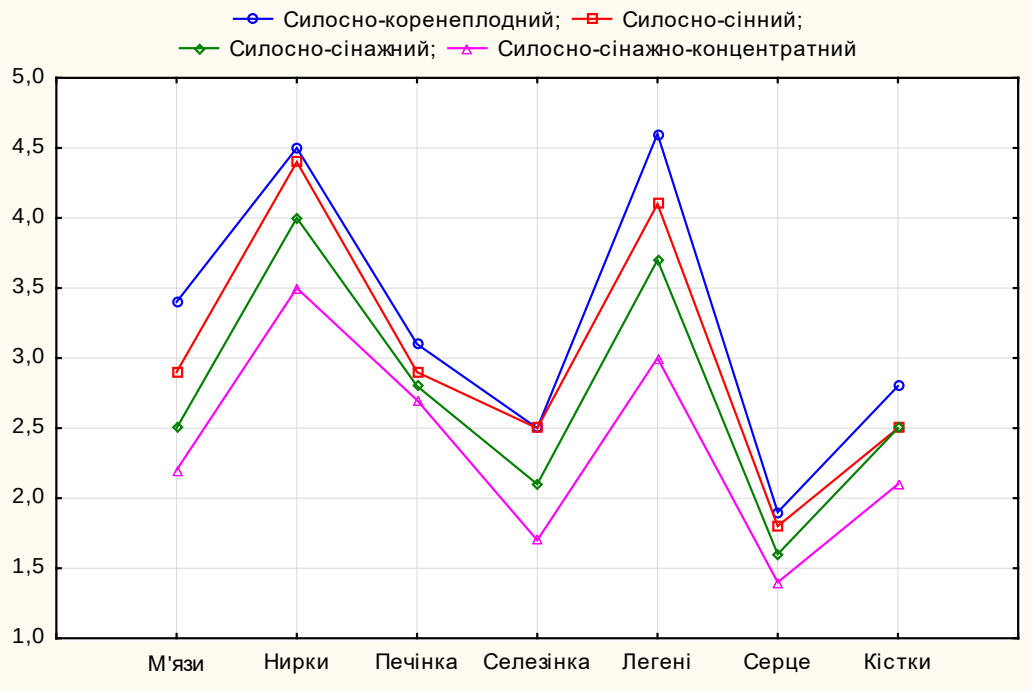


Рис. 2. Перевищення ГДК Pb у внутрішніх органах і тканинах тварин перших контрольних груп за різних типів раціонів (раза)

У таблиці 2 наведено розташування досліджуваних органів і тканин корів перших контрольних груп за рівнем концентрації екотоксикантів Cd та Pb.

Як бачимо з таблиці 2, нирки, печінка та легенева тканина мають найбільшу концентрацію кадмію та плюмбуму, що в умовах цього експерименту й екологічних факторів впливу на довкілля є закономірним. Нирки, печінка – органи-мішені щодо ураження ВМ. Легенева, м'язова тканина, селезінка та серце теж накопичують велику кількість полютантів, що може негативно впливати на ендоекологічний стан організму тварин загалом.

Обговорення

Результати наших досліджень узгоджуються з даними як вітчизняних, так і закордонних вчених (Засєкін та ін., 1995; Засєкін, 1999; Засєкін, 2000; Засєкін та ін., 2000; Маменко, 2000; Кравців та ін., 2001; Буцяк і Кравців, 2003; Hashemi, 2018; Mulugeta et al., 2022; Jude et al., 2024). В умовах хронічної інтоксикації ВМ органами-мішенями є нирки, печінка, крім того, легені, серце, селезінка, кісткова та м'язова тканини також накопичують полютанти у великій кількості.

Згодовування тваринам мінерально-вітамінного премікса та ін'єкція біопрепарату з екстракту дев'яти лікарських рослин діяли як антидотні речовини, знижуючи вміст кадмію та плюмбуму в нирках, печінці, селезінці, серці, м'язовій, легеневій та кістковій тканинах корів других і третіх дослідних груп. Зниження вмісту кадмію найбільше встановлено в нирках корів із силосно-коренеплодним типом годівлі, у середньому в другій групі у 2,5 раза, у третій – у 3,6 раза порівняно з першою контрольною групою. Концентрація елемента знизилася з 0,140 ± 0,006 мг/кг у першій контрольній групі до 0,047 ± 0,007 мг/кг у другій та 0,043 ± 0,006 мг/кг у третій дослідній групі відповідно ($p < 0,001$). Добалансування основного раціону премікcом позитивно вплинуло на зниження концентрації кадмію у м'язовій тканині другої та третьої дослідних груп корів на 66,4–69,2 % порівняно з першою контрольною групою, що доводить ефективність цього технологічного прийому для виробництва екологічно безпечного м'яса яловичини.

У корів, яким згодовувалися раціони інших типів, спостерігалася подібна ситуація, отже, склад премікcу і біопрепарату розроблені нами правильно. У тварин із силосно-сінним раціоном найбільший вміст кадмію зафіксовано в печінці, а у корів із силосно-коренеплодним раціоном – у нирках. За силосно-коренеплодного типу

годівлі тварини отримували більше соковитих кормів, за силосно-сінного – грубих. Лігніфікована целюлоза клітковини знижувала відкладення в організмі токсикантів, що підтверджується зниженням вмісту їх у крові, внутрішніх органах, субпродуктах (Portiannyk & Mamenko, 2021). Кращий антитоксичний ефект антидотних речовин проявився у тварин із силосно-сінажним та силосно-сінажно-концентратним раціоном. Вміст кадмію у дослідних групах знизився максимально і відповідав допустимим нормам концентрації ($p < 0,001$). Встановлено найвище зниження кадмію у м'язовій тканині корів другої та третьої дослідних груп із силосно-коренеплодним і силосно-сінним раціоном порівняно з першою контрольною групою.

На зменшення всмоктування плюмбуму в шлунково-кишковому тракті впливають залізо, кальцій, фосфати, магній, етанол, жири. Нами додано до складу премікса «МП-А» дикальційфосфат, спалену магнезію, що сприяло конкуренції металів на відповідних ділянках зв'язування. Кількість всмоктування плюмбуму в ШКТ залежить від кількості елемента, котра потрапила з кормами раціонів. Транспорт плюмбуму через епітеліальну тканину слизової оболонки кишківника стимулює жовч, біопрепарат у такій ситуації відіграє важливу роль. У других дослідних групах, де не застосовувався препарат, акумуляція токсиканта у внутрішніх органах і тканинах корів із різними раціонами була вищою. У м'язовій тканині тварин із силосно-коренеплодним типом годівлі концентрація плюмбуму 0,483 ± 0,017 мг/кг, із силосно-сінним – 0,475 ± 0,005, із силосно-сінажним – 0,430 ± 0,003, із силосно-сінажно-концентратним – 0,373 ± 0,007 мг/кг є значно нижчою порівняно з першою контрольною групою ($p < 0,001$). Вміст плюмбуму в органах і тканинах вдалося зменшити в середньому в 1,3–5,8 раза у тварин із силосно-коренеплодним типом годівлі, у 3,1–6,0 – із силосно-сінним, 2,9–6,5 – із силосно-сінажним, у 2,7–8,3 раза – із силосно-сінажно-концентратним відповідно ($p < 0,001$). Надходження Pb з кормами раціону було найвищим у тварин із силосно-коренеплодним раціоном, потім – силосно-сінним, силосно-сінажним та силосно-сінажно-концентратним. Зменшення плюмбуму в зразках, безумовно, обумовлене типом годівлі, котрий сприяв посиленню екскреції цього елемента в середньому на 66–86,4 % у тварин із силосно-сінажним і 63,1–88 % із силосно-сінажно-концентратним раціоном ($p < 0,001$).

Рівномірне і досить високе зниження плюмбуму у м'язовій тканині, нирках, печінці, селезінці, серці, легеневій та кістковій тканинах є важливим у технології виробництва екологічно безпечної продукції тваринництва, як молока, так і м'яса. Хімічний аналіз легеневої тканини підтвердив потрапляння плюмбуму із вдихуваним повітрям. Комплексне застосування антидотних речовин загалом забезпечило стійку динаміку зменшення полютанта у внутрішніх органах і тканинах тварин за всіх типів годівлі ($p < 0,001$).

Науковці (Jude et al., 2024) відбирали протягом шести тижнів середні проби по 100 грамів кожна нирок, печінки, м'язової тканини тварин на бійні в Нігерії і робили відповідний аналіз. Встановили середній вміст Al, Cd, Cr, Ni та Pb у нирках, печінці, м'язах корів, кіз, овець. Концентрація (мг/кг) алюмінію коливалася до 42,4, кадмію – від 0,34 до 0,95, хрому – до 1,68, нікелю – від 0,42 до 9,22, плюмбуму – до 1,49. Концентрація кадмію у м'язових тканинах перевищувала норму 0,05 мг/кг у всіх внутрішніх органах, встановлених регуляторними органами країни та в печінці кіз. Середній вміст плюмбуму у м'язовій тканині та печінці досліджуваних тварин перевищував допустимі норми 0,1 мг/кг та 0,2 мг/кг відповідно, встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я. Учені рекомендують моніторинг споживання відповідних продуктів із міркувань захисту здоров'я людей, споживачів продукції, що, на думку науковців, сприяє контролю безпеки кормів для тварин, зменшенню кількості важких металів, котрі потрапляють із раціоном. Дослідники з Ефіопії (Mulugeta et al., 2022) також досліджували важкі метали в нирках, печінці, м'язовій тканині великої рогатої худоби. Загальні середні концентрації чотирьох металів коливалися в діапазоні: 1,5–11,5 для міді, до 1,05 для хрому, 0,42–1,5 для плюмбуму та до 0,41 для кадмію. Найвища середня концентрація отримана для міді у зразках печінки – 11,50 ± 0,53 мг/кг і найнижча для кадмію у зразках м'язової тканини – 0,060 ± 0,004 мг/кг. Печінка містила найбільший вміст досліджуваних токсикантів порівняно з нирками і м'язовою тканиною, за винятком кадмію, для котрого вміст був найвищим у нирках ($p < 0,05$). Науковці виявили важкі метали в різних діапазонах

концентрацій у всіх зразках тканин великої рогатої худоби. Рівень полютантів у більшості зразків перевищував допустимі норми. Учені звертають увагу, що печінка є органом-мішенню для біоакумуляції практично всіх важких металів, тоді як нирки, де вміст кадмію був найвищим, є органом, котрий переважно акумулює кадмій, що узгоджується з нашими результатами досліджень.

Таким чином, вивченням вмісту важких металів у нирках, печінці, селезінці, серці, легеневій, кістковій та м'язовій тканинах тощо різних видів сільськогосподарських тварин займаються як вітчизняні, так і закордонні вчені, що пов'язано з відповідною екологічною ситуацією. Застосування антидотних речовин сприяє зменшенню акумуляції токсикантів в організмі дійних корів, що сприяє виробництву високоякісної продукції тваринництва, молока, збереженню здоров'я тварин. Тривале надходження кадмію та плюмбуму з основними раціонами різних типів без застосування антидотів призводить до поступового накопичення полютантів у внутрішніх органах і тканинах, що обумовлене повільним виведенням їх з організму.

Висновки

Гострий дослід на дійних коровах перших контрольних груп доводить, що токсичні важкі метали Cd, Pb – небезпечні контамінанти, концентруються у внутрішніх органах і тканинах тварин із різними раціонами. Згодовування спеціального преміксу та ін'єкція біопрепарату діють як антидоти, зменшуючи акумуляцію полютантів в органах-мішенях: нирках, печінці, м'язовій тканині, що доводить їх позитивний ефект у технології виробництва екологічно безпечного коров'ячого молока. Раціони силосно-сінажного та силосно-сінажно-концентратного типу більшою мірою, ніж силосно-коренеплодного та силосно-сінного, сприяли зменшенню накопичення небезпечних токсикантів в організмі корів.

Подальші дослідження спрямовані на аналіз концентрації важких металів у внутрішніх органах і тканинах залежно від породного фактора.

Список використаної літератури

Буцяк В.І., Кравців Р.Й. Вплив цеолітів на трансформацію важких металів органами та тканинами корів в умовах антропогенного навантаження. *Біологія тварин.* 2003. Т. 5. № 1–2. С. 306–310.

Величко В.О. Ветеринарно-санітарна оцінка вмісту технологічно шкідливих речовин у молоці та їх виведення з організму тварини. *Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних лікарських засобів та кормових добавок та Інституту біології тварин.* 2023. № 24 (2). С. 54–58. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-2.06 .

Засєкін Д.А., Захаренко М.О., Свинаренко О.І. Шляхи отримання екологічно чистої продукції тваринництва в регіонах України з високим рівнем важких металів у навколишньому середовищі. *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Сучасні проблеми екології та гігієни виробництва продукції тваринництва.* 2000. Вип. 8. Т. 1. С. 61.

Засєкін Д.А., Шабельник М.М., Томчук В.А. Міграція важких металів в організм тварин за умов екологічно різних господарств. *Матеріали науково-практичної конференції.* Б. Церква, 1995. С. 146–147.

Засєкін Д.А. До питання надходження важких металів в організм тварин. *Вісник аграрної науки.* 1999. № 12. С. 59–61.

Засєкін Д.А. Вміст важких металів у м'ясі та субпродуктах корів з екологічно різних ферм України. *Науковий вісник Національної академії наук.* 2000. Вип. 24. С. 25–28.

Кушнір С.О., Оніпко А.Д. Екологічна ситуація в Україні: аналіз проблем та фінансування напрямків їх подолання. *Економічний простір.* 2018. № 136. С. 191–201.

Ковальчук І.І., Федорук Р.С. Вміст окремих важких металів у молоці і тканинах корів при експериментальному навантаженні кадмієм. *Вісник Дніпропетровського аграрного університету.* 2006. № 1. С. 58–62.

Кравців Р.Й., Салата В.З., Дашковський О.О. Свинець: екологічні аспекти, метаболізм, антагонізм, токсичність, лікування та профілактика : монографія. Львів, 2001. 96 с.

Маменко О.М. Екологічні проблеми виробництва, переробки та забезпечення високої якості продукції тваринництва. *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Сучасні проблеми екології та гігієни виробництва продукції тваринництва.* 2000. Вип. 8. Т. 1. С. 3–8.

Обов'язковий мінімальний перелік досліджень сировини, продукції тваринного та рослинного походження, комбікормової сировини, комбікормів, вітамінних препаратів та ін. які слід проводити в державних лабораторіях ветеринарної медицини і за результатами яких видається ветеринарне свідоцтво (Ф-2). Держ. деп. вет. медицини. Київ, 1998. 32 с.

Hashemi S. Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2018. Vol. 154 (15). P. 263–267. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.058.

Jude E., Olatayo O., Ephriam M., Tenimu A., Queen E., Godfrey O., Anthony A. Carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment of heavy metals in the offal of animals from Felele Abattoir, Lokoja, Nigeria, *Toxicology Reports.* 2024. Vol. 13. 101701. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101701.

Liu J., Qu W., Kadiiska M. Role of oxidative stress in cadmium toxicity and carcinogenesis. *Toxicology and Applied Pharmacology.* 2009. Vol. 238 (3). P. 209–214. https://doi.org/10.1016/j.taap.2009.01.029.

Mulugeta L., Setegn K., Tilahun B., Atnafu G., Addis K., Rodrigo R. Heavy metal contents in bovine tissues (kidney, liver and muscle) from Central Gondar Zone, Ethiopia, *Heliyon.* 2022. Vol. 8. Issue 12. e12416. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12416.

Portiannyk S., Mamenko O. Removal of toxic metals from the body of cows by using antidote substances, with its impact on milk productivity and environmental safety of agroecosystems around the industrial city in Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources.* 2021. Vol. 4 (4). P. 154–177. https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040411.

Portiannyk S., Mamenko O., Rybalko V., Onyshchenko A. Application of Effective Technological Methods for the Production of Environmentally Safe Cow's Milk, *Vet Med Zoot.* 2024. Vol. 82 (2). P. 70–80. https://doi.org/10.5281/zenodo.15718492.

References

Butsiak, V.I., & Kravtsiv, R.Y. (2003). Vplyv tseolitiv na transformatsiiu vazhkykh metaliv orhanamy ta tkanynamy koriv v umovakh antropohennoho navantazhennia [The influence of zeolites on the transformation of heavy metals by organs and tissues of cows under conditions of anthropogenic load]. *Biolohiia tvaryn [Animal biology],* 5 (1–2), 306–310 [in Ukrainian].

Velychko, V.O. (2023). Veterynarno-sanitarna otsinka vmistu tekhnolohichno shkidlyvykh rechovyn u molotsi ta yikh vyvedennia z orhanizmu tvaryny [Veterinary and sanitary assessment of the content of technologically harmful substances in milk and their excretion from the animal's body]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh likarskykh zasobiv ta kormovykh dobavok ta Instytutu biolohii tvaryn [Scientific and technical bulletin of the State Research Control Institute of Veterinary Medicines and Feed Additives and the Institute of Animal Biology],* 24 (2), 54–58. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-2.06 [in Ukrainian].

Zasiekin, D.A., Zakharenko, M.O., & Svynarenko, O.I. (2000). Shliakhy otrymannia ekolohichno chystoi produktsii tvarynnytstva v rehionakh Ukrainy z vysokym rivnem vazhkykh metaliv u navkolyshnomu seredovyshchi [Ways to obtain environmentally friendly livestock products in regions of Ukraine with high levels of heavy metals in the environment]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu. Suchasni problemy ekolohii ta hihiieny vyrobnytstva produktsii tvarynnytstva [Collection of scientific papers of Vinnytsia State Agrarian University. Modern problems of ecology and hygiene of livestock production],* 8 (1), 61 [in Ukrainian].

Zasiekin, D.A., Shabelnyk, M.M., & Tomchuk, V.A. (1995). Mihratsiia vazhkykh metaliv v orhanizm tvaryn za umov ekolohichno riznykh hospodarstv [Migration of heavy metals into the body of animals under ecologically different farming conditions]. *Materialy naukovo-praktychnoi konferentsii [Materials of the scientific and practical conference].* B. Tserkva (pp. 146–147) [in Ukrainian].

Zasiekin, D.A. (1999). Do pytannia nadkhodzhennia vazhkykh metaliv v orhanizm tvaryn [On the issue of heavy metals entering the animal body]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agricultural Science],* 12, 59–61 [in Ukrainian].

Zasiekin, D.A. (2000). Vmist vazhkykh metaliv u miasi ta subproduktakh koriv z ekolohichno riznykh ferm Ukrainy [Heavy metal content in meat and by-products of cows from ecologically different farms in Ukraine]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoi akademii nauk [Scientific Bulletin of the National Academy of Sciences],* 24, 25–28 [in Ukrainian].

Kushnir, S.O., & Onipko, A.D. (2018). Ekolohichna sytuatsiia v Ukraini: analiz problem ta finansuvannia napriamkiv yikh podolannia [Environmental situation in Ukraine: analysis of

problems and financing directions for overcoming them]. *Ekonomichnyi prostir [Economic space],* 136, 191–201 [in Ukrainian].

Kovalchuk, I.I., & Fedoruk, R.S. (2006). Vmist okremykh vazhkykh metaliv u molotsi i tkanynakh koriv pry eksperymentalnomu navantazhenni kadmiiem [The content of individual heavy metals in milk and tissues of cows under experimental cadmium loading]. *Visnyk Dnipropetrovskoho ahrarnoho universytetu [Bulletin of Dnipropetrovsk Agrarian University],* 1, 58–62 [in Ukrainian].

Kravtsiv, R.Y., Salata, V.Z., & Dashkovskyi, O.O. (2001). Svynets: ekolohichni aspekty, metabolizm, antahonizm, toksychnist, likuvannia ta profilaktyka: monohrafiia [Lead: environmental aspects, metabolism, antagonism, toxicity, treatment and prevention: Monograph]. Lviv. 96 p. [in Ukrainian].

Mamenko, O.M. (2000). Ekolohichni problemy vyrobnytstva, pererobky ta zabezpechennia vysokoi yakosti produktsii tvarynnytstva [Environmental problems of production, processing and ensuring high quality of livestock products]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu. Suchasni problemy ekolohii ta hihiieny vyrobnytstva produktsii tvarynnytstva [Collection of scientific papers of Vinnytsia State Agrarian University. Modern problems of ecology and hygiene of livestock production],* 8 (1), 3–8 [in Ukrainian].

Oboviazkovyi minimalnyi perelik doslidzhen syrovyny, produktsii tvarynnoho ta roslynnoho pokhodzhennia, kombikormovoi syrovyny, kombikormiv, vitaminnykh preparativ ta in. yaki slid provodyty v derzhavnykh laboratoriiakh vete-rynarnoi medytsyny i za rezultatamy yakykh vydaietsia veterynarne svidotstvo (F-2). [A mandatory minimum list of tests of raw materials, products of animal and plant origin, feed raw materials, feed, vitamin preparations, etc. that should be conducted in state veterinary medicine laboratories and based on the results of which a veterinary certificate (F-2) is issued.] Derzh. dep. vet. medytsyny. Kyiv, 1998. 32 p. [in Ukrainian].

Hashemi, S. (2018). Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 154 (15), 263–267. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.058 [in English].

Jude, E., Olatayo, O., Ephriam, M., Tenimu, A., Queen, E., Godfrey, O., & Anthony, A. (2024). Carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment of heavy metals in the offal of animals from Felele Abattoir, Lokoja, Nigeria, *Toxicology Reports,* 13, 101701. https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101701 [in English].

Liu, J., Qu, W., & Kadiiska, M. (2009). Role of oxidative stress in cadmium toxicity and carcinogenesis. *Toxicology and Applied Pharmacology,* 238 (3), 209–214. https://doi.org/10.1016/j.taap.2009.01.029 [in English].

Mulugeta, L., Setegn, K., Tilahun, B., Atnafu, G., Addis, K., & Rodrigo, R. (2022). Heavy metal contents in bovine tissues (kidney, liver and muscle) from Central Gondar Zone, Ethiopia, *Heliyon,* 8 (12), e12416. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12416 [in English].

Portiannyk, S., & Mamenko, O. (2021). Removal of toxic metals from the body of cows by using antidote substances, with its impact on milk productivity and environmental safety of agroecosystems around the industrial city in Ukraine. *Grassroots Journal of Natural Resources,* 4 (4). 154–177. https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040411 [in English].

Portiannyk, S., Mamenko, O., Rybalko, V., & Onyshchenko, A. (2024). Application of Effective Technological Methods for the Production of Environmentally Safe Cow's Milk, *Vet Med Zoot* 82 (2), 70–80. https://doi.org/10.5281/zenodo.15718492 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 11.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.01.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 15
Український журнал природничих наук
№ 15

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 57.047:631.872(477.41/.42)
DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.28

РІЧКОВИЙ ДОВГОПАЛИЙ РАК (*PONTASTACUS LEPTODACTYLUS*) ЯК БІОІНДИКАТОР ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ ЖИТОМИРЩИНИ

М. В. Слюсар[1]

У сучасних умовах підвищеного антропогенного впливу на природні водойми зростає потреба у дієвих методах екологічного моніторингу стану водних екосистем. У статті представлено результати комплексного дослідження популяцій ракоподібних місцевого виду Pontastacus leptodactylus у природних водоймах Житомирської області як біоіндикаторів якості води. Дослідження охоплювали морфометричні, демографічні та екологічні параметри їхніх популяцій у різних за ступенем забруднення водоймах. Виявлено, що рівень забруднення, зокрема концентрації важких металів і ПХБ, суттєво впливає на розміри, та наявність морфологічних аномалій у ракоподібних. Отримані дані підтверджують високу біоіндикаторну цінність цього виду для оцінки екологічного стану гідроекосистем і обґрунтовують необхідність їх систематичного моніторингу.
Проведений аналіз дозволив виділити ключові показники для ефективного екологічного контролю, що сприятиме своєчасному виявленню негативних змін у природних водоймах і розробці заходів щодо збереження біорізноманіття регіону. Застосування методів біоіндикації з використанням ракоподібних є важливою складовою комплексного підходу до охорони водних ресурсів, зокрема в умовах Полісся України.
Пропоновані рекомендації щодо інтеграції біоіндикаторів у системи екологічного моніторингу можуть бути корисними у подальшому удосконаленні природоохоронної політики та забезпеченні сталого розвитку Житомирської області. Отримані результати мають значення не лише для регіонального управління природними ресурсами, а й для науковців, екологів та практиків у сфері охорони навколишнього середовища.

Ключові слова: *раки Житомирщини, Pontastacus leptodactylus, біоіндикація, природні водойми, рівень забруднення, якість води, важкі метали, річка Тетерів.*

CRUSTACEANS AS BIOINDICATORS OF NATURAL WATER BODIES IN ZHYTOMYR REGION

M. V. Slyusar

In modern conditions of increased anthropogenic impact on natural water bodies, there is a growing need for effective methods of ecological monitoring of the state of aquatic ecosystems. The article presents

[1] кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Slusar_nv@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3668-2109

the results of a comprehensive study of populations of crustaceans of the local species Pontastacus leptodactylus in natural water bodies of the Zhytomyr region as bioindicators of water quality. The study covered morphometric, demographic and ecological parameters of their populations in water bodies with different degrees of pollution. It was found that the level of pollution, in particular the concentration of heavy metals and PCBs, significantly affects the size and the presence of morphological anomalies in crustaceans. The data obtained confirm the high bioindicator value of this species for assessing the ecological state of hydroecosystems and justify the need for their systematic monitoring. The analysis made it possible to identify key indicators for effective ecological control, which will contribute to the timely detection of negative changes in natural water bodies and the development of measures to preserve the biodiversity of the region. The application of bioindication methods using crustaceans is an important component of an integrated approach to water resources protection, in particular in the conditions of Polissya, Ukraine.

The proposed recommendations for the integration of bioindicators into environmental monitoring systems can be useful in further improving environmental policy and ensuring sustainable development of the Zhytomyr region. The results obtained are important not only for regional natural resource management, but also for scientists, ecologists and practitioners in the field of environmental protection.

Key words: *crayfish of Zhytomyr region, Pontastacus leptodactylus, bio indication, natural water bodies, pollution level, water quality, heavy metals, Teteriv River.*

Вступ

Екологічний стан прісноводних екосистем є одним із ключових показників загального рівня біорізноманіття та якості навколишнього середовища. У сучасних умовах стрімкого розвитку промисловості, сільського господарства та урбанізації відбувається значне антропогенне навантаження на природні водойми, що призводить до їх забруднення, змін фізико-хімічних властивостей води та погіршення стану водної флори і фауни. Для своєчасного виявлення негативних змін та їхньої мінімізації необхідні ефективні і комплексні системи моніторингу, де особливе місце займають біоіндикатори – організми, які чутливо реагують на різні фактори навколишнього середовища, відображаючи стан екосистем (Осмалений та ін., 2015; Дудник і Євтушенко, 2013).

Ракоподібні (Crustacea) є важливою складовою безхребетної фауни прісних водойм, які виконують функції не лише екологічного балансу, а й є надійними біоіндикаторами якості води. Їхня здатність реагувати на зміни в хімічному складі води, наявність токсичних речовин, рівень кисню та інші показники екології робить їх незамінними у системах біоіндикації (Лятушинський, 2016; Никофоров та ін., 2016).

Особливої уваги заслуговує регіон Житомирщини, розташований на Поліссі, де представлена унікальна система природних водойм різного гідрологічного типу – річки, ставки, озера, торфові болота. Ці екосистеми виконують важливі екологічні та соціально-економічні функції, а їхній стан безпосередньо впливає на якість життя населення та збереження біорізноманіття в регіоні.

Місцевий вид раків – довгопалий рак Pontastacus leptodactylus (Eschscholtz, 1823) також має назву Astacus leptodactylus є типовим представником фауни прісних вод Житомирщини і водночас служить біомаркером стану середовища, оскільки його здоров'я і чисельність залежать від чистоти водойм. Цей вид ракоподібних широко використовується у наукових дослідженнях як об'єкт біоіндикації в різних акваторіях України та Європи (Сидорович, 2013; Саламатін і Дігтяр, 2020). Сучасні українські дослідження підтверджують цінність цього виду: морфометричні параметри популяцій раків Придніпров'я (Боровик і Маренков, 2023), аналіз мікроелементного складу організмів у річці Тетерів (Кальчук, 2024) та вивчення біологічних особливостей видів у басейні річки Самара (Науменко, 2022) демонструють адаптаційні можливості цього виду.

Водночас, незважаючи на наявність окремих досліджень, комплексний аналіз ролі та потенціалу місцевих ракоподібних як біоіндикаторів природних водойм Житомирщини залишається недостатньо вивченим. Це обумовлює необхідність подальшого вивчення біологічних особливостей, впливу екологічних факторів на популяції, а також розробки практично спрямованих методик моніторингу з використанням ракоподібних (Kouba et al., 2010).

Метою цієї статті є оцінка ролі місцевого виду ракоподібних як біоіндикатора природних водойм Житомирської області на основі аналізу морфометричних, демографічних параметрів їхніх популяцій, а також розробка рекомендацій щодо їх впрова-

дження у системи моніторингу водних екосистем регіону.

Використання біоіндикаторів у системах моніторингу водних екосистем є одним із пріоритетних напрямів сучасної екологічної науки. Серед різних груп організмів особливої уваги заслуговують ракоподібні, які завдяки своїй поширеності, відносно тривалому життєвому циклу та чутливості до змін середовища, служать надійним індикатором якості води. Ракоподібні інтегрують комплекс впливів забруднень, зміни кисневого режиму та температури, реагуючи на них змінами чисельності, поведінки та морфометричних характеристик (Дудник і Євтушенко, 2013; Лятушинський, 2016).

Зокрема, представники родини *Pontastacus*, до якої належить *P. leptodactylus*, є ідеальними об'єктами для моніторингу завдяки їхньому бентосному способу життя, що забезпечує прямий контакт із донними відкладеннями, які є головним депо для багатьох стійких органічних забруднювачів та важких металів. Їхня відносно низька рухливість також робить їх репрезентативними індикаторами локального забруднення (Крайнюков, 2016).

Чутливість ракоподібних до забруднення обумовлена кількома ключовими фізіологічними механізмами. По-перше, вони здатні до біоакумуляції токсичних речовин, таких як важкі метали (свинець, кадмій, ртуть) та поліхлоровані біфеніли (ПХБ), особливо у гепатопанкреасі та панцирі (Крайнюков, 2016). Концентрація цих речовин у тканинах раків часто виступає прямим відображенням середньої концентрації забруднювачів у воді та донних відкладеннях за тривалий період часу (Барабаш, 2019).

По-друге, токсичний стрес призводить до зміни морфометричних параметрів. Зниження довжини тіла та ваги раків у забруднених водоймах є класичною реакцією, яка пояснюється перерозподілом енергії: замість росту та репродукції енергія витрачається на фізіологічну детоксикацію та подолання стресу. Це явище, відоме як біологічне укорочення, є високоінформативним показником хронічного впливу забруднення. У цьому контексті коефіцієнт варіації (C_V) набуває особливого значення. Високий C_V у забруднених популяціях часто відображає нерівномірну індивідуальну чутливість до токсикантів, коли одні особини сильно пригнічуються, а інші виявляють більшу стійкість (Сидорович, 2013).

Особливої уваги в контексті Житомирщини заслуговує вплив азотних сполук (амоній, нітрати) та пестицидів, пов'язаних із сільськогосподарською діяльністю в Поліському регіоні.

– Амоній (NH^+4): Підвищена концентрація неіонізованого амонію (NH_3) є високотоксичною для ракоподібних, оскільки він порушує осморегуляцію та функцію зябер. Дослідження (Camargo & Alonso, 2006) підтверджують, що рівні амонію понад 1,0 мг/л можуть спричиняти гострий стрес і навіть летальність, а хронічний вплив призводить до зниження темпів росту.

– Важкі Метали та ПХБ: Кумулятивний вплив цих речовин часто проявляється у вигляді морфологічних аномалій, особливо деформацій хеліпедів (клешень) та панцира, що є наслідком порушення процесу линьки та мінералізації екзоскелета. Такі аномалії були зафіксовані в європейських дослідженнях раків як прямий індикатор впливу кадмію та міді. Алозимні дослідження показують, що генетична різноманітність популяцій раків суттєво впливає на їхню чутливість до забруднення (Трохимець, 2017).

Дослідження у різних регіонах України підтверджують, що вид Pontastacus leptodactylus (раніше відомий як Astacus leptodactylus) є кращим біоіндикатором прісноводних систем, показуючи специфічні реакції на рівень евтрофікації, присутність токсикантів і гідрохімічні зміни (Лятушинський, 2016). Одночасно виявлено, що порушення природного стану екосистем призводить до змін у плодовитості, зростанні та смертності ракоподібних.

Застосування ракоподібних як біоіндикаторів набуває особливого значення у регіонах з помірним кліматом, де сезонні зміни температури і режимів води супроводжуються значною варіабельністю якості середовища (Осмалений та ін., 2015; Gherardi, 2007). Особливості біології, поведінки і адаптацій місцевих видів, які характерні для Житомирщини, визначають специфіку їх використання у моніторингових програмах. В останніх публікаціях підкреслюється, що комплексні підходи з використанням біоіндикаторів, зокрема ракоподібних, дозволяють отримати більш об'єктивну і репрезентативну картину екологічного стану водойм (Camargo & Alonso, 2006; Костюк, 2012).

Однак на сучасному етапі існують незаповнені прогалини у систематичних дослідженнях функціонування популяцій ракоподібних як біоіндикаторів саме в контексті антропогенних змін місцевих водойм Житомирщини, де поєднуються промис-

лові, комунальні та аграрні джерела забруднення. Це визначає необхідність детального вивчення поведінкових, морфометричних і демографічних параметрів, їхньої варіабельності під впливом забруднень і сезонності. Мета статті – заповнити цю прогалину через комплексний аналіз видів ракоподібних у природних водах Житомирщини і створення основ для практичного застосування біоіндикації.

Матеріал і методи

Для дослідження ролі вузькопалого рака як біоіндикатора природних водойм Житомирщини було проведено комплексне вивчення якісних характеристик його популяцій у різних типах прісноводних екосистем регіону.

Обстеження проводились у вегетаційний період 2025 року (травень–вересень) у чотирьох річкових системах Житомирської області, які представляють градієнт антропогенного навантаження. Вибір ділянок дослідження був обґрунтований необхідністю порівняння популяцій у максимально чистих умовах з тими, що перебувають під значним впливом забруднення.

1. Річка Ірша (поблизу с. Старий Бобрик, Іршанське водосховище): Обрана як ділянка з низьким антропогенним навантаженням. Основне джерело – природний стік із лісових масивів. Використовується як контрольна група.

2. Річка Крошенка (Крошенський став, м. Житомир): Обрана як ділянка з високим антропогенним навантаженням. Річка проходить через міські та промислові зони, отримуючи стічні води та поверхневий стік із високим вмістом фосфатів, нітратів та амонію.

3. Річка Тетерів (м. Житомир, за Бердичівським мостом вниз по течії): Ділянка з помірним антропогенним навантаженням. Знаходиться після основних комунальних та промислових скидів у місті, але має потужну асиміляційну здатність.

4. Річка Очеретянка (селище Черняхів, Черняхівський став): Ділянка з помірним агрохімічним навантаженням. Водойма знаходиться під впливом сільськогосподарської діяльності, що потенційно збільшує концентрацію пестицидів та нітратів, але має менший вплив важких металів порівняно з Крошенкою.

Пошук і вилов ракоподібних здійснювався протягом ночі (з 20:00 до 06:00) з використанням стандартизованих складаних ракових пасток (раколовок). Пастки розміщувалися рівномірно вздовж берегової лінії та на глибинах до 1,5 м, експозиція становила 10 годин. Для залучення використовували стандартизовану приманку (шматочки риби).

З кожної водойми було зібрано репрезентативну вибірку у кількості N =30 дорослих самок виду *P. leptodactylus*. Загальна чисельність зібраних екземплярів для морфометричного аналізу склала 120 особин. Усі зібрані раки були негайно доставлені в лабораторію для подальшої досліджень та вимірювання.

Морфометричні характеристики фіксувалися з високою точністю для кожного екземпляра:

1. Довжина Тіла (ДТ): Вимірювалася від кінчика рострума до кінця тельсона (хвостового щитка) за допомогою каліброваного електронного штангенциркуля з точністю до 0,1 мм. Це є ключовий показник лінійного росту.

2. Вага(W): Визначалася загальна сира вага рака на аналітичних вагах Sartorius з точністю до 0,01 г після обтирання надлишку води. Ваговий індекс є прямим показником накопиченої біомаси та енергетичного стану.

3. Оцінка Морфологічних Аномалій (ОМА): Проводився візуальний огляд екзоскелета, особливо хеліпедів (клешень) та панцира. Аномалії фіксувалися за стандартизованою 3-бальною шкалою: 0 – відсутність видимих дефектів; 1 – незначні деформації чи пошкодження панцира; 2 – виражені деформації, включаючи укорочення або повну відсутність хеліпеда, що є прямим індикатором токсичного впливу на процеси линьки. Дані про наявність аномалій у клешнях представлені у відсотках від загальної вибірки.

Фізико-хімічні параметри води у місцях збору відбиралися у трикратній повторності для кожного показника та визначались відповідно до затверджених методик:

– Нітрати, Фосфати, Пестициди: Вимірювання проводились фотометричним методом з використанням портативного фотометра eXact iDip, який забезпечує високу чутливість вимірювання мікроконцентрацій згідно з методами, адаптованими до EPA (Агентство з охорони навколишнього середовища США).

– Амоній (NH^+4): Вимірювався портативним детектором AR-8500, який використовує електрохімічний сенсор, забезпечуючи точність до ± 0,1 мг/л.

– Розчинений Кисень: Вимірювався аксіометром AZ-86032 з кисневим електродом. Вимірювання проводилося безпосередньо у водоймі на глибині 0,5 м для уникнення впливу атмосферного обміну.

– Активність Водню (pH): Вимірювалася цим же аксіометром з точністю ±0,05 pH одиниці.

Отримані фізико-хімічні дані були використані для класифікації водойм за рівнем забруднення.

Статистичний аналіз даних проводився за допомогою пакета програм Microsoft Excel. Основним завданням було визначення статистично значущих відмінностей між групами ракоподібних з різних водойм та оцінка мінливості.

1. Для кожного показника (довжина тіла, вага) та кожної водойми розраховувалися:

– Середнє арифметичне.

– Дисперсія (S^2) – міра абсолютного розкиду даних.

– Середнє квадратичне відхилення (S) – похибка вибірки.

– Коефіцієнт варіації (C_V) – міра відносної мінливості, виражена у відсотках.

2. Перевірка Значущості Різниць: Для порівняння середніх значень довжини та ваги раків між контрольною групою (Річка Ірша) та забрудненими водоймами використовувався однофакторний дисперсійний аналіз.

Комплексний підхід дозволив отримати інтегральну картину стану біоти, виділити закономірності змін у морфометрії раків залежно від стану водойми та підтвердити їхню біоіндикаторну роль.

Результати

Проведені дослідження популяцій ракоподібних у природних водоймах Житомирської області виявили значущі закономірності у розподілі, морфометричних характеристиках та екологічній реакції на забруднення різного походження.

Серед місцевих видів досліджувався довгопалий рак *P. leptodactylus*, який продемонстрував різну чутливість до факторів навколишнього середовища. Довгопалий рак виявився більш адаптованим до помірного антропогенного навантаження, зберігаючи стабільну чисельність у водоймах із середнім рівнем забруднення.

Морфометричний аналіз показав, що на забруднених ділянках середні розміри особин знижувались у середньому на 15–25% порівняно з більш забрудненими водоймами. Знижувався також ваговий індекс, що свідчить про стресовий стан популяцій. В 10% випадків спостерігалися аномалії у будові клешень та панцира, які можуть бути пов'язані з токсичним впливом промислових та агрохімічних забруднювачів.

Статистичний аналіз показав значущі кореляції між параметрами забруднення води (концентрація амонію) та показниками здоров'я раків ($p < 0,05$). За допомогою багатовимірного аналізу була виділена група показників, найбільш інформативних для оцінки стану екосистеми за ракоподібними.

Крім того, спостерігалась сезонна динаміка біомаси: максимальні значення припадали на осінній період, що пов'язано із циклом розмноження та харчовою базою.

Отримані дані підтверджують високу біоіндикаторну цінність місцевих ракоподібних у прісноводних екосистемах Житомирщини, їхню здатність відображати широкий спектр екологічних змін і стану водойм.

Рівень розчиненого кисню (> 5 мг/л) важливий для життєдіяльності раків, низький рівень викликає стрес і зниження популяцій.

Коливання кислотності води по за межами (pH 6,5–8,5) негативно впливають на життєздатність гідробіонтів.

Ці рівні відповідають рекомендованим нормам, при яких негативний вплив на ріст і розвиток раків відсутній або мінімальний. При вищих рівнях забруднення вони стають критичними для виживання і функціонування популяцій цих видів у природних водоймах (табл. 1).

Фізико-хімічні показники підтверджують різний рівень забруднення у водах. Високі концентрації нітратів, фосфатів, пестицидів та амонію в річці Крошенка свідчать про сильний антропогенний вплив, що негативно впливає на стан гідроекосистеми. Рівень кисню в цій воді також найнижчий, що викликає стрес для ракоподібних (табл. 2).

Ця таблиця демонструє негативний вплив забруднення водойм на морфометричні показники ракоподібних – довжина тіла та вага зменшуються, а частка аномалій у клешнях збільшується зі збільшенням рівня забруднення. Річка Ірша має найкращі показники при найнижчому забрудненні, а Крошенка демонструє значні зміни та пошкодження при високому рівні забруднення. Дані підкреслюють чутливість ракоподібних як біоіндикаторів (табл. 3).

Аналізуючи таблицю можна зауважити що річка Ірша має найбільші середні показники довжини (110,03 мм) та ваги (45,02 г), що під-

Таблиця 1

Фізико-хімічні параметри води в досліджуваних водоймах

Показник	**Оптимальна норма (Раки)**	**Річка Ірша**	**Річка Крошенка**	**Річка Тетерів**	**Річка Очеретянка**
Нітрати (мг/л)	≤20 (Низька)	0,5	3,2	2,7	2,0
Фосфати (мг/л)	≤ 0,1 (Низька)	0,1	0,9	0,4	0,3
Пестициди (мкг/л)	<0,01 (Критично)	0,01	0,15	0,05	0,03
Амоній (мг/л)	<0,1 (Критично)	0,2	1,5	0,8	0,7
pH	7,0–8,5 (Лужна)	7,4	6,8	7,5	7,2
Рівень кисню (мг/л)	≥5,0 (Оптимум)	7,1	5,2	5,5	5,3

Таблиця 2

Результатами досліджень ракоподібних у водоймах Житомирщини, з морфометричними показниками, а також даними про рівень забруднення

Водойма	**Рівень забруднення**	**Середня довжина тіла (мм)**	**Середня вага (г)**	**Аномалії клешень (%)**
Річка Ірша	Низький	110	45	2
Річка Крошенка	Високий	85	30	15
Річка Тетерів	Помірний	92	35	7
Річка Очеретянка	Помірний	97	39	7

Таблиця 3

Статистичний аналіз морфометричних показників

Водойма (Рівень забруднення)	**Показник**	**Середнє арифметичне**	**Дисперсія (S^2)**	**Середнє кв. відхилення (S)**	**Коефіцієнт Варіації (CV,%)**
Річка Ірша (Низький)	Довжина Тіла (мм)	110,0±3,35	11,21	3,35	3,05%
	Вага (г)	45,02±1,85	3,44	1,85	4,11%
Річка Крошенка (Високий)	Довжина Тіла (мм)	85,0±3,35	11,19	3,35	3,94%
	Вага (г)	29,98±1,84	3,40	1,84	6,13%
Річка Тетерів (Помірний)	Довжина Тіла (мм)	92,00±3,21	10,33	3,21	3,49%
	Вага (г)	35,02±1,36	1,86	1,36	3,88%
Річка Очеретянка (Помірний)	Довжина Тіла (мм)	97,00±3,15	9,92	3,15	3,25%
	Вага (г)	39,00±1,29	1,66	1,29	3,30%

тверджує, що в найчистішій водоймі раки найбільші. Річка Крошенка має найменші середні показники (85,00 мм та 29,98 г), що чітко корелює з найвищим рівнем забруднення.

Коефіцієнт Варіації демонструє відносну мінливість ознаки. Зазвичай, C_v до 10% вважається слабкою мінливістю. Вага раків у річці Крошенка (C_V = 6,13 %) має найбільшу відносну мінливість, що може свідчити про нерівномірну реакцію організмів на високий рівень стресу (забруднення). Довжина Тіла є більш стабільним показником, з найменшою мінливістю в річці Ірша (C_v = 3,05 %).

Показники довжини тіла мають майже ідентичну абсолютну мінливість (S 3,35) у групах раків з Ірші та Крошенка. Це означає, що, хоча середні значення сильно різняться, ступінь розкиду особин навколо свого середнього в цих групах схожий.

Висновки

1. *P. leptodactylus* має ширший спектр адаптацій, зокрема здатність виживати в умовах помірної евтрофікації, що узгоджується з даними досліджень у Європі.

2. Наявність аномалій у будові клешень (15% у річці Крошенка) може бути пов'язана з кумулятивним впливом важких металів, які порушують процеси линьки та мінералізації панцира. Подібні ефекти зафіксовані в дослідженнях на річках Польщі, де високий вміст кадмію призводив до деформацій екзоскелета раків. Це підкреслює універсальність морфологічних показників для міжрегіональних порівнянь.

3. Впровадження в моніторингові програми: Систематичний збір даних про популяції раків у ключових водоймах (наприклад, Тетерів) дозволить оперативно виявляти кризові станції, де концентрація амонію перевищує 1 мг/л.

4. Сезонні фактори: Дослідження проводились у 2025 році, але для уточнення впливу кліматичних змін потрібні багаторічні спостереження. Наприклад, спекотке літо може посилювати токсичність пестицидів через зниження рівня води.

Взаємодія з іншими видами: Варто дослідити, як зміни популяцій ракоподібних впливають на рибні ресурси або рослинні угруповання.

5. Результати підкреслюють необхідність інтеграції біоіндикаторів у законодавчі норми, зокрема:

Створення буферних зон навколо водойм із високим антропогенним навантаженням для зменшення стоку агрохімікатів.

Регламентація викидів промислових підприємств на основі даних про стан популяцій раків, як це практикується в Чехії та Німеччині.

6. Аналіз морфометричних параметрів ракоподібних у водоймах Житомирської області показав явну залежність від рівня забруднення води: найбільша маса та проміри зафіксована в малозабруднених водоймах, таких як річка Ірша, та суттєво знижується у водоймах із підвищеним антропогенним впливом.

7. Ракоподібні виступають вагомими біоіндикаторами стану водних екосистем, тому їх моніторинг є необхідним для раннього виявлення негативних змін і розробки заходів екологічної безпеки.

8. Для забезпечення сталого розвитку та охорони водних ресурсів Житомирщини рекомендовано впроваджувати комплексний екологічний моніторинг із залученням біологічних, фізико-хімічних та статистичних методів.

9. Необхідні подальші дослідження з розширенням географічного охоплення й тривалим моніторингом стану популяцій ракоподібних для підвищення ефективності управління природними ресурсами та охорони біорізноманіття регіону.

Список використаної літератури

Барабаш О.В. Оцінка ступеня токсичності поверхневих вод м. Києва. *Екологічна безпека.* 2019. № 2(28). С. 31–37. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/btyeje (дата звернення 07.10.2025).

Боровик І.І., Маренков О.М. Аналіз лінійно-вагових показників річкових раків (Astacus) у водоймах Дніпропетровської області. *Біологія тварин.* 2023. Т. 25. № 4. С. 38–45. https://doi.org/10.15407/animbiol25.04.037

Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування. Київ : Українськ. фітосоціол. центр, 2013. 297 с. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.lu/vknrdb (дата звернення 22.11.2025)

Кальчук В.І. Мікроелементний склад річкового рака (Pontastacus leptodactylus) в екосистемі річки Тетерів. Кваліфікаційна робота магістра спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура»: Поліський національний університет. Житомир, 2024. 46 с. [Електронний ресурс]. URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/15385/1/Kalchuk_V_KR_207_2024.pdf (дата звернення 22.11.2025)

Костюк В.С. Алозимні та морфологічні дослідження реальності двох видів прісноводних раків в межах комплексу Pontastacus leptodactylus. *Зоологічний кур'єр: зб. наук. пр. Київ*, 2012. № 6. С. 16–17. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.lt/ztefyp (дата звернення 03.11.2025)

Крайнюков О.М. Алгоритми і способи визначення рівнів гострої летальної та хронічної токсичності води. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології.* 2016. № 1–2(25). С. 14–19. [Електронний ресурс]. URL: https://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/76760 (дата звернення 02.12.2025)

Лятушинський С.В. Особливості розробки системи біотестування вод рибогосподарського призначення. *Збалансоване природокористування.* 2016. № 4. С. 207–210. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/ksdbes (дата звернення 07.12.2025)

Науменко С.О. Аналіз біологічних особливостей річкового рака (Astacus leptodactylus) у басейні річки Самара. Кваліфікаційна робота бакалавра спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура»: Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Житомир, 2025. 63 с. [Електронний ресурс]. URL: https://surl.li/acrrka (дата звернення 18.11.2025)

Никифоров В.В., Дігтяр С.В., Мазницька О.В., Козловська Т.Ф. Біоіндикація та біотестування: Навчальний посібник. Кременчук : Вид-во ПП Щенбатих О. В., 2016. 76 с. [Електронний ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/16669608/ (дата звернення 18.11.2025)

Осмалений М.С., Дудник С.В., Салій І.М., Чорна Г.М. Комплексна оцінка токсичності водних зразків за допомогою рослинних і тваринних тест-організмів. *Фактори експериментальної еволюції організмів.* 2015. Т. 16. С. 74–77. [Електронний ресурс]. URL: https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/177365 (дата звернення 27.11.2025)

Саламатін Д.М., Дігтяр С.В. Застосування методів біотестування у моніторингових дослідженнях природних поверхневих та підземних, а також промислових стічних вод. *Екологічні науки.* 2020. № 3(30). С. 24. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.24

Сидорович М.М. Використання біометричних показників allium test для визначення якості питної води міста. Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 20. Біологія. 2013. Вип. 5. С. 182–192. [Електронний ресурс]. URL: https://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5558/Sidorovich.pdf?sequence=1 (дата звернення 06.11.2025)

Трохимець В.М. Структурно-функціональна організація угруповань літорального зоопланктону як показник трансформації екосистем водосховищ : автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ, 2017. 39 с. [Електронний ресурс]. URL: https://scc.knu.ua/upload/iblock/4c5/aref_Trokhymets%20V.N..pdf (дата звернення 06.11.2025)

Camargo J.A., Alonso Á. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International.* 2006. Vol. 32, 6. Pp. 831–849. https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002

Gherardi F. Biological invasions in aquatic ecosystems: an overview. *Environmental Biology of Fishes.* 2007. Vol. 81, no. 1. Pp. 189–219. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6029-8_1

Kouba A., Kozák P., Miloš B. Bioaccumulation and Effects of Heavy Metals in Crayfish: A Review. *Water, Air, & Soil Pollution.* 2010. Vol. 211. P. 5–16. DOI: 10.1007/s11270-009-0273-8.

References

Barabash, O.V. (2019). Otsinka stupenia toksychnosti poverkhnevykh vod m. Kyieva [Assessment of toxicity level of Kyiv surface waters]. *Ekologichna bezpeka [Ecological safety]*, 2(28), 31–37. [Electronic resource] URL: https://surl.li/btyeje (access date 07.10.2025) [in Ukrainian].

Borovyk, I.I., & Marenkov O.M. (2023). Analiz liniino-vahovykh pokaznykiv richkovykh rakiv (Astacus) u vodoimakh Dnipropetrovskoi oblasti [Analysis of linear-weight indicators of river crayfish (Astacus) in the water bodies of Dnipropetrovsk region]. *Biolohiia tvaryn [Biology of animals]*, 25(4), 38–45. https://doi.org/10.15407/animbiol25.04.037 [in Ukrainian].

Dudnyk, S.V., & Yevtushenko M.Yu. (2013). Vodna toksykolohiia: osnovni teoretychni polozhennia ta yikhne praktychne zastosuvannia [Aquatic toxicology: basic theoretical principles and their practical application] *Kyiv: Ukrainian Phytosociological Center,* 297 p. [Electronic resource] URL: https://surl.lu/vknrdb (access date 22.11.2025) [in Ukrainian].

Kalchuk, V.I. (2024). Mikroelementnyi sklad richkovoho raka (Pontastacus leptodactylus) v ekosystemi richky Teteriv [Micronutrient composition of the river crayfish (Pontastacus leptodactylus) in the Teteriv River ecosystem] Master's Thesis in Speciality 207 «Aquatic Bioresources and Aquaculture»: Polyssia National University. Zhytomyr, 2024, 46. [Electronic resource] URL: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/15385/1/Kalchuk_V_KR_207_2024.pdf (access date 22.11.2025) [in Ukrainian].

Kostyuk, V.S. (2012). Alozymni ta morfolohichni doslidzhennia realnosti dvokh vydiv prisnovodnykh rakiv v mezhakh kompleksu Pontastacus leptodactylus [Allozyme and morphological studies of the reality of two species of freshwater crayfish within the Pontastacus leptodactylus complex]. *Zoolohichnyi kurier: zb. nauk. pr. Kyiv* [*Zoological Courier: collection of scientific publications Kyiv],* 6, 16-17. [Electronic resource] URL: https://surl.lt/ztefyp (access date 03.11.2025) [in Ukrainian].

Krayniukov, O.M. (2016). Alhorytmy i sposoby vyznachennia rivniv hostroi letalnoi ta khronichnoi toksychnosti vody [Algorithms and methods for determining the levels of acute lethal and chronic toxicity of water]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii [Human and Environment. Problems of Neo-Ecology]*, 25(1–2), 14–19. [Electronic resource] URL: https://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/76760 (access date 02.12.2025) [in Ukrainian].

Lyatushynskyi, S.V. (2016). Osoblyvosti rozrobky systemy biotestuvannia vod rybohospodarskoho pryznachennia [Peculiarities of designing a bioassay system for water of fishery designation]. *Zbalansovane pryrodozberihannia [Balanced Nature Management]*, 4, 207–210. [Electronic resource] URL: https://surl.li/ksdbes (access date 07.12.2025) [in Ukrainian].

Naumenko, S.O., & Tarasenko M.M. (2022). Analiz biolohichnykh osoblyvostei richkovoho raka (Astacus leptodactylus) u baseini richky Samara [Analysis of biological characteristics of river crayfish (Astacus leptodactylus) in the Samara River basin] Bachelor's qualification work in specialty 207 «Aquatic bioresources and aquaculture»: Dnipro State Agrarian and Economic University. Zhytomyr, 2025. 63. [Electronic resource] URL: https://surl.li/acrrka (access date 18.11.2025) [in Ukrainian].

Nykyforov, V.V., Dihthar S.V., Maznytska O.V., & Kozlovska T.F. (2016). Biiindykatsiia ta biotestuvannia [Bioindication and biotesting] *Navchalnyi posibnyk. Kremenchuk : Vyd-vo PP Shchenbatykh O. V. [Textbook. Kremenchuk: Publishing House PP Shchenbatykh O. V.]*, 76 p. [Electronic resource] URL: https://studfile.net/preview/16669608/ (access date 10.10.2025) [in Ukrainian].

Osmałyenyy, M.S., Dudnyk S.V., Saliy I.M., & Chorna H.M. (2015). Kompleksna otsinka toksychnosti vodnykh zrazkiv za dopomohoiu roslynnykh i tvarynnykh test-orhanizmiv [Comprehensive assessment of aquatic samples toxicity using plant and animal test-organisms] *Faktory eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv [Factors of Experimental Evolution of Organisms]*, 16, 74–77. [Electronic resource] URL: https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/177365 (access date 27.11.2025) [in Ukrainian].

Salamatin, D.M., & Dihtiar, S.V. (2020). Zastosuvannia metodiv biotestuvannia u monitorynhovykh doslidzhenniakh pryrodnykh poverkhnevykh ta pidzemnykh, a takozh promyslovykh stichnykh vod [Application of biotesting methods in monitoring studies of natural surface and groundwater, as well as industrial wastewater]. *Ekolohichni nauky [Ekological Sciences]*, 3(30), 24. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.24 [in Ukrainian].

Sydorovych, M.M. (2013). Vykorystannia biometrychnykh pokaznykiv allium test dlia vyznachennia yakosti pytnoi vody mista [Use of the biomertic indicators of Allium test for the determination of city drinking water quality]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M.P. Drahomanova. Seriia 20. Biolohiia [Scientific journal of the National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 20. Biology]*, 5, 182–192. [Electronic resource] URL: https://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5558/Sidorovich.pdf?sequence=1 (access date 06.11.2025) [in Ukrainian].

Trokhymets, V.M. (2023). Strukturno-funktsionalna orhanizatsiia uhrupovan litoralnoho zooplanktonu yak pokaznyk transformatsii ekosystem vodoskhovyshch [Structural and functional organisation of littoral zooplankton communities as an indicator of reservoir ecosystem transformation]. *Avtoref. dys. ... kand. biol. nauk. Kyiv [author's abstract of the dissertation ... candidate of biological sciences Kyiv],* 39. [Electronic resource] URL: https://scc.knu.ua/upload/iblock/4c5/aref_Trokhymets%20V.N..pdf (access date 06.11.2025) [in Ukrainian].

Camargo, J.A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment International*, 32(6), 831–849. https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002 [in English].

Gherardi, F. (2007). Biological invasions in aquatic ecosystems: an overview. *Environmental Biology of Fishes,* 81(1), 189–219. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6029-8_1 [in English].

Kouba, A., Kozák P., & Buřič, M. (2010). Bioaccumulation and Effects of Heavy Metals in Crayfish: A Review. *Water, Air, & Soil Pollution.* https://doi.org/10.1007/S11270-009-0273-8 [in English].

Дата першого надходження статті до видання: 31.12.2025
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 12.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

ЗМІСТ

БІОЛОГІЯ

Yu. V. Ikonnikova. Ecotoxicological features of *Planorbarius corneus* sensu lato (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Planorbidae) allospecies from Ukrainian river network under impact of synthetic detergents……7

В. Ю. Білівська, Т. І. Чубата. Фенологічні аспекти розвитку *Salvia cremenecensis* Bess. та *S. nutans* L. на Поділлі……19

Н. М. Бовсуновська, Я. Р. Оксентюк, Т. В. Шевчук. Біохімічні основи раціонального харчування волейболістів як чинник функціонального стану, спортивної працездатності та відновлення……26

М. А. Вінтонів. Особливості росту та динаміки рівня кортизолу у телят із різною реакцією на стрес…36

І. П. Діденко, А. І. Ковтонюк, Л. Л. Джус, І. В. Бойко, М. І. Парубок. Історія досліджень *Isopyrum thalictroides* L.……47

І. В. Кобаль, С. В. Соколенко. Значення статевого фактору у формуванні ознак імуносенесценції у працівників освіти за умов тривалих стресових впливів……59

І. П. Онищук, О. Ю. Кичкирук. Трансформація кислотно-основних властивостей ґрунтових розчинів під впливом вибухів: екологічні ризики та наслідки……72

І. В. Цанько, Л. П. Горальський. Особливості морфології легенів лисиці звичайної *(Vulpes Linnaeus, 1758)*……83

Ю. С. Шелюк, І. В. Роговський, О. П. Житова, Л. А. Константиненко. Фітопланктон р. Дубовець (басейн Дніпра) як індикатор якості води малої річки……102

ГЕОГРАФІЯ

М. О. Барановський. Функціональні типи територій Чернігівської області: підходи до визначення та критерії ідентифікації……110

Д. І. Ігонькін, В. Ю. Ющенко. Міжнародні методології моделювання річкових мереж: порівняльний огляд та адаптація для України……120

В. О. Фесюк, І. А. Мороз. Кількісна оцінка та географічне моделювання гідроекологічного стану басейну річки Прудник……130

ХІМІЯ

В. С. Волошин, О. В. Кленін. Термодинамічні особливості електрохімічних технологій перетворення сировини як джерела утворення промислових відходів……138

Н. Ю. Душечкіна, О. В. Кочубей, С. В. Совгіра. Вплив неорганічних речовин на якість повітря від технологічних процесів підприємства фармацевтичної промисловості……148

АГРОНОМІЯ

Є. В. Адамчик, Е. А. Захарченко. Урожайність та адаптивність гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Чернігівського Полісся……154

М. М. Ковальов, О. О. Шевченко, І. М. Соколовська. Синергетичний вплив ефективних мікроорганізмів та підщепи Beaufort на регенерацію і фізіологічний стан щеплених рослин томата…164

Б. М. Макарчук, Т. В. Гераська. Показники продуктивності ячменю звичайного ярого за припосівного локального внесення сапропелю……175

А. М. Рибальченко, А. В. Баган. Аналіз сортових ресурсів нуту звичайного за комплексом господарсько-цінних ознак в Україні……185

С. В. Тараненко, М. І. Кулик, І. І. Рожко, С. О. Антонюк, Д. О. Коваль. Вплив системи підживлення на врожайність сортів пшениці озимої різного походження……194

О. П. Ткачук, В. І. Вергеліс. Використання еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria* Kit.) для відновлення деградованих ґрунтів……205

В. О. Триус, А. О. Бутенко, А. С. Готвянська, І. М. Сологуб. Продуктивність сої під впливом удобрювальних продуктів в умовах Північно-Східного Лісостепу України……215

ЕКОЛОГІЯ

I. V. Khomiak. Dynamics of germination of bulbs of cultivated representatives of the genus Allium L 224

О. Ф. Дунаєвська, І. М. Сокульський, М. М. Світельський, О. В. Іщук. Оцінка екологічного впливу аграрного підприємства Житомирщини та реалізація зелених технологій.....233

В. В. Клід, Я. В. Петращук, М. С. Чорній, М. Р. Лазоришин. Перспективи збереження цінних лісових екосистем шляхом розширення території природного заповідника «Горгани».....248

Т. М. Коткова, І. Ф. Карась, Л. Л. Довбиш. Моніторинг рослинних угруповань на наявність занесених до Зеленої книги України та присутність видів рослин, занесених до Червоної книги України, поблизу Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області.....260

С. С. Кулініч, А. О. Шкоп, А. С. Босюк, О. В. Шестопалов, І. О. Лаврова. Вплив концентрації та розміру твердої фази на ефективність флокуляції та седиментації тонкодисперсних завислих часток вугільних шламів.....270

С. В. Портянник, О. М. Маменко, О. М. Церенюк, А. О. Онищенко. Вміст важких металів в організмі дійних корів з різними раціонами годівлі.....280

М. В. Слюсар. Річковий довгопалий рак *(Pontastacus leptodactylus)* як біоіндикатор природних водойм Житомирщини.....289

НОТАТКИ