Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 2

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Гулай Любомир Дмитрович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки (головний редактор);

Анічкіна Олена Василівна – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка;

Бєдункова Ольга Олександрівна – доктор біологічних наук (03.00.16 – Екологія), доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування;

Боярин Марія Володимирівна – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Демянчук Михайло Ростиславович – доктор педагогічних наук, професор кафедри медико-профілактичних дисциплін та лабораторної діагностики Комунального закладу вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради;

Казакова Наталія Вікторівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри педагогіки Хмельницької гуманітарно-педагогічної академії;

Калаур Світлана Миколаївна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри соціальної роботи та менеджменту соціокультурної діяльності, керівник Центру післядипломної освіти Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка;

Караїм Ольга Анатоліївна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Клименко Олександр Миколайович – доктор сільськогосподарських наук (03.00.16 – Екологія), професор, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства Національного університету водного господарства та природокористування;

Когут Юрій Миколайович – кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Лукащук Микола Миколайович – кандидат педагогічних наук, викладач з предметів хімія і біологія Комунального закладу вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради;

Марушко Лариса Петрівна – кандидат хімічних наук, доцент, декан факультету хімії та екології Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Марчук Олег Васильович – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Піскач Людмила Василівна – кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Романишина Оксана Ярославівна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інформатики та методики навчання Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка;

Романюк Ярослав Євгенійович – PhD, керівник наукової групи Швейцарської федеральної лабораторії матеріалознавства і технологій (EMPA) (Швейцарія);

Савіцька Вікторія Василівна – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри освітології і педагогіки Західноукраїнського національного університету

Салієва Леся Миколаївна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри органічної та фармацевтичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Сливка Наталія Юріївна – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри органічної та фармацевтичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Смітюх Олександр Вікторович – кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Сонько Сергій Петрович – доктор географічних наук (08.00.06 – Економіка природо-користування та охорони навколишнього середовища), професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва.

Стучинська Наталія Василівна – доктор педагогічних наук, кандидат фізико-математичних наук, професор, професор кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця.

Тюріна Валентина Олександрівна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри соціології та психології Харківського національного університету внутрішніх справ.

Журнал ухвалено до друку Вченою радою
Волинського національного університету імені Лесі Українки
26 вересня 2024 р., протокол № 13

Науковий журнал «Проблеми хімії та сталого розвитку» зареєстровано Національною радою України з питань телебачення і радіомовлення (Рішення №1834 від 21.12.2023 року. Ідентифікатор медіа: R30-02341)

Суб'єкт у сфері друкованих медіа – Волинський національний університет імені Лесі Українки (просп. Волі, буд. 13, м. Луцьк Волинської обл., 43025, post@vnu.edu.ua, тел. (0332) 720123).

Періодичність: 4 рази на рік.
Мови видання: українська, англійська, німецька, польська, іспанська, французька, болгарська.

«Проблеми хімії та сталого розвитку» включено до Переліку наукових фахових видань України категорії Б у галузі знань природничі науки (спеціальності 101 Екологія та 102 Хімія), педагогічні науки (011 Освітні, педагогічні науки та 015 Професійна освіта (за спеціалізаціями) відповідно до Наказу МОН України № 735 від 29 червня 2021 року (додаток 4), Наказу МОН України № 1166 від 23 грудня 2022 року (додаток 3)

Офіційний сайт видання: www.journals.vnu.volyn.ua/index.php/chemistry

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

ISSN 2786-4669 (Print)
ISSN 2786-4677 (Online)

© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2024

ХІМІЯ

УДК 546.548.232.6:546.[657+571+561+681]'22
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-1

Назарій БЛАШКО
старший лаборант кафедри неорганічної та фізичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0001-6484-3283*

Олег МАРЧУК
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-5618-7156*

Анатолій ФЕДОРЧУК
доктор хімічних наук, професор, професор кафедри біологічної та загальної хімії, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького, вул. Пекарська, 50, м. Львів, Україна, 79010
ORCID: *0000-0002-9324-3719*

Бібліографічний опис статті: Блашко, Н., Марчук, О., Федорчук, А. (2024). Кристалічна структура $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 2, 3–9, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-1

КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА $ND_3CU_{0.45}GA_{1.52}S_7$ ТА $ND_3AG_{0.45}GA_{1.52}S_7$

Зразки стехіометричних складів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$, масою один грам кожен, отримані спіканням елементарних компонентів високого ступеня чистоти у вакуумованих кварцевих контейнерах ($1.33 \cdot 10^{-2}$ Па) за максимальної температури синтезу 1100 °C. Синтезовані сплави були гомогенізовані відпалом за температури 500 °C протягом 500 годин. Кристалічна структура сульфідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ (a = 9.9354(6) Å, c = 6.0566(6) Å, V = 517.8(1) Å^3, R_I = 0.0832, R_p = 0.2640) та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ (a = 9.9233(5) Å, c = 6.0724(5) Å, V = 517.8(1) Å^3, R_I = 0.0867, R_p = 0.2547) вивчена рентґенівським методом порошку. Досліджені структури належать до структурного типу La_3CuSiS_7 (просторова група $P6_3$, символ Пірсона hP24). Складні халькогенідні фази $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ синтезовані на основі сульфіду $Nd_3Ga_{1.67}S_7$ шляхом часткового заміщення атомів галію в правильній системі точок (ПСТ) 2b (1/3 2/3 z) атомами одновалентнтного купруму та аргентуму відповідно. У цих структурах атоми неодиму заселяють ПСТ 6c (x y z) та разом з атомами сульфуру формують тригональні призми з одним додатковим атомом [Nd $S_1 3S_2 3S_3$]. Тригональні призми утворюють "блоки" 3 [Nd 7S]. У цих "блоках" тригональні призми між собою з'єднані ребрами. Атоми галію займаючи ПСТ 2a (0 0 z) мають октаедричне оточення (для структури $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$). У структурі $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ атоми Ga мають трикутне оточення, оскільки вони знаходиться поблизу від однієї із граней октаедра. Октаедри [Ga (ПСТ 2a) 6S] мають спільні грані та в напрямку осі c утворюють просторові колони. Ці октаедри з тригональними призмами з'єднані ребрами. Атоми статистичних сумішей R1 (0.52 Ga + 0.45 Cu) та R2 (0.52 Ga + 0.45 Ag) знаходяться в центрі тетраедрів [R1(R2) $S_1 3S_3$] утворених з атомів сульфуру та займають ПСТ 2b (1/3 2/3 z).

Ключові слова: *рідкісноземельні метали, халькогеніди, кристалічна структура, рентгенівський метод порошку.*

Nazarii BLASHKO
Senior Laboratory Assistant of the Department of Inorganic and Physical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0001-6484-3283*

Oleg MARCHUK
PhD in Chemistry, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Inorganic and Physical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-5618-7156*

Anatolii FEDORCHUK
Doctor of Chemistry, Professor, Professor of the Department of Biological and General Chemistry, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Pekarska str., 50, Lviv, Ukraine, 79010
ORCID: *0000-0002-9324-3719*

To cite this article: Blashko, N., Marchuk, O., Fedorchuk, A. (2024). Krystalichna struktura $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$. [Crystal structure of $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ and $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development,* 2, 3–9, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-1

CRYSTAL STRUCTURE OF $ND_3CU_{0.45}GA_{1.52}S_7$ AND $ND_3AG_{0.45}GA_{1.52}S_7$

Samples of stoichiometric compositions of $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ and $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$, weighing one gram each, obtained by sintering elementary components of a high degree of purity in vacuum quartz containers (the synthesis was carried out in vacuumed quartz ampoules to a residual pressure of $1.33 \cdot 10^{-2}$ Pa) at the maximum synthesis temperature 1100 °C. The synthesized alloys were homogenized by annealing at a temperature of 500 °C for 500 hours. Crystal structure of sulfides $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ (a = 9.9354(6) Å, c = 6.0566(6) Å, V = 517.8(1) Å^3, R_I = 0.0832, R_p = 0.2640) and $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ (a = 9.9233(5) Å, c = 6.0724(5) Å, V = 517.8(1) Å^3, R_I = 0.0867, R_p = 0.2547) was studied by X-ray powder method. The studied structures relate to the structural type La_3CuSiS_7 (space group $P6_3$,173; Pearson symbol hP24). The $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ and $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ chalcogenide phases were synthesized on the basis of $Nd_3Ga_{1.67}S_7$ sulfide by partial replacement of gallium atoms in the site 2b (1/3 2/3 z) point system with monovalent copper and silver atoms, respectively. In these structures, Neodymium atoms occupy site 6c (x y z) and, together with Sulfur atoms, form trigonal prisms with one additional atom [Nd S13S23S3] (CN = 7). Trigonal prisms form "blocks" 3[Nd 7S]. In these "blocks" trigonal prisms are connected to each other by ribs. Gallium Ga atoms occupy site 2a (0 0 z) and have an octahedral environment (for the $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ structure). In the $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ structure, Ga atoms have a triangular environment, since they are located near one of the faces of the octahedron. Octahedra [Ga (site 2a) 6S] have common faces and form columns in the direction of the c axis. These octahedra with trigonal prisms are connected by eddes. Atoms of statistical mixtures R1 (0.52 Ga + 0.45 Cu) and R2 (0.52 Ga + 0.45 Ag) are in the center of the tetrahedron [R1(R2) S13S3] formed from Sulfur atoms and occupy the site 2b (1/3 2/3 z) (CN = 4).

Key words: *rare earth metals, chalcogenides, crystal structure, X-ray powder method.*

Актуальність проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з основних завдань напівпровідникових технологій є одержання матеріалів із наперед заданими фізичними властивостями (Mitchell, 2002; Jean-Claude Bunzli, 2016; Van Calcar, 1999). Халькогенідні матеріали, леговані d-елементами, на основі лантаноїдів можна розглядати як саме такі матеріали. Досить цікавими є тетрарні халькогеніди складу $Ln_3A^I_{4x}Ga_{1.67-x}X_7$ (Блашко, 2017), $Ln_3B^{II}_{2x}Ga_{1.65-x}X_7$ (Блашко, 2022) та $Pr_3Ag_{4x}Ge_{1,25-x}Se_7$ (Блашко, 2022) (Ln – лантаноїд; A^I, B^{II} – одно-, та двовалентний d-елемент відповідно; X = S, Se). Наявність у комірці атомів d-елементів створює відповідну кристалохімічну впорядкованість, у якій лантаноїди займають внутрішньо-об'ємні ПСТ (Gulay, 2010; Blashko, 2022). За рахунок нецентросиметричної гексагональної структури (СП *hP*24, ПГ $P6_3$) матеріали такого кристалохімічного впорядкування проявляють широкий спектр нелінійно-оптичних властивостей, а саме: генерації оптичних гармонік, оптичне декантування, п'єзо- та магнітооптичні ефекти та ін. (Ping Feng, 2024; Linfeng Dong, 2024; Wang, 2023; Hua-Jun Zhao, 2015; Rudyk, 2014).

У роботі вперше представлені результати експериментального дослідження кристалічної структури сульфідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$, що кристалізуються у структурному типі La_3CuSiS_7 (ПГ $P6_3$, СП $hP24$). Наявність атомів важких металів у кристалічній ґратці таких фаз може покращити термоелектричні властивості останніх. Синтезовані сульфіди можна розглядати як перспективні композити для матеріалознавства.

Мета дослідження. Метою дослідження є вивчення кристалічної структури халькогенідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$, як перспективних матеріалів для нелінійної оптики.

Експериментальна частина. Синтез сплавів, загальною масою один грам кожен, для дослідження кристалічної структури сульфідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ проводили з простих речовин із вмістом основного компонента не менше 99.99 мас. % в електричній муфельній печі з програмним управлінням технологічними процесами МП-30. Синтез у вакуумованих (10^{-2} Па) кварцевих контейнерах здійснювали згідно технологічного режиму: нагрів до температури 700 °С зі швидкістю 36 °С/год; витримка за температури 700 °С (10 годин); нагрів до температури 1100 °С зі швидкістю 12 °С/год; витримка за температури 1100 °С (2 години); охолодження до температури 500 °С зі швидкістю 6 °С/год; гомогенізуючий відпал за температури 500 °С (500 годин); гартування контейнерів із синтезованим матеріалом у воду за кімнатної температури без розгерметизації.

Розрахунок основних параметрів структури синтезованих фаз проводили за дифрактограмами, що були одержані в межах 2Θ=10–100° на рентґенівській установці ДРОН 4-13 з параметрами зйомки: CuK_α-випромінювання; крок сканування – 0.02°, експозиція у кожній точці – 10 с. Розрахунок кристалічної структури проведено методом Рітвельда (пакет програм WinCSD) (Grin, 2014). Візуалізацію кристалічної структури виконано за допомогою програми VESTA (Momma, 2011).

Результати та їх обговорення. Сульфіди стехіометричного складу $Nd_3Ag(Cu)_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ синтезували на основі тернарної сполуки $Nd_3Ga_{1.67}S_7$ (Keiserukhskaya, 1970) шляхом часткового заміщення атомів галію в ПСТ 2*b* атомами одновалентного купруму або аргентуму. Кристалохімічні характеристики вихідної сполуки представлені в таблиці 1.

Кристалічна структура сульфідів вивчалася рентґенівським методом порошку. Аналіз індексів *hkl* та їх інтенсивностей вказав на приналежність структур синтезованих халькогенідів до структурного типу La_3CuSiS_7 (Guittard, 1972). У таблицях 2 і 3 наведено умови проведеного експерименту та кристалографічні характеристики синтезованих фаз.

Спостережувані, розраховані та різницеві між ними дифрактограми халькогенідів $Nd_3Ag(Cu)_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ представлено на рисунку 1.

Елементарну комірку та координаційні поліедри [Nd 7S], [Ga 6S] і [R{0.450Cu(Ag) + 0.520Ga} 4S] у структурі одержаних сульфідів зображено на рисунку 2.

Кристалічна структура сульфідів $Nd_3Ag(Cu)_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ {СТ La_3CuSiS_7 (Guittard, 1972); ПГ $P6_3$, №173; СП $hP24$} з параметрами елементарної комірки a = 9.9354(6) Å, c = 6.0566(6) Å та V = 517.8(1) Å^3, (для фази $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$) та a = 9.9233(5) Å, c = 6.0724(5) Å та V = 517.8(1) Å^3, (для фази $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$) сформована тригональними призмами [Nd (ПСТ 6*c*) 7S], що мають один додатковий атом. Тригональні призми утворюють “блоки” 3 [Nd 7S]. У цих “блоках” тригональні призми між собою з’єднані ребрами. Введення атомів Cu призводить до більшої симетричності цих призм (індекс дисторції тригональної призми [Nd 7S] становить 0.01758, $КЧ_{еф.}$ = 6.83). Для аргентумвмісної фази характерна менша симетричність тригональних призм (індекс дисторції [Nd 7S] становить 0.02587, $КЧ_{еф.}$ = 6.69).

Для атомів Ga, характерною є октаедрична координація (КЧ = 6). Октаедри [Ga (ПСТ 2*a*) 6S]

Таблиця 1

Кристалографічні характеристики сполуки $Nd_3Ga_{1.67}S_7$

Сполука	Просторова група	Періоди комірки, Å				Література
		a	b	c	V	
$Nd_3Ga_{1.67}S_7$	$P6_3$	9.90	–	6.08	516.07	[Patrie,1969]
$Nd_3Ga_{1.67}S_7$	$P6_3$	9.94	–	6.07	519.39	[Keiserukhskaya,1970]

Таблиця 2

Результати розрахунку кристалічної структури сульфідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$

Параметри	$Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$	$Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$
Просторова група та її номер	$P6_3$ (173)	$P6_3$ (173)
Символ Пірсона	*hP*24	*hP*24
a, (*Å*)	9.9354(6)	9.9233(5)
c, (*Å*)	6.0566(6)	6.0724(5)
Об'єм комірки ($Å^3$)	517.8(1)	517.8(1)
Кількість атомів в комірці	23.9	23.9
Густина (обрахована) (г/см^3)	5.078(1)	5.205(1)
Абсорбційний коефіцієнт (1/см)	1222.09	1280.04
Випромінювання і довжина хвилі (*Å*)	Cu 1.54185	
Дифрактометр	ДРОН 4-13	
Спосіб обрахунку	Повнопрофільний	
Програма для обрахунку	WinCSD	
Кількість атомних позицій	6	6
Кількість вільних параметрів	19	19
2Θ та sin Θ/λ (макс.)	100.00; 0.497	100.00; 0.497
Фактори достовірності R_I / R_p	0.0832/0.2640	0.0867/0.2547
Фактор шкали	0.5443(8)	0.5052(3)

Таблиця 3

Координати та ізотропні параметри теплового коливання атомів у структурі сульфідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$

Атом	ПСТ	*x/a*	*y/b*	*z/c*	$B_{iso}\times10^2$ (Å^2)
$Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$					
Nd	6*c*	0.3762(4)	0.2310(3)	0.230(2)	1.08(5)
R1	2*b*	1/3	2/3	0.160(3)	0.6(5)
Ga	2*a*	0	0	-0.047(5)	2.3(4)
S1	6*c*	0.0915(15)	0.2400(15)	0.274(3)	0.6(4)
S2	6*c*	0.512(2)	0.100(2)	0.519(3)	0.0(3)
S3	2*b*	1/3	2/3	0.505(4)	0.1(4)
R1 – 0.45 Cu + 0.52 Ga					
$Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$					
Nd	6*c*	0.3774(4)	0.2272(3)	0.2131(11)	1.00(6)
R2	2*b*	1/3	2/3	0.1476(13)	1.00(13)
Ga	2*a*	0	0	0.055(2)	1.0(5)
S1	6*c*	0.084(2)	0.244(2)	0.273(2)	1.0(4)
S2	6*c*	0.524(2)	0.104(2)	0.500(3)	1.0(3)
S3	2*b*	1/3	2/3	0.505(4)	1.0(6)
R2 – 0.45 Ag + 0.52 Ga					

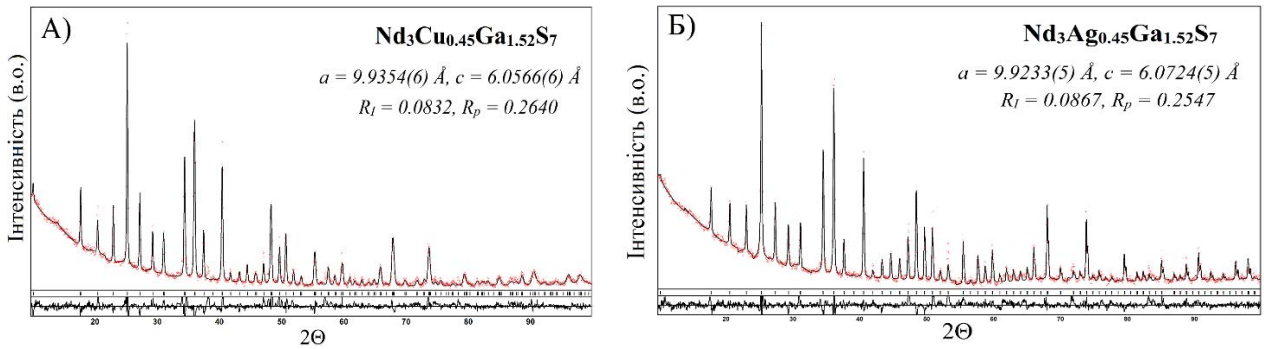

Рис. 1. Спостережувані, розраховані та різницеві між ними дифрактограми сульфідів: $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ (А), $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ (Б)

мають спільні грані та в напрямку осі *c* утворюють колони.

Введення у структуру тернарного сульфіду $Nd_3Ga_{1.67}S_7$ (Patrie, 1969) атомів одновалентного металу спричиняє значне спотворення октаедрів [Ga 6S]: χ = 0.00844 (для $Nd_3Ga_{1.67}S_7$), χ = 0.09553 (для $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$) та χ = 0.04291 (для $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$). Слід відмітити, що найбільш деформовані октаедри в структурі $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ за рахунок близького розміщення атомів Ga до однієї із сторін цього поліедра. Тобто в цій фазі реальними координаційним поліедром (рисунок 3) є трикутник (моноедр).

Атоми статистичних сумішей R(0.45 Cu(Ag) + 0.52 Ga), що локалізовані в ПСТ 2*b*, разом із атомами сульфуру формують тетраедри [R 4S]. Ці тетраедри орієнтовані в напрямку осі *c*, ізольовані один від одного і мають незначне спотворення [(χ = 0.02144 (для $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$) та χ = 0.00135 (для $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$)] та є досить симетричними (КЧ$_{еф}$ = 3.92 і 3.99 відповідно). Атоми S2 та S3 також мають тетраедричне оточення. Атоми S1 оточені п'ятьма сусідами.

Для синтезованих халькогенідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ при переході Ag→Cu параметр елементарної комірки *a* зменшується від 9.9354(6) Å (для $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$) до 9.9233(5) Å (для $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$); параметр *b* збільшується від 6.0566(6) Å (для $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$) до 6.0725(5) Å (для $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$); об'єм елементарної комірки залишається постійним для двох фаз *V* = 517.8(1) Å^3. Розраховані середні міжатомні віддалі добре корелюються з сумами відповідних іонних радіусів (Wiberg, 2007).

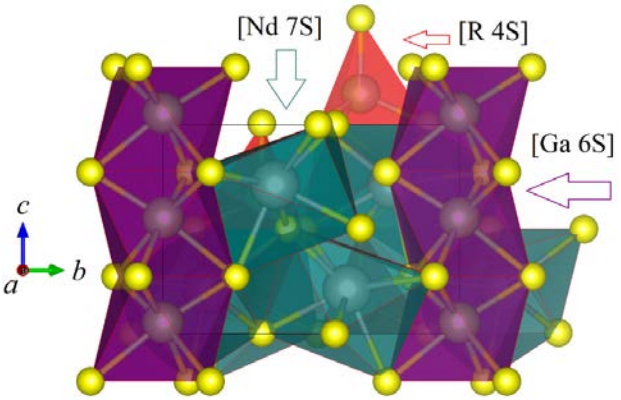

Рис. 2. Елементарна комірка та координаційні поліедри для Nd, Ga та R у структурі синтезованих сульфідів

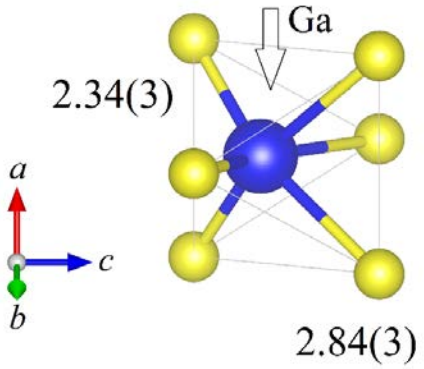

Рис. 3. Координаційне оточення та міжатомні віддалі у структурі поліедра [Ga 6S] (для $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$)

Таблиця 4

Параметри поліедрів у структурах $Nd_3Ga_{1.67}S_7$ та $Nd_3Cu(Ag)_{0.45}Ga_{1.52}S_7$

Параметри	$Nd_3Ga_{1.67}S_7$	$Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$	$Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$
Тригональні призми [Nd 7S]			
δ(Nd-S)$_{мін}$ – δ(Nd-S)$_{макс}$, Å	2.8174 –3.0664	2.7680 – 3.0100	2.7697 –3.0477
Середня довжина зв'язку, δ(Nd – S)$_{сер}$, Å	2.9117	2.8958	2.9036
Об'єм поліедра, Å^3	34.0763	33.6857	34.2667
Коефіцієнт дисторції (χ)	0.02422	0.01758	0.02587
Октаедри [Ga 6S]			
δ(Ga-S)$_{мін}$ – δ(Ga-S)$_{макс}$, Å	2.5881 –2.5813	2.3400 –2.8400	2.5096 – 2.7346
Середня довжина зв'язку, δ(Ga – S)$_{сер}$, Å	2.5597	2.5923	2.6221
Об'єм поліедра, Å^3	22.3321	22.6014	23.9052
Коефіцієнт дисторції (χ)	0.00844	0.09553	0.04291
Тетраедри	**[Ga $S_1 3S_3$]**	**[R1 $S_1 3S_3$]**	**[R2 $S_1 3S_3$]**
δ(Ga(R)-S)$_{мін}$ – δ(Ga(R)-S)$_{макс}$, Å	2.2303–2.2398	2.2210 – 2.3500	2.1726 – 2.1805
Середня довжина зв'язку, δ(Ga(R) – S), Å	2.2327	2.2533	2.1785
Об'єм поліедра, Å^3	5.6627	5.8325	5.2517
Коефіцієнт дисторції (χ)	0.00160	0.02144	0.00135

Вище зазначені особливості у симетрії поліедрів, дозволяють стверджувати, що введенням у структуру лантаноїдновмісних халькогенідів атомів хімічних елементів різної природи, можна корегувати геометричні параметри поліедрів. А отже, синтезувати матеріали з наперед заданими кристалічною структурою та фізичними властивостями.

Розраховані параметри поліедрів у структурах сульфідів представлено у таблиці 4.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Вперше синтезовано, рентґенівським методом порошку вивчено та проаналізовано кристалічну структуру нових тетрарних халькогенідів $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$.

На основі аналізу масиву експериментально отриманих результатів встановлено, що ці халькогеніди кристалізуються у гексагональній сингонії (СТ La_3CuSiS_7, ПГ $P6_3$, СП $hP24$) з параметрами елементарної комірки: $a = 9.9354(6)$ Å, $c = 6.0566(6)$ Å та V = 517.8(1) Å^3 , $R_I = 0.0832$, $R_p = 0.2640$ (для $Nd_3Cu_{0.45}Ga_{1.52}S_7$) та $a = 9.9233(5)$ Å, $c = 6.0724(5)$ Å та V = 517.8(1) Å^3 , $R_I = 0.0867$, $R_p = 0.2547$ (для $Nd_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$).

З огляду на те, що для синтезованих халькогенідів характерною є нецетросиметрична структура та значна геометрична спотвореність структурних одиниць (призм, октаедрів і тетраедрів), вони можуть бути використані як матеріали для дослідження їх нелінійно-оптичниних та інших характеристик.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Mitchell K., Ibers J. Rare-Earth Transition-Metal Chalcogenides. *Chem. Rev.* 2002. 102. P. 1929–1952. https://doi.org/10.1021/cr010319h

2. Jean-Claude Bunzli, Pecharsky V. Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. *Elsevier Science Publishers B.* 2016. 50. 480.

3. Van Calcar P., Dorhout P. A study of new rare earth metal group 13 chalcogenides: structural chemistry and optical properties. *Mater. Sci. Forum*. 1999. 315. P. 322–330. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.315-317.322

4. Блашко Н., Марчук О., Федорчук А., Олексеюк І. Кристалічна структура сполук $Ce_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Pr_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$. *Вісн. Ужгор. нац. ун-ту. Серія «Хімія»*. 2017. 1(37). С. 24–27.

5. Блашко Н., Марчук О., Смітюх О., Федорчук А. Кристалічна структура $La_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}Se_7$ та $Pr_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}Se_7$. *Вісн. Ужгор. нац. ун-ту. Серія «Хімія»*. 2022. 2(48). С. 10–15. https://doi.org/10.24144/2414-0260.2022.2.10-15

6. Блашко Н., Марчук О., Смітюх О., Федорчук А. Кристалічна структура $Pr_3Ag_{4x}Ge_{1.25-x}Se_7$ (x=0.10; 0.15). *Вісн. Одеського ун-ту. Серія «Хімія»*. 2022. 27. 3(83). С. 27–35. https://doi.org/10.18524/2304-0947.2022.3(83).268609

7. Gulay L., Daszkiewicz M., Ruda I., Marchuk O. $La_2Pb(SiS_4)_2$. *Acta Cryst. C.* 2010. 66(3). P. 19–21. https://doi.org/10.1107/S0108270110000247

8. Blashko N., Smitiukh O, Marchuk O. The crystal structure of $La_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}S_7$ and $La_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}S_7$ compounds. *Physics and chemistry of solid state*. 2022. 23(1). P. 96–100. https://doi.org/10.15330/pcss.23.1.96-100

9. Rudyk B., Stoyko S., Oliynyk A., Mar A. Rare-earth transition-metal gallium chalcogenides RE_3MGaCh_7 (M = Fe, Co, Ni; Ch = S, Se). *J. Solid State Chem*. 2014. 210. P. 79–88. https://doi.org/10.1016/j.jssc.2013.11.003

10. Ping Feng, Jia-Xiang Zhang, Mao-Yin Ran, Xin-Tao Wu, Hua Lin, Qi Long Zhu. Rare-earth-based chalcogenides and their derivatives: an encouraging IR nonlinear optical material candidate. *Chemical Science*. 2024. 15(16). P. 5869–5896. https://doi.org/10.1039/d4sc00697f

11. Linfeng Dong, Shengzi Zhang, Pifu Gong, Lei Kang, Zheshuai Lin. Evaluation and prospect of Mid-Infrared nonlinear optical materials in f^0 rare earth (RE = Sc, Y, La) chalcogenides Coordination *Chemistry Reviews***.** 2024. 509. 215805 https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215805

12. Wang Y., Shi Y., Lin Y., Chen Z., Li L. Synthesis, Structure, and optical properties of $Y_3GaGe_{0.5}S_7$: A new member in the polar R_3MTQ_7 family Inorg. Chem. Commun., 2023. 153. 110829 https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.110829

13. Hua-Jun Zhao. Synthesis, Crystal and Electronic Structure, and Optical Property of the Quaternary Selenide: $La_3Sb_{0.33}SiSe_7$. Z. Anorg. Allg. Chem. 2015. 641. 917. http://dx.doi.org/10.1002/zaac.201500044

14. Grin Y., Akselrud L. WinCSD: Software package for crystallographic calculations (Version 4). *J. Appl. Cryst*. 2014. 47(2). P. 803–805. https://doi:10.1107/s1600576714001058

15. Momma, K., Izumi, F. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *J. Appl. Cryst*. 2011. 44(6). P. 1272–1276. https://doi:10.1107/S0021889811038970

16. Patrie M., Guittard M. Chimie minerale. Sur les composes du type $Ce_6Al_{10/3}S_{14}$, *C. R. Acad. Sci., C*, 1969. 268, 1136–1138.

17. Keiserukhskaya L., Luzhnaya N., Karaev Z. The system of Nd_2S_3–Ga_2S_3. *Inorganic Materials* (see: Izv.Akad. Nauk, Neorg.Mater.) 1970. 6(10). P. 1869–1871.

18. Choudhury A., Dorhout P. Alkali-Metal Thiogermanates: Sodium Channels and Variations on the La_3CuSiS_7 Structure Type. *Inorg. Chem.* 2015. 54. P. 1055–1065. https://doi.org/10.1021/ic502418s

19. Guittard, M., Julien-Pouzol M. Les composes hexagonaux de type La_3CuSiS_7. *Bull. Soc. Chim. Fr.* 1972. 3. P. 2207–2209.

20. Wiberg N, Wiberg E, Holleman A. Lehrbuch der Anorganischen Chemie. *Walter de Gruyter. 102. Auflage*, 2007. P. 2003–2004.

REFERENCES:

1. Mitchell, K., Ibers, J. (2002). Rare-Earth Transition-Metal Chalcogenides. *Chem. Rev.* 102. 1929–1952. https://doi.org/10.1021/cr010319h

2. Jean-Claude, Bunzli., Pecharsky V. (2016). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. *Elsevier Science Publishers B.* 50. 480.

3. Van Calcar, P., Dorhout, P. (1999). A study of new rare earth metal group 13 chalcogenides: structural chemistry and optical properties. *Mater. Sci. Forum*. 315. 322–330. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.315-317.322

4. Blashko, N., Marchuk, O., Fedorchuk, A., Olekseyuk, I. (2017). Krystalichna struktura spoluk $Ce_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ та $Pr_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$. [Crystal structure of $Ce_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ and $Pr_3Ag_{0.45}Ga_{1.52}S_7$ compounds]. *Visn. Uzhhor. nats. u-tu. Ser. Khimiya. – Uzhgorod Nat.* Univ. Bull. Chemistry Series, 1(37), 24–27 [in Ukrainian].

5. Blashko, N., Marchuk, O., Smitiukh, O., Fedorchuk, A. (2022). Krystalichna struktura $La_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}Se_7$ та $Pr_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}Se_7$. [Crystal structure of $La_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}Se_7$ and $Pr_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}Se_7$]. *Visn. Uzhhor. nats. u-tu. Ser. Khimiya. – Uzhgorod Nat.* Univ. Bull. Chemistry Series, 2(48), 10–15. https://doi.org/10.24144/2414-0260.2022.2.10-15 [in Ukrainian].

6. Blashko, N., Marchuk, O., Smitiukh, O., Fedorchuk, A. (2022). Krystalichna struktura $Pr_3Ag_{4x}Ge_{1.25-x}Se_7$ (x=0.10; 0.15). [Crystal structure of $Pr_3Ag_{4x}Ge_{1.25-x}Se_7$ (x = 0.10; 0.15)]. *Visn. Odes. nats. u-tu. Ser. Khimiya. – Odessa Nat.* Univ. Bull. Chemistry Series, 3(83), 27–35. https://doi.org/10.18524/2304-0947.2022.3(83).268609 [in Ukrainian].

7. Gulay, L., Daszkiewicz, M., Ruda, I., Marchuk, O. (2010). $La_2Pb(SiS_4)_2$. *Acta Cryst. C.* 66(3). 19–21. https://doi.org/10.1107/S0108270110000247

8. Blashko, N., Smitiukh, O, Marchuk, O. (2022). The crystal structure of $La_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}S_7$ and $La_3Pb_{0.1}Ga_{1.6}S_7$ compounds. *Physics and chemistry of solid state*. 23(1). 96–100. https://doi.org/10.15330/pcss.23.1.96-100

9. Rudyk, B., Stoyko, S., Oliynyk, A., Mar, A. (2014). Rare-earth transition-metal gallium chalcogenides RE_3MGaCh_7 (M = Fe, Co, Ni; Ch = S, Se). *J. Solid State Chem*. 210. 79–88. https://doi.org/10.1016/j.jssc.2013.11.003

10. Ping Feng, Jia-Xiang Zhang, Mao-Yin Ran, Xin-Tao Wu, Hua Lin, Qi Long Zhu. (2024). Rare-earth-based chalcogenides and their derivatives: an encouraging IR nonlinear optical material candidate. *Chemical Science*. 15(16). 5869–5896. https://doi.org/10.1039/d4sc00697f

11. Linfen Dong, Shengzi Zhang, Pifu Gong, Lei Kang, Zheshuai Lin. (2024). Evaluation and prospect of Mid-Infrared nonlinear optical materials in f^0 rare earth (RE = Sc, Y, La) chalcogenides Coordination *Chemistry Reviews*. 509. 215805. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2024.215805

12. Wang, Y., Shi, Y., Lin, Y., Chen, Z., Li, L. (2023). Synthesis, Structure, and optical properties of $Y_3GaGe_{0.5}S_7$: A new member in the polar R_3MTQ_7 family. Inorg. Chem. Commun.153. 110829. https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.110829

13. Hua-Jun Zhao. (2015). Synthesis, Crystal and Electronic Structure, and Optical Property of the Quaternary Selenide: $La_3Sb_{0.33}SiSe_7$. Z. Anorg. Allg. Chem. 641. 917. http://dx.doi.org/10.1002/zaac.201500044

14. Grin, Y., Akselrud, L. (2014). WinCSD: Software package for crystallographic calculations (Version 4). *J. Appl. Cryst*., 47(2), 803–805. https://doi:10.1107/s1600576714001058

15. Momma, K., Izumi, F. (2011). VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *J. Appl. Cryst*., 44(6), 1272–1276. https://doi:10.1107/S0021889811038970

16. Patrie, M., Guittard, M. (1969). Chimie minerale. Sur les composes du type $Ce_6Al_{10/3}S_{14}$. *C. R. Acad. Sci*., 268, 1136–1138.

17. Keiserukhskaya, L., Luzhnaya, N., Karaev, Z. (1970). The system of $Nd_2S_3 – Ga_2S_3$. *Inorganic Materials* (see: Izv. Akad.Nauk, Neorg.Mater.). 6(10). 1869–1871.

18. Choudhury, A., Dorhout, P. (2015). Alkali-Metal Thiogermanates: Sodium Channels and Variations on the La_3CuSiS_7 Structure Type. *Inorg. Chem.* 54. 1055–1065. https://doi.org/10.1021/ic502418s

19. Guittard, M., Julien-Pouzol M. (1972). Les composes hexagonaux de type La_3CuSiS_7. *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 3, 2207–2209.

20. Wiberg, N., Wiberg, E., Holleman, A. (2007). Lehrbuch der Anorganischen Chemie. *Walter de Gruyter. 102. Auflage*, 2003–2004.

УДК 543
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-2

Жолт КОРМОШ
кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20300
ORCID: *0000-0001-6018-8787*
Scopus Author ID: *35580134800*

Оксана ЮРЧЕНКО
кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-6602-2929*

Світлана КОРОЛЬЧУК
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-5830-3966*

Тетяна САВЧУК
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0001-9416-0643*

Наталія ГОРБАТЮК
кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач, доцент кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20300
ORCID: *0000-0001-5834-7830*

Юлія БОХАН
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри природничих наук і методик їхнього навчання, Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка, вул. Шевченка, 1, м. Кропивницький, Кіровоградська обл., Україна, 25000
ORCID: *0000-0003-2974-0902*

Світлана БОРКОВА
викладач, Ківерцівський фаховий медичний коледж Волинської обласної ради, вул. Київська, 4, м. Ківерці, Волинська обл., Україна, 45200
ORCID: *0000-0002-6602-2929*

Катерина ЛЮШУК
кандидат педагогічних наук, голова циклової комісії, викладач-методист, Волинський медичний інститут, вул. Лесі Українки, 2, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43016
ORCID: *0000-0003-2189-0332*

Людмила ПІСКАЧ
кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0003-3117-4006*

Бібліографічний опис статті: Кормош, Ж., Юрченко, О., Корольчук, С., Савчук Т., Горбатюк, Н., Бохан, Ю., Боркова, С., Люшук, К., Піскач, Л. (2024). Потенціометричний сенсор для визначення фенопрофену. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 2, 10–16, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-2

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФЕНОПРОФЕНУ

Розвиток прикладної потенціометрії вимагає як теоретичних досліджень, вкладених у з'ясування природи селективності електродних мембран, і пошуку нових способів синтезу мембран та його модифікації з метою отримання досконаліших структурних одиниць із ширшим діапазоном функціональні властивості цих матеріалів. Для вирішення цієї проблеми важливу роль відіграє встановлення зв'язку між структурними характеристиками мембран та їх впливом на електроаналітичні властивості. Взаємодія органічного аніону фенопрофену (Фен⁻) з толуї-

диновим синім (TC^+) було досліджено Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем Фен$^-$ + TC^+ та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протиіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+.

Розроблено фенопрофен-селективний сенсор із пластифікованою полівінілхлоридною мембраною. Електрод містить іонний асоціат фенопрофену з толуїдіновим синім. Для моделювання складу мембрани як матрицю використовували ПВХ; досліджено мембрани, пластифіковані дибутілфталатом (ДБФ), діетилфталатом (ДЕФ), діоктилфталатом (ДОФ), динонілфталатом (ДНФ), дибутилсебацинатом (ДБС), трикрезилфосфат (ТКФ). Встановлено, що природа пластифікатора дещо впливає на крутизну і до певної міри на межу виявлення сенсорів. Відгук лінійний у межах зміни концентрації іонів фенопрофену $8\cdot10^{-5}$ – $1\cdot10^{-1}$ моль/л із крутизною електродної функції 40,0 ± 1,0 мВ/pC. Сенсор має короткий час відклику 5-10 с і може використовуватися не менше 10 тижнів. Сенсори з більшим вмістом пластифікатора працюють довше, ніж з меншим вмістом. Електрод можна використовувати у діапазоні pH 6,5-12,0. Були досліджені коефіцієнти селективності для фенопрофену по відношенню до іонів, що потенційно можуть заважати. Для оцінки розроблених сенсорів було проведено їх апробацію щодо визначення фенопрофену в різних об'єктах методом потенціометрії.

Ключові слова: *фенопрофен-чутливий сенсор; потенціометрія; визначення фенопрофену.*

Zholt KORMOSH
PhD in Chemistry, Professor, Professor of the Department of Chemistry and Ecology, Uman State University named after Pavlo Tychyna, 2 Sadova str., Uman, Cherkasy region, Ukraine, 20300
ORCID: *0000-0001-6018-8787*
Scopus Author ID: *35580134800*

Oksana YURCHENKO
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-6602-2929*

Svitlana KOROLCHUK
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-5830-3966*

Tetiana SAVCHUK
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0001-9416-0643*

Nataliia HORBATIUK
Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, head, associate professor of the Department of Chemistry and Ecology of Uman State University named after Pavlo Tychyna, 2 Sadova str., Uman, Cherkasy region, Ukraine, 20300
ORCID: *0000-0001-5834-7830*

Yulia BOKHAN
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Methods of Their Education, Central Ukrainian State University named after Volodymyr Vynnychenko, 1 Shevchenko str., Kropyvnytskyi, Kirovograd region, Ukraine, 25000
ORCID: *0000-0003-2974-0902*

Svitlana BORKOVA
Teacher, Kivertsi Vocational Medical College of the Volyn Regional Council, 4 Kyivska str., Kivertsy, Volyn region, Ukraine, 45200
ORCID: *0000-0002-6602-2929*
Kateryna LIUSHUK
Candidate of Pedagogical Sciences, Chairman of the Cycle Commission, Methodist Teacher, Volyn Medical Institute, 2 Lesya Ukrainka str., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43016
ORCID: *0000-0003-2189-0332*

Lyudmyla PISKACH
PhD in Chemistry, Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0003-3117-4006*

To cite this article: Kormosh, Zh., Yurchenko, O., Korolchuk, S., Savchuk, T., Horbatiuk, N., Bokhan, Y., Borkova, S., Liushuk, K., Piskach, L. (2024). Potentsiometrychnyi sensor dlia vyznachennia fenoprofenu [Potentiometric sensor for determination of fenoprofen]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development,* 2, 10–16, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-2

POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF FENOPROFEN

The development of applied potentiometry requires both theoretical studies devoted to the elucidation of the nature of the selectivity of electrode membranes, and the search for new methods of membrane synthesis and its modification in order to obtain more perfect structural units with a wider range of functional properties of these materials. In order to solve this problem, an important role is played by establishing a connection between the structural characteristics of the membranes and their influence on the electroanalytical properties. The interaction of the organic anion of fenoprofen (Fen^-) with toluidine blue (TB^+) was investigated. The energy efficiency of the formation of IA was substantiated by the method of mathematical modeling. Molecular modeling of $Fen^- + TB^+$ systems and related calculations were carried out using the HyperChem 8.0 package for various initial options for the arrangement of counterions relative to each other ("single point" procedure). Geometrical optimization of ions was carried out using the MM+ molecular mechanics method.

A fenoprofen-selective sensor with a plasticized polyvinyl chloride membrane was developed. The electrode contains an ionic associate of fenoprofen with toluidine blue. To model the composition of the membrane, PVC was used as a matrix; investigated membranes plasticized with dibutyl phthalate (DBF), diethyl phthalate (DEF), dioctyl phthalate (DOF), dinonyl phthalate (DNF), dibutyl sebaceate (DBS), tricresyl phosphate (TCF). It was established that the nature of the plasticizer somewhat affects the steepness and to some extent the detection limit of the sensors. The response is linear within the range of fenoprofen ion concentration change of $8\cdot10^{-5} – 1\cdot10^{-1}$ mol/l with a slope of the electrode function of 40.0 ± 1.0 mV/PC. The sensor has a short response time of 5-10 s and can be used for at least 10 weeks. Sensors with a higher content of plasticizer work longer than with a lower content. The electrode can be used in the pH range of 6.5-12.0. Selectivity coefficients for fenoprofen with respect to potentially interfering ions were investigated. To evaluate the developed sensors, their approbation was carried out for the determination of fenoprofen in various objects by the potentiometry method.

Key words: *fenoprofen-sensitive sensor; potentiometry; determination of fenoprofen.*

Вступ. Фенопрофен (Фен) сильно зв'язується з білками плазми. Фенопрофен є інгібітором циклооксигенази (ЦОГ). Протизапальний анальгетик і жарознижувальний засіб з високим зв'язуванням до білків плазми [1, 2]. Фармакологічно подібний до аспірину, але викликає менше шлунково-кишкових кровотеч. Фенопрофен є нестероїдним протизапальним препаратом, який використовується для лікування запалення та болю, пов’язаних з товстою кишкою. Частий прийом Фенопрофену призводить до виразки шлунка, кровотечі та інших шлункових ускладнень. Таким чином, розробка доставки фенопрофену в товсту кишку доречна для зменшення його побічних ефектів і досягнення високих локальних концентрацій препарату в товстій кишці [3, 4].

У зв’язку з широким застосуванням фенопрофену є необхідність розробки надійних методів його визначення. Відомі аналітичні методи

разом із можливостями їх застосування мають і ряд обмежень. Спектрофотометричне визначення основане на утворенні комплексів переносу заряду [5]. Недоліком є необхідність проведення реакцій у присутності полярних органічних розчинників. Похідна нелінійна синхронна флуоресцентна спектрометрія зі змінним кутом сканування потребує складну апаратуру та математичну обробку аналітичного сигналу [6]. Також запропоновані методи оберненофазової високоефективної рідинної хроматографії [7] і нормальнофазової високоефективної рідинної хроматографії [8], які також вимагають складну апаратуру та пробопідготовку.

Розвиток потенціометричних методів вимагає як теоретичних досліджень, вкладених у з'ясування природи селективності електродних мембран, і пошуку нових способів модифікації мембран з метою отримання досконаліших структурних одиниць із ширшим діапазоном функціональні властивості цих матеріалів. Для вирішення цього важливу роль відіграє встановлення зв'язку між структурними характеристиками мембран та їх впливом на електроаналітичні властивості [9-14].

Метою даної роботи було вивчення можливості застосування виділеного іонного асоціату фенопрофену (Фен) з толуїдиновим синім (ТС), як електродоактивної речовини пластифікованих ІСЕ та створення на цій основі нового потенціометричного сенсора для визначення фенопрофену.

Матеріали та методи дослідження. Іонні асоціати отримували шляхом осадження при змішуванні розчину фенопрофену ($1*10^{-2}$ моль/л) з ТС у співвідношенні 1:1 при pH 9. Суміш перемішували та залишали при кімнатній температурі на дві доби. Випавший осад відфільтровували, кілька разів промивали холодною водою і сушили при кімнатній температурі протягом 3 діб.

Пластифіковані мембрани ПВХ готували наступним чином: 0,7 г полівінілхлориду (ПВХ) і певну кількість ІА (1 – 15% від загальної маси мембрани) перемішували. Вводили 0,12 мл пластифікатора діоктилфталат (ДОФ), дибутилфталат (ДБФ), дибутилсебацинат (ДБС), динонілфталат (ДНФ), діетилфталат (ДЕФ), трикрезилфосфат (ТКФ) та перемішували до одержання однорідної маси. Отриману суміш переносили у форму (кільце діаметром 1,5 см), попередньо відшліфовану та прикріплену до скляної підкладки, та сушили на повітрі протягом 5 – 7 діб. З отриманих плівок вирізали мембрану діаметром 0,7 см і приклеювали до торця полівінілхлоридної трубки.

Потенціометричне вимірювання проводили іономером АІ-123 при кімнатній температурі, як електрод порівняння використовували стандартний хлорсрібний електрод ЭВЛ-1М3. Значення pH розчинів контролювали pH-метром/іономіром pH-301.

Результати та їх обговорення. На основі констант дисоціації фенопрофену та толуїдинового синього за допомогою програми MarvinScetch 21.11 [15] розраховано діаграми розподілу різних форм від pH. Як видно з Рис. 1 та Рис. 2, Фен існує в аніонній формі формі при pH більше 6, а толуїдиновий синій існує переважно в однозарядній катіонній формі при pH більше 5. Отже, найбільш імовірні умови утворення іонного асоціату при pH більше 6.

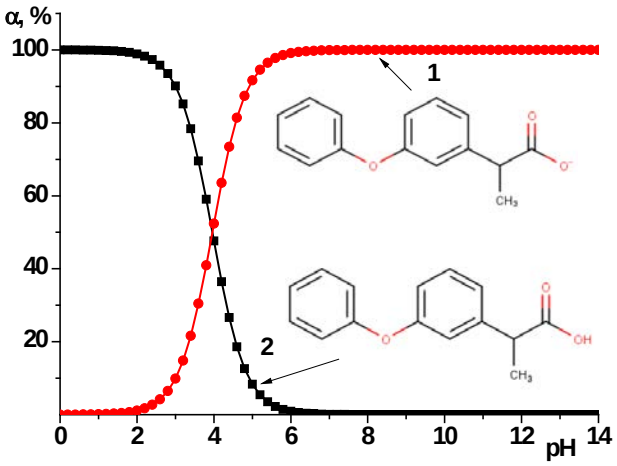

Рис. 1. Розподіл форм фенопрофену від pH середовища (1 – аніонна форма; 2 – молекулярна форма)

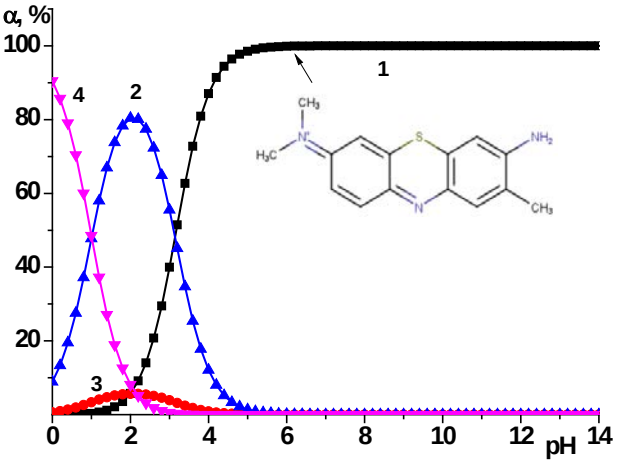

Рис. 2. Розподіл форм толуїдинового синього від pH середовища (1 – катіонна однозарядна форма; 2-4 – протоновані форми)

Математичне моделювання утворення ІА. Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем «Фен$^-$ + ТС$^+$» та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протиіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+.

Стандартну ентальпію (ΔH_0) утворення іонів та асоціату "Фен$^-$ + ТС$^+$" визначали напівемпіричним методом PM3. Параметри цих методів підібрані таким чином, щоб вони дозволяли найкращим чином відтворювати експериментальні значення ΔH_0 органічних сполук. Як приклад у табл. 1 та рис. 3 наведені енергетичні характеристики взаємодії «ТС$^+$ + Фен$^-$».

Як видно, різниця в енергії утворення іонного асоціату і суми енергій утворення його компонентів дорівнює 284,0 кДж/моль. Отже, процес утворення ІА є термодинамічно вигідним.

Дослідження електрохімічних властивостей отриманих ІСЕ з різним вмістом іонного асоціату свідчить, що всі вони дають відгук залежно від потенціалу ІСЕ від концентрації фенопрофену в широкому інтервалі: $1\cdot10^{-5}$ – $1\cdot10^{-1}$ М. Досліджено вплив вмісту електродоактивної речовини на електрохімічні характеристики сенсорів. Склад змінювали від 1 до 15% ЕАР. Результати показали, що у всіх випадках електродна функція спостерігається в інтервалі зміни концентрації фенопрофену $8\cdot10^{-5}$ – $1\cdot10^{-1}$ моль/л, крутизна електродної функції для мембран з різними складами ЕАВ (1 – 5%) нижче за теоретичне значення Нернстівської функції а чутливість становить $n\cdot10^{-5}$ моль/л.

Вивчали вплив різних факторів на електрохімічні властивості одержаних ІСЕ – pH, час відгуку, дрейф потенціалу, вплив внутрішнього розчину.

Таблиця 1

Енергетичні характеристики взаємодії Фен$^-$ + ТС$^+$

Частинка	Е, кДж/моль
ТС$^+$	14975,4
Фен$^-$	14757,0
Σ (Фен$^-$ + ТС$^+$)	29732,4
Фен$^-$ТС$^+$	30016,4
Σ(Фен$^-$+ТС$^+$) – Фен$^-$ТС$^+$	284,0

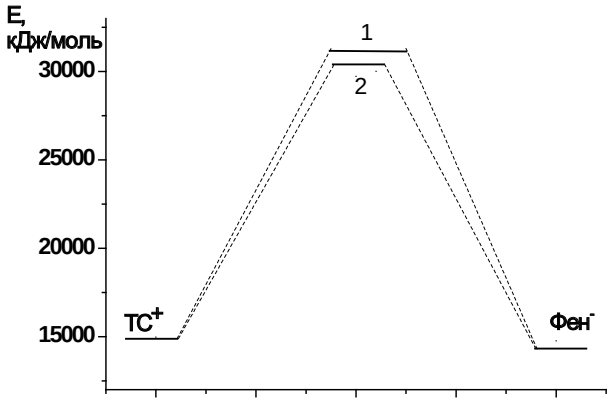

Рис. 3. Рівні енергії іонів Фен$^-$, ТС$^+$ та їх ІА; (1) сума енергій Фен$^-$ + ТС$^+$ і (2) енергія ІА

Показано, що робочий інтервал електрода становить pH 6,5 – 12,0. Стабільні значення електродних потенціалів встановлюються протягом 5-10 с. Синтезовані мембрани зберігають стабільні показники не менше 10 тижнів.

На основі створеного фенопрофен-селективного сенсора розроблена методика його визначення. Правильність методики перевірено методом «введено-знайдено».

Методика визначення. До аліквотної частини, що містить фенопрофен, додають необхідну кількість фонового електроліту з pH 9. В одержаний розчин опускають розроблений сенсор та електрод порівняння, визначають різницю потенціалів. Вміст фенопрофену визначають за калібрувальним графіком, побудованим відентичних умовах. Проводили 5 паралельних вимірювань методом прямої потенціометрії (P = 0,95) та розраховували результати аналізу методами математичної статистики (табл. 2).

Таблиця 2

Результати визначення фенопрофену (n = 5; P = 0,95)

Введено фенопрофену, мг	Знайдено фенопрофену		
	мг	S^2	RSD (%)
200	198,0 ± 1,2	2,5	0,8
400	398,6 ± 3,9	7,8	0,7
600	599,2 ± 14,9	11,6	1,8

Як видно з таблиці 2, розроблена методика має добрі метрологічні характеристики.

Висновок. Показано, що синтезований іонний асоціат фенопрофену з толуїдиновим синім може бути використаний як ЕАР для визначення фенопрофену. Досліджено умови роботи запропонованого сенсора. На основі отриманих результатів розроблено нову надійну методику потенціометричного визначення фенопрофену.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Sreelatha D, Brahma C.K. A Review on primary and novel approaches of colon targeted drug delivery system. *Journal of Global Trends in Pharmaceutical Sciences*. 2012. Vol. 4 (3). 1174–1183. doi: 10.5001/omj.2010.24.

2. Sinha V.R, Kumria R. Review on Polysaccharides in colon specific drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics.* 2001. Vol. 224 (1-2). 19–38. DOI: 10.1016/s0378-5173(01)00720-7.

3. Kumar Ravi, Patil M.P, Sachin, A review on polysaccharides based colon specific drug delivery. *International journal of pharm tech research*. 2009. Vol. 1. 334–346. https://sphinxsai.com/pdf/jpt_Ap_Ju_09/PT=41%20Ravi%20 kumar2%20(334-346).pdf.

4. Sharma Ankush, Kanwar Kapil, Singh Amritpal, Pooja and Anju. A review on novel approaches for colon targeted drug delivery system. *International journal of pharmaceutical, chemical and biological sciences.* 2014. Vol. 4 (2), 241–249. https://www.ijpcbs.com/articles/a-review-on-novel-approaches-for-colon-targeteddrug-delivery-system.pdf.

5. Marwa E. Mohamed, Eman Y.Z. Frag, Abla A. Hathoot, Essam A. Shalaby. Spectrophotometric determination of fenoprofen calcium drug in pure and pharmaceutical preparations. Spectroscopic characterization of the charge transfer solid complexes, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 2018. Vol. 189. 357–365. doi: 10.1016/j.saa.2017.08.027.

6. Murillo J. A., Alañón M. A., Robles S. F. Rapid simultaneous determination of four nonsteroidal anti-inflammatory drugs by means of derivative nonlinear variable-angle synchronous fluorescence spectrometry. *Appl. Spectrosc*. 2010. Vol. 64. 949–955. DOI: 10.1366/000370210792081055.

7. Delbeke F. T., Debackere M. A liquid chromatographic method for the determination of fenoprofen in equine plasma and urine. *Biomed Chromatogr*. 1994. Vol. 8. 29–31. https://doi.org/10.1002/bmc.1130080108.

8. Purnachand D., Veerareddy A., Ramadevi B., Madhusudhanreddy B. Development and Validation of Stability Indicating RP-HPLC Method for Determination of Related Substances in Fenoprofen Calcium. *J. Chem. Pharm. Res*., 2016. Vol. 8. 251–259. https://www.jocpr.com/articles/development-and-validation-of-stability-indicating-rphplc-method-for-determination-of-related-substances-in-fenoprofen-c.pdf.

9. Кормош Ж., Шевчук М., Кормош Н., Люшук К., Корольчук С., Савчук Т., Юрченко О., Піскач Л., Боркова С. Потенціометричний сенсор для визначення нафазоліну. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. № 3. С. 20–25. doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-3.

10. Кормош Ж., Шевчук М., Кормош Н., Люшук К., Корольчук С., Савчук Т., Юрченко О., Піскач Л. Потенціометричний сенсор для визначення левамізолу. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2023. № 2. С. 3–9. doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-1.

11.Kormosh Zh., Kormosh N., Golub S., Panchenko Yu., Yurchenko O., Savchuk T., Korolchuk S., Borkova S., and Suprunovich S. New potentiometric sensor for determination of metformin. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022. Vol. 56. No. 8. pp. 1140–1143; DOI 10.1007/s11094-022-02765-1.

12. Kormosh Zh., Kormosh N., Lyushuk K., Semenyuk O., Kotsar V., Osyp Yu., and Savchuk L. Spectrophotometric determination of flurbiprofen in application to pharmaceutical analysis. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2022. Vol. 56. No. 7. pp. 999–1003. DOI 10.1007/s11094-022-0274.

13. Kormosh Zh., Khalavka Yu., and Mittal S. K. Design and application of potentiometric sensors for the determination of mefenamic and phenylanthranilic acids. *Analytical Methods*. 2023. Vol. 15. PP. 1903–1914. https://doi.org/10.1039/D2AY02092K.

14. Kormosh Z., Gorbatyuk N., Kormosh N., Shevchuk M., Liushuk K., Kotsar V., Bokhan Yu., and Borkova S. Novel Potentiometric Sensor for the Determination of Ibuprofen. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2023. Vol. 57. N 5. PP. 745–749. https://doi.org/10.1007/s11094-023-02946-6.

15. URL: http://www.chemaxon.com.

REFERENCES:

1. Sreelatha, D, Brahma, C.K. (2012). A Review on primary and novel approaches of colon targeted drug delivery system. *Journal of Global Trends in Pharmaceutical Sciences*. Vol. 4 (3). 1174–1183. doi: 10.5001/omj.2010.24

2. Sinha, V.R, Kumria, R. (2001). Review on Polysaccharides in colon specific drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics.* Vol. 224 (1-2). 19–38. DOI: 10.1016/s0378-5173(01)00720-7

3. Kumar, Ravi, Patil, M.P, Sachin, A. (2009). A review on polysaccharides based colon specific drug delivery. *International journal of pharm tech research*. Vol. 1. 334–346. https://sphinxsai.com/pdf/jpt_Ap_Ju_09/PT=41%20 Ravi%20kumar2%20(334-346).pdf

4. Sharma Ankush, Kanwar Kapil, Singh Amritpal, Pooja and Anju. (2014). A review on novel approaches for colon targeted drug delivery system. *International journal of pharmaceutical, chemical and biological sciences.* Vol. 4 (2), 241–249. https://www.ijpcbs.com/articles/a-review-on-novel-approaches-for-colon-targeteddrug-delivery-system.pdf

5. Marwa, E. Mohamed, Eman, Y.Z. Frag, Abla, A. Hathoot, Essam, A. Shalaby. (2018). Spectrophotometric determination of fenoprofen calcium drug in pure and pharmaceutical preparations. Spectroscopic characterization of the charge transfer solid complexes, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* Vol. 189. 357–365. doi: 10.1016/j.saa.2017.08.027

6. Murillo, J. A., Alañón, M. A., Robles, S. F. (2010). Rapid simultaneous determination of four nonsteroidal anti-inflammatory drugs by means of derivative nonlinear variable-angle synchronous fluorescence spectrometry. *Appl. Spectrosc*. Vol. 64. 949–955. DOI: 10.1366/000370210792081055

7. Delbeke, F. T., Debackere, M. (1994). A liquid chromatographic method for the determination of fenoprofen in equine plasma and urine. *Biomed Chromatogr*. Vol. 8. 29–31. https://doi.org/10.1002/bmc.1130080108

8. Purnachand, D., Veerareddy, A., Ramadevi, B., Madhusudhanreddy, B. (2016). Development and Validation of Stability Indicating RP-HPLC Method for Determination of Related Substances in Fenoprofen Calcium. *J. Chem. Pharm. Res*., Vol. 8. 251–259. https://www.jocpr.com/articles/development-and-validation-of-stability-indicating-rphplc-method-for-determination-of-related-substances-in-fenoprofen-c.pdf

9. Kormosh, Zh., Shevchuk, M., Kormosh, N., Lyushuk, K., Korolchuk, S., Savchuk, T., Yurchenko, O., Piskach, L., Borkova S. (2023). Potentsiometrychnyi sensor dlia vyznachennia nafazolinu [Potentiometric sensor for determination of nafalosine]. Problems of Chemistry and Sustainable Development, 3, 20–25, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-3 [in Ukrainian].

10. Kormosh, Zh., Shevchuk, M., Kormosh, N., Lyushuk, K., Korolchuk, S., Savchuk, T., Yurchenko, O., Piskach, L. (2023). Potentsiometrychnyi sensor dlia vyznachennia levamizolu [Potentiometric sensor for determination of levamisole]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 3–9, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-1[in Ukrainian].

11. Kormosh, Zh., Kormosh, N., Golub, S., Pachenko, Yu., Yurchenko, O., Savchuk, T., Korolchuk, S., Borkova, S., and Suprunovich, S. (2022). New potentiometric sensor for determination of metformin. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 56 (8). 1140–1143; DOI 10.1007/s11094-022-02765-1

12. Kormosh, Zh., Kormosh, N., Lyushuk, K., Semenyuk, O., Kotsar ,V., Osyp, Yu., and Savchuk, L. (2022). Spectrophotometric determination of flurbiprofen in application to pharmaceutical analysis. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 56 (7). 999–1003. DOI 10.1007/s11094-022-0274

13. Kormosh, Zh., Khalavka, Yu., and Mittal, S. K. (2023). Design and application of potentiometric sensors for the determination of mefenamic and phenylanthranilic acids. *Analytical Methods*. 15. 1903–1914. https://doi.org/10.1039/D2AY02092K

14. Kormosh, Z., Gorbatyuk, N., Kormosh, N., Shevchuk, M., Liushuk, K., Kotsar, V., Bokhan, Yu., and Borkova, S. (2023). Novel Potentiometric Sensor for the Determination of Ibuprofen. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 57 (5). 745–749. https://doi.org/10.1007/s11094-023-02946-6

15. Retrieved from http://www.chemaxon.com.

УДК 543.42:628.16
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-3

Катерина НЕСТЕРОВА
аспірант кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041
ORCID: *0000-0003-4081-4570*

Олена ХИЖАН
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041
ORCID: *0000-0002-2986-3251*

Андрій ГАЛСТЯН
доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри загальної, органічної та фізичної хімії, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041
ORCID: *0000-0001-8475-8166*

Бібліографічний опис статті: Нестерова, К., Хижан, О., Галстян, А. (2024). Визначення елементного складу водних об’єктів атомно-емісійною спектрометрією. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 2, 17–25, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-3

ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ВОДНИХ ОБ’ЄКТІВ АТОМНО-ЕМІСІЙНОЮ СПЕКТРОМЕТРІЄЮ

Метою даного дослідження є аналіз елементного складу зразків проб води з водойм Київської області. Результати дозволять визначити вміст та розподіл важких металів у поверхневих водах регіону, що є важливим для розробки заходів з охорони, раціонального використання та відтворення водних ресурсів. Дослідження проводилося в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, яка є акредитованою за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Вимірювання елементного складу зразків води проводили за допомогою атомно-емісійного спектрофотометра з індуктивно-зв’язаною плазмою (ICP-AES). Це дозволяє точно визначати концентрації різних хімічних елементів у водних зразках. Межа детектування більшості елементів складає 0,01 мг/дм³. Це забезпечує виявлення навіть дуже низьких концентрацій елементів у водних пробах. Для забезпечення точності і відтворюваності результатів використовували багатоелементний стандартний розчин IV від Mercs KGaA, Німеччина. Аналіз водних об'єктів Київської області показав незначний вміст важких металів, що є позитивним показником з точки зору екологічної ситуації в регіоні. Це свідчить про задовільний стан водних ресурсів, який не потребує негайних заходів для мінімізації забруднення. Вміст важких металів у водних об'єктах Київської області є низьким, що позитивно впливає на екологічну ситуацію в регіоні. Дані про елементний склад води дозволяють оцінювати ризики забруднення сільськогосподарської продукції та прогнозувати ймовірність безпечного вирощування екологічно чистої продукції. Результати дослідження є важливим кроком для збереження природного середовища та забезпечення здоров'я мешканців регіону. Таким чином, регулярний моніторинг елементного складу водних ресурсів є необхідним для підтримки екологічного балансу та забезпечення безпеки навколишнього середовища.

Ключові слова: *важкі метали, вода, елементний склад, забруднення.*

Kateryna NESTEROVA
Postgraduate Student of the Department of General, Organic and Physical Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony str., Kyiv, Ukraine, 03041
ORCID: *0000-0003-4081-4570*

Olena KHYZHAN
Candidate of Chemical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General, Organic and Physical Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony str., Kyiv, Ukraine, 03041
ORCID: *0000-0002-2986-3251*

Andriy GALSTYAN
Doctor of Chemical Science, professor, Head of the Department of General, Organic and Physical Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony str., Kyiv, Ukraine, 03041
ORCID: *0000-0001-8475-8166*

To citethis article: Nesterova, K., Khyzhan, O., Galstyan, A. (2024). Vyznachennia elementnoho skladu vodnykh obiektiv atomno-emisiinoiu spektrometriieiu [Determination of the elemental composition of water bodies by atomic emission spectrometry]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 17–25, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-3

DETERMINATION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF WATER BODIES BY ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY

The aim of this study is to analyze the elemental composition of water samples from bodies of water in the Kyiv region. The results will allow determining the content and distribution of heavy metals in the surface waters of the region, which is important for developing measures for the protection, rational use, and restoration of water resources. The study was conducted at the Ukrainian Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products of NUBiP of Ukraine, which is accredited according to the DSTU ISO/IEC 17025 standard. The elemental composition of the water samples was measured using an inductively coupled plasma atomic emission spectrophotometer (ICP-AES). This method allows for precise determination of the concentrations of various chemical elements in water samples. The detection limit for most elements is 0.01 mg/dm³, ensuring the detection of even very low concentrations of elements in water samples. To ensure the accuracy and reproducibility of the results, a multi-element standard solution IV from Merck KGaA, Germany, was used. The analysis of water bodies in the Kyiv region showed a low content of heavy metals, which is a positive indicator of the ecological situation in the region. This indicates a satisfactory state of water resources, which does not require immediate measures to minimize pollution. The content of heavy metals in the water bodies of the Kyiv region is low, which positively affects the ecological situation in the region. Data on the elemental composition of water allow assessing the risks of agricultural product contamination and predicting the likelihood of safely growing environmentally clean products. The results of the study are an important step for the preservation of the natural environment and ensuring the health of the region's residents. Thus, regular monitoring of the elemental composition of water resources is necessary to maintain ecological balance and ensure environmental safety.

Key words: *elemental composition, heavy metals, pollution, water.*

Актуальність проблеми. Забруднення довкілля важкими металами дійсно є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності. Іони важких металів, як кадмій (Cd^{2+}), свинець (Pb^{2+}), ртуть (Hg^{2+}) та інші, стають основними джерелами забруднення водних ресурсів, що має серйозні наслідки як для екологічної рівноваги, так і для здоров'я людей. Більшість важких металів є канцерогенами та мають токсичні властивості, що можуть спричинити різноманітні хвороби та патологічні стани при накопиченні в організмі. Наприклад, свинець може впливати на нервову систему та когнітивні функції, кадмій – на нирки та кістки, а ртуть – на нервову систему та нирки. Масовий викид важких металів у природні водойми за останні кілька десятиліть став глобально поширеним явищем, особливо внаслідок промислової діяльності, сільського господарства, видобутку корисних копалин та інших антропогенних

джерел. Токсичність важких металів обумовлена їх здатністю до біоакумуляції, тобто накопичення в організмах, що призводить до підвищення їх концентрації у харчових ланцюгах. Це означає, що навіть незначні концентрації важких металів у навколишньому середовищі можуть стати значним ризиком для здоров'я людей і тварин у довгостроковій перспективі (Василенко, 2022, с.4; Мусінкевич, 2020. С 14). З огляду на потенційне накопичення в різних частинах організму та нездатність до біологічного розкладання, іони важких металів стають серйозною загрозою для здоров'я. Вони можуть спричиняти кілька небезпечних ризиків для здоров’я, таких як рак, хронічні захворювання, порушення розвитку у дітей та інші.

Забруднення екополютантами, включаючи важкі метали, є складною проблемою, що залежить від природних та антропогенних факторів. Останні десятиліття характеризуються постійним зростанням антропогенного впливу на навколишнє середовище, що зумовлено збільшенням кількості джерел забруднення, таких як промислові підприємства, побутові відходи та транспорт. Викиди з підприємств часто містять важкі метали, які потрапляють у воду через стічні води. Побутові відходи, особливо несанкціоновані звалища, також є джерелами важких металів, що можуть проникати у ґрунтові та поверхневі води. Викиди транспортних засобів містять метали, такі як свинець та кадмій, які можуть осідати на дорогах і змиватися дощовими водами у водні об'єкти.

Забруднення водних ресурсів важкими металами безпосередньо впливає на якість і безпеку сільськогосподарської продукції. Оскільки вода є основним ресурсом для зрошення, підвищений вміст шкідливих речовин у воді може призводити до накопичення цих речовин у рослинах. Це не лише погіршує якість продукції, але й становить загрозу для здоров'я людей, які споживають цю продукцію.

Елементний склад води є однією з основних характеристик її якості, тому моніторинг цього складу є надзвичайно важливим для забезпечення екологічної безпеки. Постійний моніторинг дозволяє вчасно виявляти підвищені концентрації шкідливих речовин і вживати заходів для запобігання їхньому накопиченню.

Забезпечення чистоти водних ресурсів є ключовим елементом для збереження екологічного балансу та здоров'я населення, тому моніторинг і вжиття відповідних заходів повинні бути пріоритетом для сучасного суспільства.

Вимірювання концентрації важких металів та фізико-хімічних параметрів води є важливим для визначення якості водних ресурсів і оцінки їх впливу на здоров'я людей та стан навколишнього середовища. Особливо це актуально для центральної частини України, де забруднення може мати значні соціальні та екологічні наслідки.

Основною метою дослідження є визначення елементного складу води в центральній частині України, щоб оцінити еколого-геохімічну ситуацію в регіоні. Це дозволить розробити заходи для попередження погіршення стану ґрунтів і забезпечення безпеки водних ресурсів. Дослідження спрямоване на отримання нових даних про концентрацію важких металів та інші фізико-хімічні параметри води. Це дозволить краще зрозуміти поточний стан водних ресурсів. Аналіз отриманих даних допоможе оцінити екологічну ситуацію в центральній частині України, визначити джерела забруднення та їх вплив на довкілля. Дослідження дозволить встановити, чи є окремі елементи природного походження або вони потрапили у воду внаслідок антропогенної діяльності.

Встановлення елементного складу води в центральній частині України є важливим кроком для оцінки еколого-геохімічної ситуації регіону. Це дослідження має наукову новизну та практичне значення, оскільки дозволяє отримати нові дані про якість водних ресурсів, визначити джерела забруднення та розробити ефективні заходи для охорони довкілля і забезпечення здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення довкілля важкими металами є значною проблемою, яка має серйозні наслідки для екосистем і здоров'я людей. Велика частина токсичних речовин потрапляє до навколишнього середовища через неадекватне поводження з відходами, включаючи скидання у каналізацію, сміттєзвалища та водойми (Сталінська, 2023. с. 82) Лабораторні дослідження проб води показали, що концентрації свинцю (Pb) і хрому (Cr) перевищують допустимі межі, встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ). Це свідчить про критичне забруднення досліджуваних водних об'єктів (Kumar, 2020, с. 146).

Токсичні метали, такі як свинець (Pb), мідь (Cu), залізо (Fe), нікель (Ni), ртуть (Hg) і цинк (Zn), часто містяться в харчових стічних водах. Вони не тільки спричинюють токсичне або хронічне отруєння у водних організмів, але й становлять загрозу для всього навколишнього середовища. Води, забруднені цими металами, використовуються для поливу, що призводить до накопичення токсичних речовин у ґрунтах, роблячи їх небезпечними для рослин і тварин(Jingxi, 2020, c.2).

Забруднення важкими металами є однією з найсерйозніших екологічних проблем сучасного світу. Розподіл важких металів у довкіллі залежить не тільки від близькості джерел викидів, але й від різних екологічних умов. Забруднювачі з різних джерел потрапляють у ґрунт через зрошення, атмосферні опади, стік, тверді відходи та компост. З розвитком індустріалізації забруднення ґрунту, води та повітря постійно зростає, що призводить до серйозних екологічних і приносить шкоду здоров'ю. Основні джерела забруднення важкими металами включають видобуток і переробку важких металів, викиди від промислових підприємств і транспорту потрапляють у воду та ґрунт через атмосферні опади та стічні води. Важкі метали можуть потрапляти в ґрунт через зрошення, використання компосту та інших органічних відходів. Важкі метали, такі як кадмій (Cd), хром (Cr), ртуть (Hg), свинець (Pb), мідь (Cu) та арсен (As), мають високу токсичність і складно біологічно розкладаються. Вони широко поширені в атмосфері, воді та ґрунті, що робить їх одними з найбільш небезпечних забруднювачів. Ртуть (Hg), потрапляючи в організм, ртуть може завдати значної шкоди мозку, нервовій системі та зору. Кадмій (Cd), впливає на серцево-судинну систему, спричиняє високий кров'яний тиск, ураження кісток, печінки та нирок. Свинець (Pb) може руйнувати нервову систему плода, викликаючи вроджену розумову відсталість. Важкі метали можуть потрапляти в організм через вдихання, споживання їжі або через шкіру. Після потрапляння вони накопичуються в організмі, завдаючи серйозної шкоди здоров'ю. Основні прояви токсичності включають канцерогенез, деформацію і мутацію клітин.

Забруднення важкими металами є серйозною загрозою для екосистем і здоров'я людей. Ефективна боротьба з цим явищем вимагає комплексного підходу, включаючи регулювання викидів, покращення технологій очищення, постійний моніторинг та підвищення обізнаності населення. Тільки таким чином можна забезпечити збереження екологічної рівноваги та здоров'я майбутніх поколінь(Mengting, 2020, c. 5748).

Забруднення важкими металами в навколишньому середовищі є серйозною проблемою, і на сьогоднішній день зростає необхідність у надійних методах виявлення цих токсичних речовин. Згідно з дослідженням (Ding, 2021, c.7215), електрохімічне виявлення важких металів є особливо вигідним завдяки своїй високій чутливості та ефективності. Електрохімічні методи виявлення важких металів, таких як Hg(II), Cd(II), As(III), Pb(II), UO2(II), Tl(I), Cr(VI), Ag(I) та Cu(II), мають низку переваг у порівнянні з традиційними методами. Електрохімічні методи дозволяють виявляти навіть незначні концентрації важких металів у воді, ґрунті та інших зразках (Кислова, 2021, c.54, Крупко, 2022, c.96). Їх можна адаптувати для моніторингу якості води для забезпечення безпечного вирощування рослин і тваринництва. Електрохімічні методи можуть значно покращити моніторинг забруднення важкими металами в різних середовищах та сприяти зменшенню їхнього негативного впливу на здоров'я людей та довкілля(Ding, 2021, c. 7215).

Методика індуктивно зв'язаної плазмової мас-спектрометрії (ICP-MS), запропонована Bayram Yüksel та колегами (Yüksel, 2021, c. 181), є ефективним інструментом для дослідження впливу токсичних елементів на якість води та забезпечення здоров'я людини. В рамках цього дослідження були кількісно оцінені концентрації токсичних металів, таких як As, Pb, Cd, Hg, Sb, Al і Ni, у поєднанні з іншими елементами, такими як Se, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn і Co, з використанням попередньо валідованого метода ICP-MS.

ICP-MS дозволяє визначати надзвичайно низькі концентрації елементів у водних зразках, що є критично важливим для оцінки забруднення та пов'язаних ризиків для здоров'я людини. Методика дозволяє одночасно визначати широкий спектр як токсичних металів, так і інших важливих елементів, що робить її універсальною для екологічних досліджень. Валідований метод забезпечує високу точність

і надійність результатів, що є важливим для наукових і практичних застосувань. Для кількісної оцінки ризиків були обрані ключові токсичні метали, які мають значний вплив на здоров'я людини. Арсен (As) – відомий канцероген, що може викликати рак шкіри, легень, сечового міхура та нирок. Свинець (Pb) викликає нейротоксичні ефекти, особливо небезпечний для розвитку нервової системи у дітей. Кадмій (Cd) викликає ураження нирок та кісток, також є канцерогеном. Ртуть (Hg) є нейротоксин, який впливає на центральну нервову систему. Стибій (Sb) може викликати подразнення шкіри та дихальних шляхів. Нікель (Ni) викликає алергічні реакції та має канцерогенні властивості. Методика ICP-MS, запропонована Bayram Yüksel та колегами, є ефективним засобом для кількісного аналізу концентрацій важких металів у водних зразках. Регулярний моніторинг і оцінка ризиків на основі отриманих даних допоможуть забезпечити захист екологічного середовища та здоров'я людини від негативного впливу токсичних металів(Bayram Yüksel, 2021, с. 181).

Метою дослідження є вивчення елементного складу зразків проб води водойм регіону Київської області. Моніторинг важких металів є необхідною умовою та ключем до запобігання та контролю забруднення важкими металами.

Моніторинг забруднення навколишнього середовища дозволяє описати конкретний вміст забруднюючих речовин у певному місці в просторі, що є важливим для :оцінки рівня забруднення, допомагає визначити рівень забруднення водойм та потенційну загрозу для екосистеми та здоров'я людини, забезпечує основні дані для розробки та впровадження заходів з управління та зниження рівня забруднення, допомагає вжити реабілітаційних заходів на певній ділянці, що може передбачати обробку води перед її споживанням.

Результати дослідження допоможуть визначити вміст та розподіл важких металів у поверхневих водах Київської області, що є важливою передумовою для розробки та впровадження заходів з охорони, раціонального використання та ефективного відтворення водних ресурсів. Це дозволить зменшити ризики для здоров'я людини та забезпечити екологічну безпеку регіону.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводилося в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України, яка є акредитованою за стандартом ДСТУ ISO/IEC 17025. Ця акредитація підтверджує високий рівень компетентності та надійності лабораторії в проведенні різних видів аналізів, включаючи визначення кількісного вмісту елементів, в тому числі важких металів, у зразках води з водних об’єктів Київської області. Один із сучасних методів, який використовувався для якісної і кількісної оцінки вмісту хімічних елементів, включаючи важкі метали, це атомно-емісійна спектрометрія з індуктивно зв’язаною плазмою (ICP-AES). Цей метод характеризується високою чутливістю, точністю та оперативністю, що робить його ідеальним для рутинного аналізу як органічних, так і неорганічних речовин у водних зразках. ICP-AES дозволяє виявити навіть низькі концентрації важких металів у водних розчинах. Забезпечує точне визначення вмісту елементів завдяки високій роздільній здатності та мінімальній втраті аналіту. Дозволяє проводити швидкі аналізи і отримувати результати майже в реальному часі.

Використання ICP-AES у дослідженнях гарантує високу якість аналізів та надійність отриманих даних, що є важливим для подальших наукових досліджень та екологічного моніторингу водних ресурсів.

Підготовку проб для визначення елементного складу води проводили згідно з ДСТУ ISO 11885:2005 Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектрометрії з індуктивнозв'язаною плазмою (ISO 11885:1996, IDT).

Вимірювання елементного складу досліджуваних проб зразків води проводили на атомно-емісійному спектрофотометрі з індуктивно-зв’язаною плазмою. Цей прилад є сучасним і дозволяє проводити точне визначення концентрацій різних хімічних елементів у водних зразках. Межа детектування більшості елементів складає 0,01 мг/дм^3. Цей метод здатний виявляти навіть дуже низькі концентрації елементів у водних пробах. В якості стандарту використовували багатоелементний стандартний розчин IV від Mercs KGaA, Німеччина. Використання стандартних розчинів дозволяє забезпечити точність і відтворюваність результатів аналізів. Атомно-емісійна спектрофотометрія з індуктивно-зв’язаною плазмою відома своєю високою точністю і відтворюваністю

результатів. Це є важливим аспектом для наукових досліджень і екологічного моніторингу, де необхідно мати надійні дані про концентрації хімічних елементів у воді.

Результати та їх обговорення. Київська область, знаходячись на межі Полісся та Лісостепу, має важливе сільськогосподарське значення в Україні, що обумовлює значення лабораторного контролю водних ресурсів в цьому регіоні. Антропогенне навантаження на навколишнє середовище, зокрема на водні ресурси, значно підвищує концентрацію важких металів у поверхневих і підземних водах. Це явище має серйозні екологічні наслідки через те, що важкі метали не розкладаються природним шляхом і можуть залишатися у середовищі тривалий час. Важкі метали можуть існувати у водних екосистемах у різних формах, включаючи розчинені іони, колоїдні частинки та сполуки, зв'язані з органічними і неорганічними матрицями. Їх постійна присутність, навіть у низьких концентраціях, може становити загрозу для здоров'я людей і тварин, оскільки багато з них мають токсичні властивості.

Забруднення важкими металами може мати різні джерела, включаючи промислові викиди, сільськогосподарські стоки, недбале поводження з відходами та природні процеси. Для зниження рівня забруднення вод важкими металами необхідні комплексні підходи, які включають систематичний моніторинг концентрацій металів, регулювання викидів забруднюючих речовин, впровадження ефективних технологій очищення води та реставрацію забруднених водних об'єктів.

Вивчення концентрацій важких металів у водних об'єктах Київської області є важливим для збереження екологічної стабільності та здоров'я громадян, а також для забезпечення раціонального використання водних ресурсів в регіоні.

За результатами елементного аналізу води (таблиця 1), який був проведений на досліджуваних водних об'єктах Київської області, були зроблені наступні висновки щодо вмісту важких металів. Концентрація кобальту, кадмію, свинцю, нікелю, хрому, міді і арсену знаходиться в межах норми або виявляється

Таблиця 1

Елементний аналіз зразків проб води Київської області регіону А

Найменування показників	Результати випробувань	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм^3
Масова частка кальцію, Ca, мг/дм^3	35,82	±6,69	0,01
Масова частка натрію, Na, мг/дм^3	24,42	±4,83	0,01
Масова частка магнію, Mg, мг/дм^3	13,55	±2,93	0,01
Масова частка заліза, Fe, мг/дм^3	0,06	±0,03	0,01
Масова частка калію, K, мг/дм^3	6,77	±1,62	0,01
Масова частка стронцію, Sr, мг/дм^3	0,23	±0,09	0,01
Масова частка бору, B, мг/дм^3	0,05	±0,03	0,01
Масова частка барію, Ba, мг/дм^3	0,03	±0,02	0,01
Масова частка літію, Li, мг/дм^3	0,02	±0,01	0,01
Масова частка марганцю, Mn, мг/дм^3	0,011	±0,007	0,01
Масова частка алюмінію, Al, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка цинку, Zn, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка хрому, Cr, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка свинцю, Pb, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка міді, Cu, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка нікелю, Ni, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка кобальту, Co, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка срібла, Ag, мг/дм^3	<0,01	-	0,001
Масова частка вісмуту, Bi, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка молібдену, Mo, мг/дм^3	<0,01	-	0,01
Масова частка кадмію, Cd, мг/дм^3	<0,001	-	0,001
Масова частка миш'яку, As, мг/дм^3	<0,001	-	0,001
Масова частка селену, Se, мг/дм^3	<0,001		0,001
Масова частка ртуті, Hg, мг/дм^3	<0,0005		0,0005

в незначних кількостях. Це свідчить про те, що ці метали присутні в воді на безпечному рівні. Моніторинг показав, що досліджувані проби води бідні на мікроелементи, такі як Купрум, Цинк і Манган. Концентрації цих елементів є досить невисокими, згідно з таблицею 1: концентрація Купруму коливається в межах 0,01 мг/дм³, концентрація Цинку становить 0,01 мг/дм³, концентрація Мангану складає 0,011 мг/дм³. Вміст Молібдену, Кадмію, Свинцю, Арсену і Вісмуту у воді також менше 0,01 мг/дм³, що також є позитивним показником якості води. Концентрація Ртуті виявлена менше 0,005 мг/дм³, що також відповідає нормативам і не є проблемою для якості водних ресурсів.

На основі порівняльного аналізу елементного складу зразків води (таблиця 2) можна зробити наступні висновки щодо вмісту важких металів: концентрація кобальту, кадмію, свинцю, нікелю, хрому і міді виявляється незначною. Це свідчить про те, що рівень цих металів у воді є допустимим і не виходить за межі нормативних значень. Згідно з моніторингом досліджувані проби води містять невелику кількість мікроелементів. Концентрації Купруму, Цинку і Мангану є достатньо малими і коливаються в межах не більше 0,011 мг/дм³, згідно з таблицею 2. Вміст Молібдену, Кадмію, Свинцю, Арсену, Вісмуту та Ртуті також знаходиться в межах норми. Це означає, що концентрації цих важких металів не є проблематичними для якості водних ресурсів і не перевищують встановлені нормативні значення. Отже, результати порівняльного аналізу підтверджують, що стан водних об'єктів, щодо вмісту важких металів, є прийнятним і не вимагає негайних заходів щодо зниження концентрацій. Продовження регулярного моніторингу є важливим для підтримки сталої екологічної ситуації в досліджуваній місцевості.

Важкі метали мають властивості, які значно впливають на їх поведінку у біологічних системах та навколишньому середовищі. Низька біофільність означає, що ці метали мають обмежену здатність брати участь у біологічних процесах і метаболізмі живих організмів. Значення біофільності для деяких важких металів є наступними: Cu^{2+} (Купрум) – 0,068, Zn^{2+} (Цинк) – 0,24, Pb^{2+} (Свинець) – 0,0625, Cd^{2+} (Кадмій) – 0,154.

Таблиця 2

Елементний аналіз зразків проб води Київської області регіону Б

Найменування показників	Результати випробувань	Розширена невизначеність	Межа детектування, мг/дм³
Масова частка кальцію, Ca, мг/дм³	27,22	±6,27	0,01
Масова частка натрію, Na, мг/дм³	17,21	±4,06	0,01
Масова частка магнію, Mg, мг/дм³	13,11	±2,71	0,01
Масова частка заліза, Fe, мг/дм³	0,08	±0,03	0,01
Масова частка калію, K, мг/дм³	5,54	±1,28	0,01
Масова частка стронцію, Sr, мг/дм³	0,17	±0,06	0,01
Масова частка бору, B, мг/дм³	0,05	±0,04	0,01
Масова частка барію, Ba, мг/дм³	0,05	±0,02	0,01
Масова частка літію, Li, мг/дм³	0,03	±0,01	0,01
Масова частка марганцю, Mn, мг/дм³	0,015	±0,005	0,01
Масова частка алюмінію, Al, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка цинку, Zn, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка хрому, Cr, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка свинцю, Pb, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка міді, Cu, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка нікелю, Ni, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка кобальту, Co, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка срібла, Ag, мг/дм³	<0,01	-	0,001
Масова частка вісмуту, Bi, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка молібдену, Mo, мг/дм³	<0,01	-	0,01
Масова частка кадмію, Cd, мг/дм³	<0,001	-	0,001
Масова частка миш'яку, As, мг/дм³	<0,001	-	0,001
Масова частка селену, Se, мг/дм³	<0,001		0,001
Масова частка ртуті, Hg, мг/дм³	<0,0005		0,0005

Через низьку біофільність і тривалий період виведення важкі метали накопичуються в організмі і можуть залишатися там протягом довгого часу. Наприклад, час напіввиведення кадмію (Cd^{2+}) з організму людини може тривати від 10 до 30 років. У природних умовах ці періоди ще довші: для кадмію – 155 років, для цинку (Zn) – до 500 років, а для свинцю (Pb) – до декількох тисяч років (Г.Д. Крупко, 2022, с.93).

Це довготривале перебування важких металів у середовищі пояснює, чому вони можуть бути виявлені на територіях, де наразі відсутній активний антропогенний вплив. Незважаючи на те, що ці метали можуть з'явитися в результаті минулої діяльності, їх наявність залишається помітною через їхню стійкість до природних процесів розкладу та виведення. Така стійкість робить важкі метали значним екологічним ризиком, оскільки вони можуть накопичуватись в екосистемах і організмах, створюючи довготривалі проблеми для здоров'я та навколишнього середовища.

Зазначені результати аналізу водних об'єктів Київської області, які свідчать про незначний вміст важких металів, є позитивними з точки зору екологічної ситуації в регіоні. Оцінка, що стан водних ресурсів є задовільним і не потребує негайних заходів з мінімізації забруднення, є важливим кроком для збереження природного середовища та забезпечення здоров'я мешканців регіону.

Проте, важливо продовжувати моніторинг концентрації важких металів у водних об'єктах. Це дозволяє вчасно виявляти будь-які зміни у рівнях забруднення і вживати необхідні заходи на захист водних ресурсів. Постійний моніторинг є ключовим елементом для підтримання сталої екологічної ситуації і вчасного реагування на будь-які потенційні загрози довкіллю. Таким чином, продовження систематичного моніторингу важких металів у водних об'єктах Київської області є необхідним для забезпечення сталої екологічної ситуації і збереження здоров'я екосистеми та людей.

Висновки і перспективи. Дані про елементний склад водних об'єктів надають можливість не лише оцінювати ризики забруднення сільськогосподарської продукції, але й прогнозувати ймовірність безпечного вирощування екологічно чистої продукції в цих умовах. Важливим етапом є моніторинг міграції важких металів і інших хімічних елементів у сільськогосподарській продукції. Забруднення важкими металами може мати джерела походження як промислові викиди, так і сільськогосподарські стоки, неправильне управління відходами, а також природні процеси. Для зниження рівня забруднення вод важкими металами необхідно використовувати комплексні підходи, які включають моніторинг, регулювання викидів забруднюючих речовин, впровадження ефективних технологій очищення води та відновлення забруднених водних об'єктів. Ці заходи не лише сприяють зниженню забруднення води важкими металами, але й сприяють збереженню екосистеми водних ресурсів, що є критично важливим для забезпечення сталого розвитку і охорони здоров'я населення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Василенко Л., Березницька Ю., Кравченко М., Шевченко О., Цьома Т. Забруднення поверхневих вод фосфатами та важкими металами. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. Вип.38. 2022. С.4–17.
2. Мусінкевич І. Вплив важких металів на навколишнє середовище та організм людини. Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ. Вінниця, 2020. С.14.
3. Сталінська І. В., Дмитренко Т. В. Рекомендацій щодо зменшення екологічного ризику накопичувачів промислових стічних вод і шламів на екологічний стан поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях. *Екологічні науки*. 2023. № 4(49). С. 82–90.
4. Vinod Kumar, Anket Sharma, Rakesh Kumar, Renu Bhardwaj, Ashwani Kumar. Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices Thukral & Jesús Rodrigo-Comino. *Human and ecological risk assessment*. 2020. Vol. 26(1). P.146–161.
5. Jingxi Ma, Shuqing Wu, N.V. Ravi Shekhar, Supriya Biswas, and Anoop Kumar Sahu. Determination of Physicochemical Parameters and Levels of Heavy Metals in Food Waste Water with Environmental Effects. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. Vol. 2020. P. 9.
6. Mengting Jin, Hao Yuan, Bo Liu, Jiajia Peng, Liping Xu and Dezheng Yang. Review of the distribution and detection methods of heavy metals in the environment. *The Royal Society of Chemistry. Anal. Methods*. 2020. Vol.12. P. 5747–5766.

7. Ding Qi, Chen Li, Haijun Wang, Chuanlai Xu and Hua Kuang. Electrochemical detection of heavy metal ions in water. *The Royal Society of Chemistry. Chem. Commun*. 2021. Vol. 57. P.7215–7231.

8. Крупко Г. Д., Суходольська І. Л., Лико Д.пВ., Басараба І. В. Оцінка вмісту важких металів у підземних водах сільської місцевості Рівненщини. *Агроекологічний журнал*. 2022. № 4. С.96–104.

9. Кислова А. В. Порівняльна характеристика ефективності електрохімічних методів дослідження вмісту важких металів у стічних водах. *Вісник КНУТД*. 2021. №1(154). С.54–59.

10. Bayram Yüksel, Fikret Ustaoğlu, Enes Arica. Impacts of a Garbage Disposal Facility on the Water Quality of Çavuşlu Stream in Giresun, Turkey: A Health Risk Assessment Study by a Validated ICP-MS. Assay Aquat Sci Eng. 2021. V.36(4). P. 181–192.

REFERENCES:

1. Vasylenko, L., Bereznytska, Yu., Kravchenko, M., Shevchenko, O., Tsyoma, T. (2020). Zabrudnennya poverhnevih vod fosfatami ta vazhkimi metalami. [Pollution of surface waters by phosphates and heavy metals]. *Problemi vodopostachannya, vodovidvedennya ta gidravliki*. Issue 38, 4–17 [in Ukrainian].

2. Musinkevich, I., (2020). Vpliv vazhkih metaliv na navkolishnye seredovishe ta organizm lyudini [The influence of heavy metals on the environment and the human body]. Materiali XLIX naukovo-tehnichnoyi konferenciyi pidrozdiliv. 14 [in Ukrainian].

3. Stalinska, I.V., Dmitrenko, T.V. (2023). Rekomendacij shodo zmenshennya ekologichnogo riziku nakopichuvachiv promislovih stichnih vod i shlamiv na ekologichnij stan poverhnevih vodnih ob'yektiv na urbanizovanih teritoriyah [Recommendations on reducing the environmental risk of industrial waste water and sludge reservoirs on the ecological state of surface water bodies in urbanized areas] *Ekologichni nauki*. № 4(49). 82–90 [in Ukrainian].

4. Vinod Kumar, Anket Sharma, Rakesh Kumar, Renu Bhardwaj, Ashwani Kumar. (2020).Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices Thukral & Jesús Rodrigo-Comino. *Human and ecological risk assessment*. Vol. 26(1). P.146–161.

5. Jingxi, Ma, Shuqing, Wu, N.V. Ravi, Shekhar, Supriya, Biswas, and Anoop, Kumar Sahu (2020). Determination of Physicochemical Parameters and Levels of Heavy Metals in Food Waste Water with Environmental Effects. *Bioinorganic Chemistry and Applications*. Vol. P.9.

6. Mengting, Jin, Hao, Yuan, Bo, Liu, Jiajia, Peng, Liping, Xu and Dezheng, Yang. (2020). Review of the distribution and detection methods of heavy metals in the environment. *The Royal Society of Chemistry. Anal. Methods*. Vol. 12. P. 5747–5766.

7. Ding, Qi, Chen, Li, Haijun, Wang, Chuanlai, Xu and Hua, Kuang. (2021). Electrochemical detection of heavy metal ions in water. *The Royal Society of Chemistry. Chem. Commun*. Vol. 57. P. 7215–7231.

8. Krupko, G.D., Suhodolska, I.L., Liko, D.V., Basaraba, I.V. (2022). Ocinka vmistu vazhkih metaliv u pidzemnih vodah silskoyi miscevosti Rivnenshini [Assessment of the content of heavy metals in groundwater in the rural areas of the Rivne region]. *Agroekologichnij zhurnal*. No. 4., 96–104 [in Ukrainian].

9. Kislova, A. (2021). Porivnyalna harakteristika efektivnosti elektrohimichnih metodiv doslidzhennya vmistu vazhkih metaliv u stichnih vodah [Comparative characteristics of the effectiveness of electrochemical methods of researching the content of heavy metals in wastewater]. *Visnik KNUTD*. No. 1(154), 54–59 [in Ukrainian].

10. Bayram Yüksel, Fikret Ustaoğlu, Enes Arica (2021). Impacts of a Garbage Disposal Facility on the Water Quality of Çavuşlu Stream in Giresun, Turkey: A Health Risk Assessment Study by a Validated ICP-MS. Assay Aquat Sci EngV.36(4). P.181–192.

ЕКОЛОГІЯ

УДК 614.777-047.44(477.82-25)
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-4

Ірина НЕТРОБЧУК
кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної географії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-8633-7426*

Олександр ВОВК
кандидат геологічних наук, доцент кафедри фізичної географії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-1509-0905*

Марія БОЯРИН
кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0001-9822-5897*

Бібліографічний опис статті: Нетробчук, І., Вовк, О., Боярин, М. (2024). Аналіз гігієнічної оцінки якості питної води у місті Луцьк. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 26–35, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-4

АНАЛІЗ ГІГІЄНІЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ У МІСТІ ЛУЦЬК

Питання щодо забезпечення населення якісною питною водою залишається актуальним сьогодні для більшості міст України, в т.ч. Луцька. Водопостачання м. Луцьк здійснюється із підземних джерел 3-х водозаборів: Дубнівського, Гнідавського та Омелянівського Основним джерелом водопостачання міста Луцька є Дубнівська насосна станція водопідготовки КП «Луцькводоканал», що забезпечує очищення, зберігання і подачу води для населення міста. Якість питної води централізованих систем водопостачання залежить від якості вихідної води, ефективності технологій її підготовки, методів кондиціювання артезіанської води, а також стану водопровідних мереж і регулярності їх експлуатації.

Проаналізовано показники якості питної води, взятої з різних місць відбору центральної частини міста та перевірено їх на відповідність вимогам санітарних норм України. Для цього використано органолептичні та лабораторні методи дослідження.

Виявлено, що питна вода, яка надходить з Дубнівського водогону до населення міста розгалуженою водопровідною мережею, залишається практично незмінною і рекомендована до споживання. Найнижчі фізико-хімічні показники були зафіксовані у пробі води відібраної з автомата Ecosoft, яка вважається, занадто маломінералізованою. Споживання такої води може призвести до порушення фізіологічних функцій організму людини. Показано, що використання фільтрів або відстоювання води зменшують уміст кальцію та загальну твердість води. Визначено, що проба води з кулера мала найнижчі значення твердості води, мінералізації та вмісту магнію, а кальцій в ній був відсутній зовсім.

Розглянуто вплив споживання питної води з різним умістом хімічних елементів на здоров'я населення та запропоновано рекомендації щодо споживання корисної питної води.

Ключові слова: *питна вода, бутильована вода, водопровідні мережі, органолептичні та фізико-хімічні показники, гігієнічні вимоги.*

Iryna NETROBCHUK
PhD of Geography, Docent, Associate Professor of the Department of Physical Geography, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-8633-7426*

Oleksandr VOVK
PhD of Geology, Docent, Associate Professor of the Department of Physical Geography, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-1509-0905*

Mariia BOIARYN
PhD of Geography, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0001-9822-5897*

To cite this article: Netrobchuk, I., Vovk, A., Boiaryn, M. (2024). Analiz hihiienichnoi otsinky yakosti pytnoi vody u misti Lutsk [Hygienic quality assessment of drinking water in the city of Lutsk: an analysis]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 26–35, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-4

HYGIENIC QUALITY ASSESSMENT OF DRINKING WATER IN THE CITY OF LUTSK: AN ANALYSIS

The issue of ensuring the population with high-quality drinking water remains a contemporary challenge for many cities in Ukraine, including Lutsk. The city's water supply is derived from three underground sources: Dubnivskyi, Hnidavskyi, and Omelyanivskyi. The primary water supply source for Lutsk is the Dubnivskyi water treatment pumping station operated by the Municipal Enterprise "Lutskvodokanal," responsible for the purification, storage, and distribution of water to the city's residents. The quality of drinking water in centralized water supply systems is contingent upon various factors, including the quality of source water, the effectiveness of water treatment technologies, artesian water conditioning methods, and the overall condition and regular maintenance of water supply networks.

To assess the quality of drinking water, samples were collected from various points in the central part of the city and subjected to rigorous analysis to ensure compliance with the sanitary standards of Ukraine. Organoleptic and laboratory research methods were employed for this purpose.

It was found that the drinking water, which comes from the Dubnivskyi water treatment station and reaches the city's population through an extensive water supply network, remains practically unchanged and is recommended for consumption. The lowest physicochemical parameters were recorded in the sample of water taken from the Ecosoft machine, which is considered to be too low in mineralization. Consumption of such water can lead to a violation of the physiological functions of the human body. The use of filters or settling water has been shown to reduce the calcium content and overall hardness of the water. It was determined that the water sample from the cooler had the lowest values of water hardness, mineralization and magnesium content, and calcium was completely absent.

The influence of consumption of potable water with different contents of chemical elements on the health of the population is considered, and recommendations for the consumption of healthy drinking water are proposed.

Key words: *potable water, bottled water, water supply networks, organoleptic and the physicochemical indicators, hygienic requirements.*

Актуальність проблеми. Сьогодні для більшості міст України актуальним залишається питання щодо забезпечення населення якісною питною водою. Майже 40 % населення України споживає воду, якість якої не відповідає нормативним вимогам законодавства (Коваль В. В., 2018). Про це також засвідчують результати різноманітних рейтингів, так за підрахунками Центру з контролю і профілактики захворювань Міністерства охорони здоров'я США, наша країна входить до списку країн з найбільш небезпечною і несмачною водопровідною водою (Яловий К., 2021).

Основними джерелами питного водопостачання України є поверхневі води, на які припадає майже 80 % і підземні джерела − 20 %. Отримання населенням якісної питної води ускладнюється через погіршення екологічного стану водойм, який зумовлений забрудненням їх промисловістю та сільськогосподарською

діяльністю, а також застарілим водоочисним обладнанням і водопровідними мережами. До того ж якість підземних вод в окремих регіонах за рахунок природних чинників або антропогенного впливу також не завжди відповідає нормативним вимогам санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПін 2.24-171-10), зокрема за такими показниками як сухий залишок, загальна жорсткість, уміст заліза, марганцю, хлориди, рідше − за сполуками фтору та групи азоту (Національна доповідь про якість питної води, 2022).

Нагальна потреба в невідкладному розробленні чіткої державної політики у галузі управління водними ресурсами зумовила прийняття у 2022 р. Водної стратегії України на період до 2050 р. і Загальнодержавної програми «Питна вода України» на 2022-2026 рр.

Водопостачання м. Луцьк здійснюється із підземних джерел 3-х водозаборів: Дубнівського, Гнідавського та Омелянівського. Основним цільовим водоносним горизонтом є горизонт у мергельно-крейдяних відкладах верхньокрейдяного віку, що характеризуються високими фільтраційними параметрами. Загальна кількість артезіанських свердловин − 47 шт. Глибина їх коливається від 80 до 170 м. Якість підземних вод задовільна, проте в них дещо підвищений вміст заліза і замало йоду, тому серед заходів з водопідготовки необхідно додаткові витрати на йодування і знезалізнення. Підземні води відносно добре захищені від зовнішніх факторів, а тому зазвичай характеризуються стабільним хімічним складом (Стратегія використання ресурсів питних підземних вод для водопостачання, 2011).

Однак варто відзначити, що стан водопровідних мереж у Луцьку, частина з яких, збудована у 1960-1980-х роках, мають вкрай незадовільний стан, гірший за мережі, які були виготовлені значно раніше. Тому більшість лучан вважають, що вода, яка подається населенню м. Луцька з водозаборів старими водопроводами, не відповідає вимогам якості питної води і надають перевагу бутильованій воді, безпеку якої гарантує виробник. Вживання недоброякісної питної води (2–2,5 л на добу однією людиною) суттєво погіршує здоров'я, зумовлюючи виникнення специфічних хвороб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у дослідження медико-екологічних та санітарно-гігієнічних аспектів питної води України зроблений у (Прокопова В. О., 2014; 2016). Шляхи забезпечення населення України якісною питною водою проаналізовано у (Загороднюк К. Ю., Омельчук С. Т. & Новіков М. Г., 2012). Гігієнічній оцінці новітніх вітчизняних систем доочищення питної води, мікробіологічному складу доочищеної питної води присвячений ряд робіт (Стрикаленко Т. В., 2013; Прокопов В. О., 2014; Шевченко О. А., 2015; Липовецька О. Б., 2016). Гігієнічні аспекти доочищеної питної води, яка споживається населенням індустріального міста досліджували (Коваль В. В., Рублевська Н. І., Ткаля В. Ф., Рибачук Г. А., Рублевський В. Д., 2014). Аналіз оцінки якості водопровідних питних вод, що виготовляються з води річки Дніпро висвітлений у (Зоріна О. В. & Протас С. В., 2018). Проблеми якості джерел питного водопостачання населення міст Західного регіону України подані у (Петренко Н. Ф., Мокієнко А. В. & Платов С. М., 2019). Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення представлено у (Андрусишиної І. М., 2015). Питання якості питної води в системах централізованого водопостачання міста Луцька розглянуто у (Рудь В.Д. & Гулієва Н.М., 2010). З огляду на зроблений висновок авторами випливає, що питна вода м. Луцька у 2010 р. вважалась не придатною для споживання через застаріле водопровідне устаткування та циклічну подачу води.

Тому на сьогодні ще досі актуальною проблемою в місті залишається питання належного водопостачання та водовідведення. Тож виникла необхідність у перевірці показників якості питної води на відповідність нормам з метою дотримання одного з основних принципів у сфері питного водопостачання та водовідведення − гарантоване першочергове забезпечення питною водою населення для задоволення питних, фізіологічних, санітарно-гігієнічних та побутових потреб.

Мета дослідження – проаналізувати показники якості питної води, взятої з різних місць відбору, перевірити їх на відповідність вимогам санітарних норм та державного стандарту України, розглянути їх вплив на здоров'я населення та розробити загальні рекомендації щодо її споживання.

Матеріали та методи дослідження. Оцінку якості джерел питного водопостачання

здійснюють згідно вимог стандарту Державні санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Гігієнічні вимоги до питної води включають: епідеміологічну та радіаційну безпеки, сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад. Для цього використовувались органолептичні та лабораторні методи дослідження.

Хіміко-бактеріологічне дослідження проб питної води проводились в лабораторії КП «Луцькводоканал» і спеціалізованому Водному центрі «Аналіз води». Визначення органолептичних показників (запах, смак та присмак, колір, прозорість) та окремих фізико-хімічних показників (pH, загальна твердість, кальцій, магній) здійснювалося в лабораторії моніторингу стану довкілля кафедри екології та охорони навколишнього середовища та навчально-науковій лабораторії фізичної хімії факультету хімії та екології Волинського національного університету імені Лесі Українки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, якість питної води централізованих систем водопостачання залежить від якості вихідної води, ефективності технологій її підготовки, методів кондиціювання артезіанської води, а також стану водопровідних мереж і регулярності їх експлуатації.

Основним джерелом водопостачання міста Луцька є Дубнівська насосна станція водопідготовки КП «Луцькводоканал», що забезпечує очищення, зберігання і подачу води для майже 150 тисяч людей у Луцькій громаді. Питна вода добувається з артезіанських свердловин, поступає на майданчик водопідготовки, звідки надходить до станції знезалізнення і знезараження води солерозчинником, а далі чиста вода питної якості подається розгалуженою водопровідною мережею лучанам (Технічна інформація КП «Луцькводоканал»).

Для перевірки якості питної води, яку споживають лучани з водопровідної мережі та у більшості випадків купляють фасовану та воду з пунктів розливу, на відповідність вимогам стандарту ДСанПіН 2.2.4-171-10 були відібрані зразки води з різних місць відбору, зокрема в центральній частині міста: проба №1 – з під-крану в гуртожитку № 2 по вул. Винниченка, 22, що знаходиться на відстані приблизно 1,0 км від станції водопідготовки; проба № 2 – з автомату Ecosoft розливу води; проба № 3 − з водогону Дубнівської насосної станції № 3, яка проходить щоденний лабораторний контроль якості питної води перед подачею у місто. Аналіз якості води відібраних зразків проводився в лабораторії «Питна вода» КП «Луцькводоканал». Результати аналізів хіміко-бактеріологічного дослідження зразків питної води наведені в табл. 1.

Результати дослідження питної води усіх трьох проб показали, що органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники не перевищували вимог стандарту ДСанПіН 2.24-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (Про затвердження Державних санітарних норм та правил…, 2010). Тому питна вода, яка надходить з Дубнівського водогону до населення міста розгалуженою водопровідною мережею, залишається практично незмінною (без значних відхилень від допустимих норм питної води) і рекомендована до споживання.

Як видно з табл. 1, значення показників забарвленості, каламутності, перманганатної окиснюваності, нітритів, нітратів, заліза загального, водневого показника у пробі №1 (гуртожиток №2, на відстані 1 км від станції водопідготовки) є дещо меншими порівняно з пробою № 3 (Дубнівський водогін). Натомість значення показників амонійні солі, сульфати, хлориди, сухий залишок є вищими у пробі №1 ніж у пробі № 3.

Окрім того, варто зауважити, що значення усіх показників проби № 2 (з автомата розливу води) є занадто низькими порівняно з пробами №1, №3. Це засвідчує про те, що в автоматах Ecosoft встановлені фільтри для очищення води, які можуть успішно видаляти забруднювальні речовини, таким чином забезпечуючи якість води відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Однак у пробі №2 за показником загальної твердості (0,71 ммоль/дм³) таку воду відносять до дуже м’якої, яка має добрі смакові якості. Але споживання надмірно м’якої води небезпечне для здоров’я людини, тому що вона вимиває з кісткової тканини не тільки солі, мінеральні речовини, а й корисні органічні речовини, в тому числі й бактерії. До того ж варто також відмітити про низький уміст сухого залишку, що становив 49,4 мг/дм³ проти

Таблиця 1

Результати аналізу дослідження питної води з різних місць відбору

№ з/п	Найменування показників, одиниці вимірювання	Проба № 1	Проба № 2	Водогін Дубнівської н/ст № 3	Вимоги стандарту ДСанПіН 2.2.4-171-10
Органолептичні та фізико-хімічні показники					
1.	Запах при 20ºС і при 60ºС, бали	–	–	0	не більше 2
2.	Смак та присмак при 20ºС, бали	–	–	0	не більше 2
3.	Забарвленість, градуси	5	5	10	не більше 20
4.	Каламутність, мг/дм³	0,69	0,35	0,94	не більше 1,51
5.	Перманганатна окиснюваність, мг O_2 /дм³	1,5	0,5	1,7	не більше 5,0
6.	Аміак і амонійні солі, мг/дм³	0,11	<0,05	0,06	не більше 0,5
7.	Нітрити, мг/дм³	0,043	0,005	0,005	не більше 0,5
8.	Нітрати, мг/дм³	7,15	3,77	9,13	не більше 50
9.	Сульфати, мг/дм³	37,0	<2,0	32,9	не більше 250
10.	Хлориди, мг/дм³	27	6	26	не більше 250
11.	Залізо загальне, мг/дм³	0,13	0,018	0,19	не більше 0,2
12.	Загальна жорсткість, ммоль/дм³	6,9	0,71	6,9	не більше 7,0
13.	Водневий показник, одиниці pH	7,09	6,32	7,18	6,5-8,5
14.	Сухий залишок, мг/дм³	479,0	49,4	437,0	не більше 1000
Мікробіологічні показники					
1.	Загальне мікробіологічне число, КУО/см³	3	2	3	не більше 100
2.	Загальні колі-форми, КУО100/см³	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
3.	Ентерококи, КУО100/см³	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено

Джерело: складено за матеріалами протоколу хіміко-бактеріологічного дослідження питної води в лабораторії КП «Луцькводоканал»

437 мг/дм³ у пробі №3 (див. табл.1). Цей показник визначає загальну кількість розчинених у воді мінеральних неорганічних солей кальцію, магнію, калію, натрію, які значною мірою також є необхідними для організму людини. Отже, споживання маломінералізованої води може призвести до порушення фізіологічних функцій організму людини – серцево-судинної, ендокринної, репродуктивної та нервової систем, водно-сольової рівноваги та інший функцій.

Крім того, також були проведені дослідження в спеціалізованому Водному центрі «Аналіз води» щодо порівняльної оцінки показників якості водопровідної води набраної з під-крану без фільтру по вул. Коперника, 36 (проба № 4) та водопроводу після фільтру по вул. Огієнка, 20 (проба № 5).

Як можна бачити у табл. 2, значення 8 показників якості води у пробі № 5 після фільтру є дещо нижчими порівняно з пробою № 4 без фільтру. Це показує, що найефективніший метод очищення питної води в побуті є використання фільтра, який покращує органолептичні та фізико-хімічні показники води. Так, наприклад, було зафіксовано зменшення умісту кальцію та загальної жорсткості у пробі після фільтру. Оскільки в нашому регіоні підземні води мають тверду воду із значною концентрацією кальцію, що є причиною появи осаду (накипу) на стінках котлів, у трубах, чайнику тощо, то застосування простих побутових фільтрів допоможе зменшити їх у воді. Також варто відзначити, що постійне вживання води з підвищеною жорсткістю призводить до зниження моторики шлунка, до накопичення солей в організмі, та, як підсумок, до захворювання суглобів (артрити, поліартрити) і утворення каменів в нирках і жовчних шляхах (Андрусишина І. М., 2015). Загалом за перевіреними показниками обидва зразки води відповідають нормам ДСТУ.

Ще одним із побутових методів очищення питної води, окрім фільтрів, є її відстоювання. Для аналізу якості питної води, в т.ч. і відстояної були використані органолептичні методи. Хоча вони не забезпечують високу точність, але надають орієнтовну інформацію про склад і якість питної води. Для цього було взято ще чотири зразки питної води: проба № 1 − куплена природна питна вода «Bonaqua»; проба № 2 − з-під

Таблиця 2

Результати аналізу водопровідної води без фільтру та після фільтру

№ з/п	Найменування показників, одиниці виміру	Проба № 4 без фільтру	Проба № 5 після фільтру	Нормативне значення	Методика виконання досліджень
1.	Запах при 20ºС, бали	2	0	≤2	ГОСТ 335-74 ДСТУ EN 1420-1:2004
2.	Присмак при 20º С, бали	2	0	≤2	ДСанПіН 2.2.4-171-10
3.	Забарвленість, при 20ºС бали	16	14	≤20	ГОСТ 3351-74 ДСТУ ISO 7887-2003
4.	Каламутність, мг/дм³	0,58	0,44	≤0,58 (1,5)	ГОСТ 3351-74 ДСТУ EN 1420-1:2004
5.	Нітрати, мг/дм³	1	1	≤50	ДСТУ 4078-2001
6.	Загальна жорсткість, ммоль/дм³	6,4	5,44	≤7,0	ДСТУ ISO 6059:2003
7.	Залізо загальне, мг/дм³	0,016	0,016	≤0,2	ДСТУ ISO: 6332:2003
8.	Сухий залишок, мг/дм³	332	314	≤1000	ГОСТ 18164-72
9.	Кальцій, мг/дм³	80	74	≤75	ДСТУ ISO 6058:2003
10.	Магній, мг/дм³	25,2	21	≤50	ДСТУ ISO 6059:2003

Джерело: складено за матеріалами протоколу аналізу води спеціалізованого Водного центру «Аналіз води» у м. Луцьк

крану лабораторного корпусу С університету; проба № 3 − кулера, який розміщений на географічному факультеті; проба № 4 − відстояна з-під крану гуртожитку № 2. Визначення органолептичних показників як прозорість, смак, колір, запах води було здійснено в лабораторії моніторингу стану довкілля кафедри екології та охорони навколишнього середовища факультету хімії та екології ВНУ імені Лесі Українки. Також у зразках води було визначено рівень водневого показника за допомогою pH-метра та лакмусового папірця. Результати аналізу органолептичних показників різних зразків питної води подано у табл. 3.

Усі проби води мали температуру вище 18˚С, що на 3ºС була вищою від оптимальної та прозорий колір. Оптимальною для фізіологічних потреб людини температурою питної води є 8-15ºС. Така температура надає воді приємну освіжаючу дію, краще втамовує спрагу, швидше всмоктується, стимулює секреторну і моторну діяльність шлунково-кишкового тракту.

За смаком і запахом вони відрізнялись. Так, вода з кулера не мала ні смаку, ні запаху порівняно з іншими. Питна вода «Bonaqua» мала запах пластикової тари і з присмаком солей. У воді з-під крану університету відчувався металевий присмак і запах. А проба води, що була відстояна з-під крану гуртожитку №2 мала також насичений металевий запах і була гіркуватою на присмак, що засвідчує про твердість води та уміст заліза в ній.

Відповідно до санітарних правил і норм значення pH питної води не повинно перевищувати 6,5–8,5. Визначений рівень pH за допомогою лакмусового папірця показав, що найнижчі значення pH − 5,5-6 були зафіксовані у воді з-під крану університету та у воді з кулера, що не відповідає вимогам стандарту. Найвищі значення − 6,5 спостерігали у пробах купленої та відстояної води гуртожитку №2. За рівнем pH, визначеного більш точним приладом pH-метром, вода у всіх зразках була в межах норми. Найвищі значення pH − 7,6 і 7,13 були у купленій воді та пробі з-під крану університету, а найнижчі – 6,75 і 6,85 у відстояній воді з гуртожитку та кулера. Отже, за результатами дослідження на органолептичні показники можна стверджувати, що усі проби води рекомендовані до споживання.

Крім того, у вище зазначених пробах води було визначено загальну твердість води, уміст кальцію та магнію у навчально-науковій лабораторії фізичної хімії факультету хімії та екології ВНУ імені Лесі Українки. За результатами дослідження (табл. 4), встановлено, що проба води з кулера мала твердість 0,7 ммоль/л – дуже м'яка вода. Уміст магнію сягав 0,7, а кальцій загалом був відсутній. Твердість у пробі води, яка була відстояна з-під крану гуртожитку № 2 становила 9,5 ммоль/л − тверда вода, але це вище норми, вміст кальцію − 5,1, а магнію − 4,4. Вода з-під крану університету виявилась м'якою із твердістю 2,67 ммоль/л, уміст кальцію та магнію становив 1,54 та 1,13 відповідно. Куплена вода з показником 6,8 ммоль/л відповідала твердій, а вміст кальцію та магнію був 0,8 та 6,0 відповідно.

Як зазначається в літературному огляді Андрусишиної І. М., населення, яке вживає

Таблиця 3

Результати аналізу органолептичних показників різних зразків питної води

Найменування показників	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4
Дата та час взяття проби	02.05.2023 13:10	02.05.2023 13:10	02.05.2023 12:40	02.05.2023 9.30
Назва вододжерела	питна вода «Bonaqua»	з-під крану лабораторного корпусу С	з кулера, географічний факультет	відстояна, з-під крану гуртожитку № 2
Призначення	пиття	пиття	пиття	пиття
Температура води, tºС	18,5	18,7	18,5	18,5
Прозорість води	прозора	прозора	прозора	прозора
Колір води	прозорий	прозорий	прозорий	прозорий
Смак і присмак води	присмак солей	металевий присмак	без смаку	гіркий
Запах води	пластикової тари	металевий	без запаху	насичений металевий
рівень pH, лакмусовий папірець	6,5	5,5	6	6,5
рівень pH (pH-метр)	7,6	7,13	6,85	6,75
Гігієнічна оцінка, рекомендації	рекомендовано до споживання	рекомендовано до споживання	рекомендовано до споживання	рекомендовано до споживання

Джерело: складено авторами за результатами визначення органолептичних показників

Таблиця 4

Результати визначення твердості води, умісту кальцію та магнію у різних зразках питної води

Найменування показників	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4
Назва водо джерела	питна вода «Bonaqua»	з-під крану лабораторного корпусу С	з кулера	відстояна, з-під крану гуртожитку № 2
Твердість, ммоль/л	6,8	2,67	0,7	9,5
Кальцій, ммоль/л	0,8	1,54	0	5,1
Магній, ммоль/л	6,0	1,13	0,7	4,4

Джерело: складено авторами

воду, бідну на мінеральні речовини, завжди більше піддається ризику впливу токсичних речовин, ніж те, яке п'є воду середньої твердості та мінералізації. Вода з низькою твердістю сприяє виникненню серцево-судинних захворювань та розвитку остеопорозу кісткової системи. Кальцій бере участь у регуляції проведення нервових імпульсів, процесах клітинного імунітету та вуглеводному обміні. Вміст кальцію в якісній питній воді має бути в межах 25-130 мг/дм^3, у воді вищої категорії якості – в межах 25-80 мг/дм^3. Магній приймає участь в енергетичному обміні, синтезі нуклеїнових кислот, трансляції нервових імпульсів, імунологічних реакціях. Нормативний уміст магнію у якісній питній воді складає 5-50 мг/дм^3 (Андрусишина І. М., 2015).

Отже, підсумовуючи вище наведені результати дослідження, рекомендовано краще споживати відстояну та водопровідну воду з-під крану та куплену, ніж з кулера, яка не містить в собі всіх необхідних мікроелементів для організму людини. І, по суті, таку занадто очищену воду, ще називають «мертвою», або дистильованою.

Природні води завжди містять мінеральні речовини, які визначають загальну мінералізацію (Колодій, 2010).

Мінеральні води з певним вмістом солей корисні для здоров'я, але лікарі рекомендують вживати їх в обмежених концентраціях. У зв'язку з цим були також проаналізовані 6 зразків різної питної води, яку споживають лучани на загальну мінералізацію та рівень pH. Для вимірювання було відібрано наступні зразки води: 1) з-під крану університету, лабораторний корпус С; 2) відстояна вода з-під крану (вул. 8-Березеня 4, без фільтру); 3) відстояна вода з-під крану університету; 4) з кулера (географічний факультет); 5) куплена питна вода «BonAqua»; 6) «Моршинська». Вимірювання проводили портативними приладами − солеметром і pH-метром. Солеметр вимірює загальну мінералізацію в ppm (1 % = 10 000 ppm).

Результати вимірювань подані в табл. 5. У всіх пробах pH коливався від 6,6 до 7,5 (норма 6,5–8,5). Найвищий рівень pH був зафіксований у воді марки «BonAqua», а найнижчий − у пробі з-під крану університету. Мінералізація коливалася від майже дистильованої – 1 ppm у пробі води марки «BonAqua» до 368 і 336 ppm у обох зразках відстояної води. Загалом середні показники води з-під крана в Україні знаходяться в межах від 170 до 400 ppm. Група дослідників Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я рекомендує вживати в питних цілях воду з мінералізацією не менше 100 мг/л.

Отже, як показали результати вимірювання, цілком рекомендовано пити «Моршинську» воду, але не бажано споживати питну воду марки «BonAqua», в якій було виявлено невідповідність вказаної інформації на етикетці щодо вмісту мінералів (табл. 5). Вода марки «BonAqua», принаймні у відібраній пробі, є, практично, дистильованою. Низькі показники мінералізації були зафіксовані у воді зкулера–35ppm.Питнаводаповиннаміститихочаб мінімальну кількість найважливіших мінералів. Тому для постійного пиття таку воду не рекомендовано споживати. Її здебільшого можна використовувати для приготування кави або чаю на роботі.

З іншого боку, така ультрапрісна дистильована вода, що отримана внаслідок очищування води методом зворотнього осмосу, теж не дуже корисна для здоров'я, тому здебільшого лікарі вважають, що її постійне вживання призводить до порушення сольового балансу і вимивання з організму необхідних хімічних речовин.

На основі проведених аналізів та визначення органолептичних показників гігієнічної оцінки якості питної води у різних її зразках відібраних в центральній частині м. Луцька можна зробити наступні рекомендації.

По-перше, лучанам, які проживають у центральній частині міста краще вживати воду з водопровідних мереж. Оскільки питна вода перед подачею до споживачів міста на станції водопідготовки проходить високий рівень очищення та відповідає усім вимогам стандарту ДСанПіН 2.2.4-171-10. Така вода є безпечною та містить корисні макро- і мікроелементи, такі як кальцій, магній, натрій, калій, мідь, цинк тощо, які є життєво-необхідними та забезпечують баланс мінералів в нашому організмі.

По-друге, містянам, що мешкають у віддалених районах, наприклад, 33-й, 40-й квартали приблизно на відстані 3,5+4,0 км від станції водопідготовки, можливо, краще пити воду із застосуванням побутового фільтру, або відстояну воду. Оскільки не всі труби водопроводу в місті замінені, то вода трохи «набирається» додаткового заліза, прямуючи до споживача. В такому випадку вона має неприємний запах, металевий присмак, жовтуватий відтінок, що засвідчує про підвищений уміст заліза.

По-третє, не рекомендовано вживати бутильовану воду та з автомату розливу води, оскільки показники умісту корисних хімічних елементів таких як кальцій, натрій і калій нижче оптимальних. Таку воду назвати питною не можна, оскільки вона вимиває з організму поживні речовини. Якщо все ж таки маєте намір використовувати бутильовану воду, то потрібно купувати якісний продукт від відомого виробника, який має власну свердловину, суворо дотримується усіх норм і правил, присутній на ринку не один рік. Наприклад, до популярних продуктів відноситься «Поляна Квасова», «Свалява», «Моршинська», «Куяльник», «Миргородська» та деякі інші (Бутильована вода: користь чи шкода?)

По-четверте, потрібно проводити просвітницьку роботу щодо інформування населення міста про вміст макро- та мікроелементів у питній воді та їх значення для людини.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, з вищесказаного можна зробити висновки, що якість питної води впливає на здоров'я населення. Питна вода, що подається у місто до споживачів відповідає санітарним правилам і нормам. Тому лучанам

Таблиця 5

Результати вимірювання мінералізації та водневого показника різних зразків питної води

Найменування показників	Назва вододжерела					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Рівень pH	6,22	6,71	6,74	6,63	7,51	6,75
Мінералізація, ppm	361	368	336	35	1	100

Джерело: складено авторами

краще пити воду з-під крану, ніж бутильовану або з автомату розливу води. Для покращення органолептичних показників якості питної води можна використовувати додаткові способи її доочищення, зокрема встановлення побутових фільтрів, або відстоювання води. Оскільки бутильована вода та з автомата розливу води мають низький уміст корисних елементів, то таку воду не рекомендовано споживати. На перспективу доцільно перевірити якість питної води в інших мікрорайонах міста.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Андрусишина І. М. Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення (огляд літератури). *Водні і очисні технології. Науково-технічні вісті.* № 1 (16). 2015. С. 22–31.
2. Бутильована вода: користь чи шкода? URL: https://akvo.com.ua/ua/articles/butilirovannaya-voda-polza-ili-vred.
3. Водна стратегія України на період до 2050 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text
4. Гулієва Н. М., Рудь В. Д. Якість питної води в системах централізованого водопостачання міста Луцька. *Наукові нотатки*. 2010. Вип. 29. С. 70–73.
5. Загальнодержавна цільова соціальна програма «Питна вода України» на 2022-2026 рр. Закон України від 15.02.2022 р. №5723. URL: https://ips.ligazakon.net/document/JI05633A?an=11
6. Загороднюк К. Ю., Омельчук С. Т., Новіков М. Г. та ін. Шляхи забезпечення населення України якісною питною водою. *Гігієнічна наука та практика*: *сучасні реалії* : матер. XV з'їзду гігієністів України. Львів, 2012. С. 287–288.
7. Зоріна О. В., Протас С. В. Гігієнічна оцінка якості водопровідних питних вод за санітарно-хімічними показниками та удосконалення науково методологічних підходів до їх оцінки з урахуванням вимог Європейського законодавства. *Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science»*. №4 (13). 2018. С. 4-11.
8. Коваль В. В., Рублевська Н. І., Ткаля В. Ф., Рибачук Г. А., Рублевський В. Д. Гігієнічні аспекти питного водопостачання сучасного індустріального міста. *Збірник наукових праць НМАПО ім. П.Л. Шупика*. 2014. Випуск 23, книга 4. С. 176–181.
9. Коваль В. В. Гігієнічна оцінка доочищеної питної води, яка споживається населенням індустріального міста : дис. … канд. мед. наук : 14.02.01. Дніпро, 2018. 183 с.
10. Колодій В. В. Гідрогеологія : підручник для студ. геол. спец. вищ. навч. закл. Львів : ЛНУ ім. Ів. Франка, 2010. 368 с.
11. Липовецька О. Б. Вплив довготривалого споживання некондиційної за мінеральним складом питної води на формування неінфекційної захворюваності населення та розробка профілактичних заходів : автореф. дис. … канд. медичних наук : 14.02.01. Київ, 2016. 21 с.
12. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2021 році. Київ, 2022. 326 с.
13. Петренко Н. Ф., Мокієнко А. В., Платов С. М. Гігієнічна оцінка джерел питного водопостачання населення Західного регіону України. Актуальные проблемы транспортной медицины. №2 (56). 2019. С. 7–15.
14. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text
15. Прокопов В. О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти: Монографія. К.: ВСВ «Медицина», 2016. С. 400.
16. Прокопов В. О. Стан та якість питної води централізованих систем водопостачання України в сучасних умовах (погляд на проблему з позицій гігієни). *Гігієна населених місць*. № 64. 2014. С. 56–103.
17. Стратегія використання ресурсів питних підземних вод для водопостачання : у 2 т./ за ред. Е. А. Ставицького, Г. Г. Рудька, С. О. Яковлєва. Чернівці : Букрек, 2011. Т.1. С. 133; 260–281.
18. Технічна інформація КП «Луцькводоканал». URL: https://vd.lutsk.ua/blog/post?id=373
19. Шевченко О. А., Зайцев В. В., Рублевська Н. І., Григоренко Л. В. Питне водопостачання індустріальних регіонів України: проблеми сьогодення та погляд у майбутнє. *Екологія і природокористування*. 2015. Випуск 19. С. 140–148.
20. Яловий К. «Як Україні не залишитись без питної води?» *Interfax− Україна. Інформаційне агентство.* 2021. URL: https://interfax.com.ua/news/blog/770389.html

REFERENCES:

1. Andrusyshyna, I. M. (2015). Vplyv mineralnoho skladu pytnoi vody na stan zdorovia naselennia (ohliad literatury) [Influence of the mineral composition of drinking water on the state of public health (literature review)]. *Vodni i ochysni tekhnolohii. Naukovo-tekhnichni visti.* № 1 (16), 22–31 [in Ukrainian].

2. Butylovana voda: koryst chy shkoda? [Bottled water: good or bad?]. Retrieved from https://akvo.com.ua/ua/articles/butilirovannaya-voda-polza-ili-vred [in Ukrainian].

3. Vodna stratehiia Ukrainy na period do 2050 roku. [Water Strategy of Ukraine until 2050]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text [in Ukrainian].

4. Huliieva, N. M., Rud, V. D. (2010). Yakist pytnoi vody v systemakh tsentralizovanoho vodopostachannia mista Lutska. [Drinking water quality in centralized water supply systems in Lutsk]. *Naukovi notatky*, 29. P. 70–73 [in Ukrainian].

5. Zahalnoderzhavna tsilova sotsialna prohrama «Pytna voda Ukrainy» na 2022-2026 rr. Zakon Ukrainy vid 15.02.2022 p. №5723. [National Targeted Social Program «Drinking Water of Ukraine» for 2022-2026]. Retrieved from https://ips.ligazakon.net/document/JI05633A?an=11 [in Ukrainian].

6. Zahorodniuk, K. Yu., Omelchuk, S. T., Novikov, M. H. ta in. (2012). Shliakhy zabezpechennia naselennia Ukrainy yakisnoiu pytnoiu vodoiu. *Hihiienichna nauka ta praktyka: suchasni realii* : mater. XV zizdu hihiienistiv Ukrainy. [Ways to provide the population of Ukraine with quality drinking water]. Lviv, P. 287–288 [in Ukrainian].

7. Zorina, O. V., Protas, S. V. (2018). Hihiienichna otsinka yakosti vodoprovidnykh pytnykh vod za sanitarno-khimichnymy pokaznykamy ta udoskonalennia naukovo metodolohichnykh pidkhodiv do yikh otsinky z urakhuvanniam vymoh Yevropeiskoho zakonodavstva. [Hygienic assessment of the quality of tap drinking water by sanitary and chemical indicators and improvement of scientific and methodological approaches to their assessment in accordance with the requirements of European legislation]. *Scientific Journal «Science Rise: Biological Science»,* 4 (13), 4–11 [in Ukrainian].

8. Koval, V. V., Rublevska, N. I., Tkalia, V. F., Rybachuk, H. A., Rublevskyi, V. D. (2014). Hihiienichni aspekty pytnoho vodopostachannia suchasnoho industrialnoho mista. [Hygienic aspects of drinking water supply in a modern industrial city]. *Zbirnyk naukovykh prats NMAPO im. P.L. Shupyka*, 23, B. 4, 176–181 [in Ukrainian].

9. Koval, V. V. (2018). Hihiienichna otsinka doochyshchenoi pytnoi vody, yaka spozhyvaietsia naselenniam industrialnoho mista : dys. … kand. med. nauk : 14.02.01. [Hygienic assessment of the purified drinking water consumed by the population of an industrial city]. Dnipro, 183 [in Ukrainian].

10. Kolodii V. V. (2010). Hidroheolohiia : pidruchnyk dlia stud. heol. spets. vyshch. navch. zakl. [Hydrogeology: a textbook for students. geol. spec. of univer.] Lviv : LNU im. Iv. Franka, 368 [in Ukrainian].

11. Lypovetska, O. B. (2016).Vplyv dovhotryvaloho spozhyvannia nekondytsiinoi za mineralnym skladom pytnoi vody na formuvannia neinfektsiinoi zakhvoriuvanosti naselennia ta rozrobka profilaktychnykh zakhodiv. [Influence of long-term consumption of drinking water of substandard mineral composition on the formation of non-communicable diseases of the population and development of preventive measures]. Avtoref. dys. … kand. medychnykh nauk: 14.02.01. Kyiv, 21 s. [in Ukrainian].

12. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytnoho vodopostachannia v Ukraini u 2021 rotsi (2022). [National report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply in Ukraine in 2021]. Kyiv, 326 s. [in Ukrainian].

13. Petrenko, N. F., Mokiienko, A. V., Platov, S. M. (2019). Hihiienichna otsinka dzherel pytnoho vodopostachannia naselennia Zakhidnoho rehionu Ukrainy. [Hygienic assessment of drinking water sources in the Western region of Ukraine]. *Aktualnye problemy transportnoi medytsyny*. №2 (56), 7–15 [in Ukrainian].

14. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoi dlia spozhyvannia liudynoiu». [On Approval of the State Sanitary Norms and Rules «Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption»]. Retrieved fromhttps://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text [in Ukrainian].

15. Prokopov, V. O. (2016). Pytna voda Ukrainy: medyko-ekolohichni ta sanitarno-hihiienichni aspekty: Monohrafiia. [Drinking water in Ukraine: medical, environmental and sanitary aspects]. K.: VSV «Medytsyna », 400 [in Ukrainian].

16. Prokopov, V. O. (2014). Stan ta yakist pytnoi vody tsentralizovanykh system vodopostachannia Ukrainy v suchasnykh umovakh (pohliad na problemu z pozytsii hihiieny). [The state and quality of drinking water of centralized water supply systems in Ukraine in modern conditions (a look at the problem from the point of view of hygiene)]. *Hihiiena naselenykh mists*. № 64, 56–103 [in Ukrainian].

17. Stratehiia vykorystannia resursiv pytnykh pidzemnykh vod dlia vodopostachannia / za red. Stavytskoho, E. A., Rudka, H. H., Yakovlieva, S. O. (2011). [Strategy for the use of groundwater resources for water supply]. Chernivtsi : Bukrek, 1, 133; 260–281 [in Ukrainian].

18. Tekhnichna informatsiia KP «Lutskvodokanal». [Technical information of the Municipal Enterprise «Lutskvodokanal»]. Retrieved from https://vd.lutsk.ua/blog/post?id=373

19. Shevchenko, O. A., Zaitsev, V. V., Rublevska, N. I., Hryhorenko, L. V. (2015). Pytne vodopostachannia industrialnykh rehioniv Ukrainy: problemy sohodennia ta pohliad u maibutnie. [Drinking Water Supply in the Industrial Regions of Ukraine: Current Problems and a Look to the Future]. *Ekolohiia i pryrodokorystuvannia,* 19, 140–148 281 [in Ukrainian].

20. Yalovyi K. (2021). «Yak Ukraini ne zalyshytys bez pytnoi vody?» Interfax− Ukraina. Informatsiine ahentstvo. [How can Ukraine avoid being left without drinking water?]. Retrieved fromhttps://interfax.com.ua/news/blog/770389.html

УДК 630*1(477.84):31-047.44
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-5

Зоряна ЛАВРИНЮК
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-1906-3330*

Ігор ВОЙЦЕХОВСЬКИЙ
магістр кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

Любомир ГУЛАЙ
доктор хімічних наук, професор, професор кафедри неорганічної та фізичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13 м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0003-3495-5027*

Ольга КАРАЇМ
кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-1722-411*

Олена ДЖАМ
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0003-2222-3734*

Бібліографічний опис статті: Лавринюк, З., Войцеховський, І., Гулай, Л., Караїм, О., Джам, О. (2024). Еколого-статистичний аналіз лісовідновлювальної діяльності у Волинській області. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 2, 36–47, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-5

ЕКОЛОГО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЛІСОВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Здійснення комплексної оцінки збереження лісового покриву, раціонального використання та контроль за відновленням цього ресурсного потенціалу на території Волинської області є актуальним в умовах зростаючого антропогенного навантаження. Проведення еколого-статистичного дослідження лісовідновлювальної діяльності у Волинській області за 2017–2021 роки дозволить проаналізувати основні тенденції та перспективи цього напрямку господарювання.

Метою роботи *є здійснення еколого-статистичного дослідження лісовідновлювальної діяльності у Волинській області за 2017–2021 роки, виявлення основних закономірностей.*

Методологія. *Дослідження проведено на основі методів збору інформації та методів статистичного аналізу даних за методиками, описаними авторами (Щурик М.В., 2009, Тарасова В.В., 2008). Всі обчислення проведено за допомогою програм Microsoft Excel та Microcal Origin (version 6).*

Встановлено, що відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування у Волинській області упродовж 2017–2021 роки щорічно спадало. За весь досліджуваний період, окрім 2020 року, переважало природне поновлення лісу. Саджання і висівання лісу зростало у щорічному виразі на середню величину 2,3 %. Природне поновлення лісу спадало у щорічному виразі на середню величину 4,9 %. Із 2019 року спостерігалася тенденція до скорочення відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування. За увесь досліджуваний період бачимо підвищення відтворення лісів шляхом саджання і висівання; вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур

спадало у щорічному виразі на середню величину 8,1 %. Вирощування стандартних саджанців для озеленення зменшувалося у щорічному виразі на середню величину 9,4 %. За увесь досліджуваний період спостерігається тенденція до скорочення вирощування стандартних саджанців для озеленення. Переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі спадало у щорічному виразі на середню величину 10,4 %. За весь досліджуваний період спостерігається тенденція до скорочення переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі.

Ключові слова: *еколого-статистичний аналіз, лісовідновлення, лісорозведення.*

Zoryana LAVRYNYUK
PhD of Chemistry, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-1906-3330*

Igor VOITSEHOVSKYI
Master of Ecology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

Lubomir GULAY
Doctor of Science in Chemistry, Professor, Head of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0003-3495-5027*

Olha KARAIM
PhD of Economics, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-1722-4110*

Olena DZHAM
PhD of Chemistry, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0003-2222-3734*

To cite this article: Lavrynyuk, Z., Voytsechovskyi, I., Gulay, L., Karaim, O., Dzham, O. (2024). Ekoloho-statystychnyi analiz lisovidnovliuvalnoi diialnosti u Volynskii oblasti [Ecological and statistical analysis of reforestation activities in the Volyn region]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 36–47, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-5

ECOLOGICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF REFORESTATION ACTIVITIES IN THE VOLYN REGION

Carrying out a complex assessment of the preservation of forest cover, rational use and control over the restoration of this resource potential in the territory of the Volyn region is urgent in the conditions of growing anthropogenic load. Conducting an ecological and statistical study of reforestation activities in the Volyn region for 2017–2021 will allow analyzing the main trends and prospects of this direction of management.

The aim of the work *is to conduct an ecological and statistical study of reforestation activities in the Volyn regionfor 2017–2021, to identify the main patterns.*

Methodology. *The research was conducted on the basis of information collection methods and methods of statistical data analysis according to the methods described by the authors (M.V. Shchuryk, 2009, V.V. Tarasova, 2008). All calculations were performed using Microsoft Excel and Microcal Origin (version 6).*

It was established that the reproduction of forests on lands provided for permanent use in the Volyn region for the years 2017–2021 decreased by 17 % annually. During the entire studied time period, exceptfor 2020, natural forest renewal prevailed. Planting and sowing of forests grew in annual terms by an average of 2,3 %. Natural renewal of the forest decreased in annual terms by an average value of 4,9 %. Since 2019, there has been a tendency to reduce the reproduction of forests on land provided for permanent use.

Over the entire studied period of time, there is a tendency to increase the reproduction of forests by planting and sowing; cultivation of standard seedlings for the creation of forest crops decreased in annual terms by an average value of 8,1 %. The cultivation of standard seedlings for landscaping decreased in annual terms by an average value of 9,4 %. Over the entire studied period of time, there is a tendency to reduce the cultivation of standard seedlings for landscaping. The transfer of forest crops to lands covered with forest vegetation decreased in annual terms by an average valueof 10,4 %. Over the entire studied period of time, there is a tendency to reduce the transfer of forest crops to lands covered with forest vegetation.

Key words: *ecological and statistical analysis, reforestation, afforestation.*

Актуальність проблеми. У процесі активної лісогосподарської діяльності, пов'язаної із вирубуванням деревини, важливим є процес лісовідновлення, який включає заготівлю насіння дерев, вирощування саджанців лісових культур, саджання і висівання лісу, догляд за лісовими культурами. Тому тема дослідження є актуальної як з теоретичної, так і з практичної точок зору.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вирішенню проблем раціонального використання та збереження лісових ресурсів присвятили свої роботи низка науковців. Зокрема : автори (Дребот, 2015, Бобко, 2015, Замула, 2013) розглядали еколого-економічні засади ведення лісового господарства. Авторами (Гулай, 2022, Караїм, 2021, Лавринюк, 2022, Джам, 2022) здійснювався еколого-статистичний та екологічний аналіз господарської діяльності Тернопільської та Львівської областей. У цьому аспекті актуально провести еколого-статистичний аналіз лісовідновлюваної діяльності у Волинській області.

Метою роботи є еколого-статистичне дослідження лісовідновлення у Волинській області впродовж 2017–2021 років.

Методологія. Дослідження проведено на основі методів збору інформації та методів статистичного аналізу даних за методиками, описаними авторами (Щурик М.В., 2009, Тарасова В.В., 2008). Всі обчислення проведено за допомогою програм Microsoft Excel та Microcal Origin (version 6). При виконанні досліджень використані річні звіти про виконання виробничо-фінансового плану із лісового та мисливського господарства та охорони навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2017–2021 роки; головного управління статистики у Волинській області за 2017 – 2021 роки; Волинської обласної державної адміністрації та Волинської обласної ради.

Виклад основного матеріалу дослідження. ***Відтворення лісів на землях, наданих у постійте користування.*** Динаміка відтворення лісів на землях, наданих у постійте користування, у Волинській області впродовж 2017–2021 років показана на рис. 1. Проведений статистичний аналіз динаміки відтворення лісів на землях, наданих у постійте користування, у Волинській області за 2017–2021 роки дозволяє зробити наступні висновки: значення середнього ланцюгового абсолютного відхилення складає – 367 га; значення середнього ланцюгового темпу зростання становить 0,983 (98,3 %); значення середнього ланцюгового темпу приросту становить:

$$98{,}3\ \% - 100\ \% = -1{,}7\ \%.$$

Отже, відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування, у Волинській області за 2017–2021 роки спадало у щорічному виразі на середню величину 1,7 %, що вказує на загальне зменшення відтворення лісів за досліджуваний період на 91,75 га.

Аналіз коефіцієнтів прискорення (уповільнення) динаміки дає нам змогу стверджувати, що у 2019 році спостерігалося уповільнення темпів спадання відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування; у 2020 році спостерігалося прискорення темпів спадання відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування; у 2021 році спостерігалося уповільнення темпів спадання відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування.

Структура відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування, у Волинській області за 2017–2021 роки показана на рис. 2. За весь досліджуваний період, окрім 2020 року, переважає природне поновлення лісу.

Аналіз коефіцієнтів прискорення (уповільнення) динаміки дає нам змогу зробити наступні висновки: у 2019 році спостерігалося уповільнення темпів спадання відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування; у 2020 році бачимо прискорення темпів спадання відтворення лісів; у 2021 році знову відбулося уповільнення темпів спадання відтворення лісів на відповідних землях.

Структура відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування, у Волинській

області за 2017–2021 роки показана на рис. 2. За весь досліджуваний період, окрім 2020 року, переважає природне поновлення лісу.

Саджання і висівання лісу. Динаміка саджання і висівання лісу у Волинській області упродовж 2017–2021 років показана на рис. 3. Еколого-статистичний аналіз динаміки саджання і висівання лісу у Волинській області за 2017–2021 роки дозволяє зробити такі висновки: значення середнього ланцюгового абсолютного відхилення складає 59,25 га; значення середнього ланцюгового темпу зростання становить 1,023 (102,3 %); значення середнього ланцюгового темпу приросту рівне 2,3 %.

Отже, саджання і висівання лісу у Волинській області упродовж 2017–2021 років зростало у щорічному виразі на середню величину

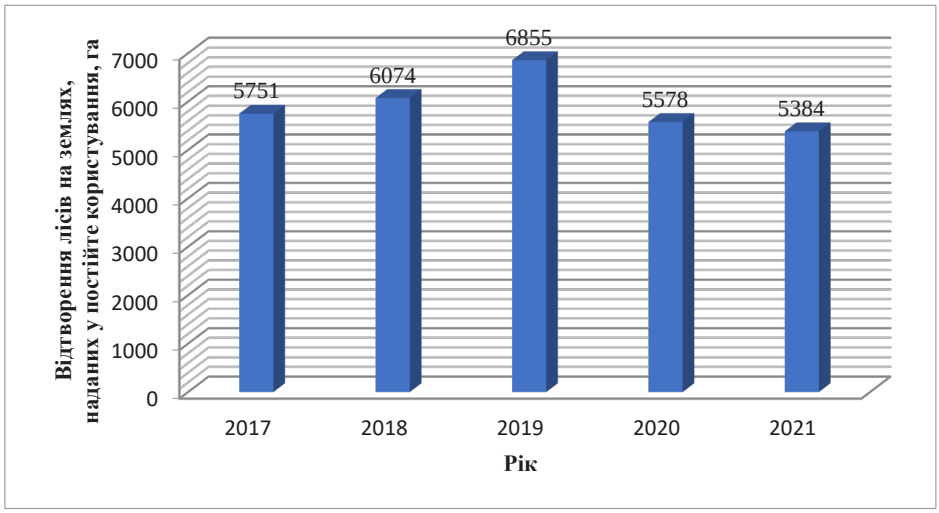

Рис. 1. Динаміка відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування, у Волинській області впродовж 2017–2021 років

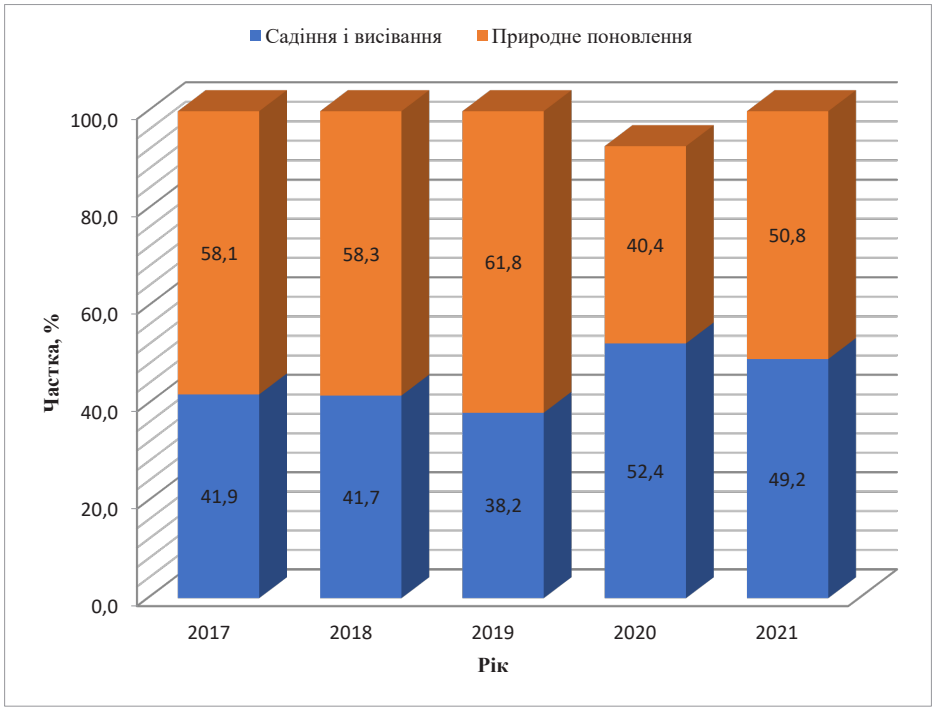

Рис. 2. Структура відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування, у Волинській області впродовж 2017–2021 років

2,3 %, що вказує на загальне збільшення саджання і висівання лісу за досліджуваний період на 237 га. Отже, у 2019 році спостерігалося уповільнення темпів зростання саджання і висівання лісу; у 2020 році відбулося прискорення темпів зростання саджання і висівання лісу; у 2021 році знову бачимо уповільнення темпів зростання саджання і висівання лісу.

Природне поновлення лісу. Динаміка природного поновлення лісу у Волинській області упродовж 2017–2021 років показана на рис. 4. Проведений статистичний аналіз дозволяє зробити такі висновки: значення середнього ланцюгового абсолютного відхилення складає –151 га; значення середнього ланцюгового темпу зростання становить 0,951 (95,1 %);

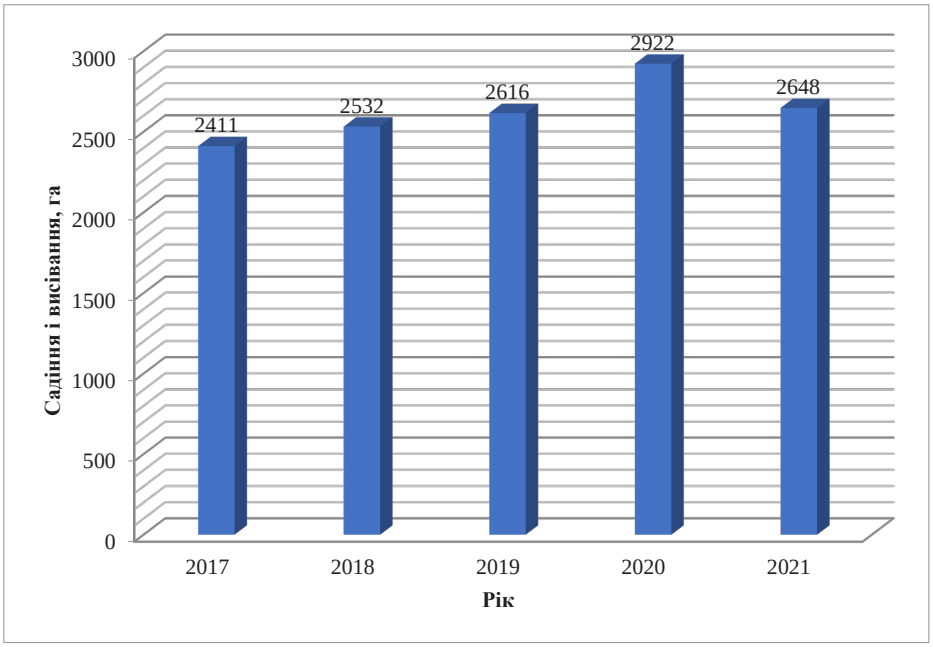

Рис. 3. Динаміка саджання і висівання лісу у Волинській області впродовж 2017–2021 років

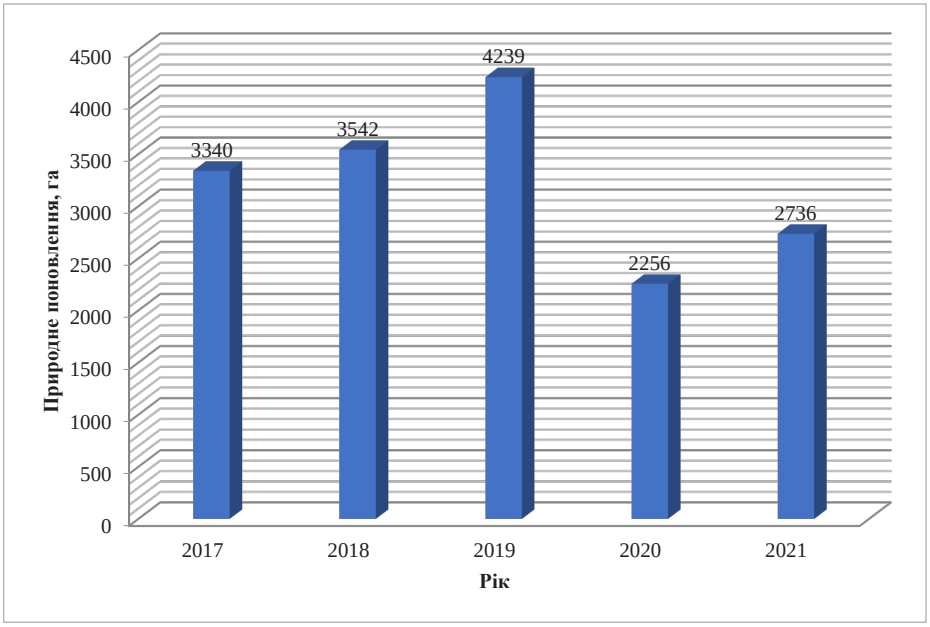

Рис. 4. Динаміка природного поновлення лісу у Волинській області впродовж 2017–2021 років

значення середнього ланцюгового темпу приросту становить 4,9 %.

Отже, природне поновлення лісу у Волинській області впродовж 2017–2021 років спадало у щорічному виразі на середню величину 4,9 %, що вказує на загальне зменшення природного поновлення лісу за досліджуваний період на 604 га.

Отже, у 2019 році спостерігалося уповільнення темпів спадання природного поновлення лісу; у 2020 році бачимо значне прискорення темпів спадання природного поновлення лісу; у 2021 році фіксуємо значне уповільнення темпів спадання природного поновлення лісу.

Вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур. Динаміка вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур у Волинській області упродовж 2017–2021 років показана на рис. 5. Значення середнього ланцюгового абсолютного відхилення складає – 1,67 млн. шт; значення середнього ланцюгового темпу зростання становить 0,919 (91,9 %); значення середнього ланцюгового темпу приросту станови 8,1 %. Отже, вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур у Волинській області впродовж 2017–2021 років спадало у щорічному виразі на середню величину 8,1 %, що вказує на загальне зменшення вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур за досліджуваний період на 6,68 млн. шт.

Аналіз коефіцієнтів прискорення (уповільнення) динаміки дає нам змогу зробити такі висновки: у 2019 році спостерігалося значне уповільнення темпів спадання вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур; у 2020 році бачимо значне прискорення темпів спадання вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур; у 2021 році фіксуємо невелике уповільнення темпів спадання вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур.

Вирощування стандартних саджанців для озеленення. Динаміка вирощування стандартних саджанців для озеленення у Волинській області впродовж 2017–2021 років показана на рис. 6.

Значення середнього ланцюгового абсолютного відхилення складає – 9,61 млн. шт.; значення середнього ланцюгового темпу зростання становить 0,906 (90,6 %); значення середнього ланцюгового темпу приросту – 9,4 %. Отже, вирощування стандартних саджанців для озеленення у Волинській області впродовж 2017–2021 років спадало у щорічному виразі на середню величину 9,4 %, що вказує на загальне зменшення вирощування стандартних саджанців для озеленення за досліджуваний період на 38,45 млн. шт.

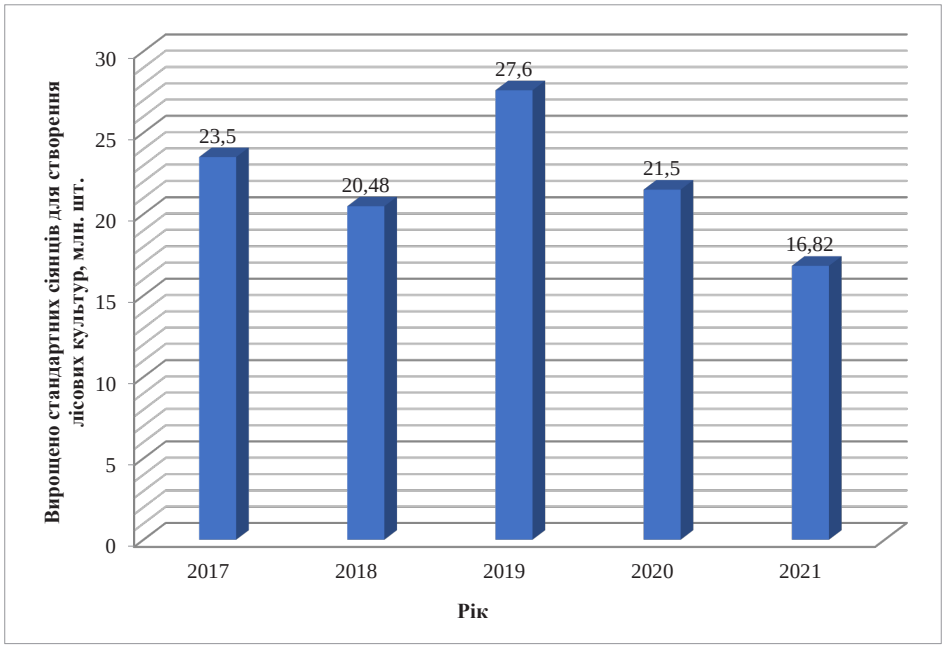

Рис. 5. Динаміка вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур у Волинській області впродовж 2017–2021 років

Аналіз коефіцієнтів прискорення (уповільнення) динаміки дає нам змогу зробити такі висновки: у 2019 році спостерігалося уповільнення темпів спадання вирощування стандартних саджанців для озеленення; у 2020 році бачимо прискорення темпів спадання вирощування стандартних саджанців для озеленення; для 2021 року характерним є уповільнення темпів спадання вирощування стандартних саджанців для озеленення.

Заготівля насіння деревних і чагарникових порід. Динаміка заготівлі насіння деревних і чагарникових порід у Волинській області впродовж 2017– 2021 років показана на рис. 7. Значення середнього ланцюгового абсолютного відхилення складає – 3812,75 кг; значення середнього ланцюгового темпу зростання становить 0,916 (91,6 %); значення середнього ланцюгового темпу приросту рівне 8,4 %.

Отже, заготівля насіння деревних і чагарникових порід у Волинській області впродовж 2017–2021 років спадала у щорічному виразі на середню величину 8,4 %, що вказує на загальне зменшення заготівлі насіння деревних

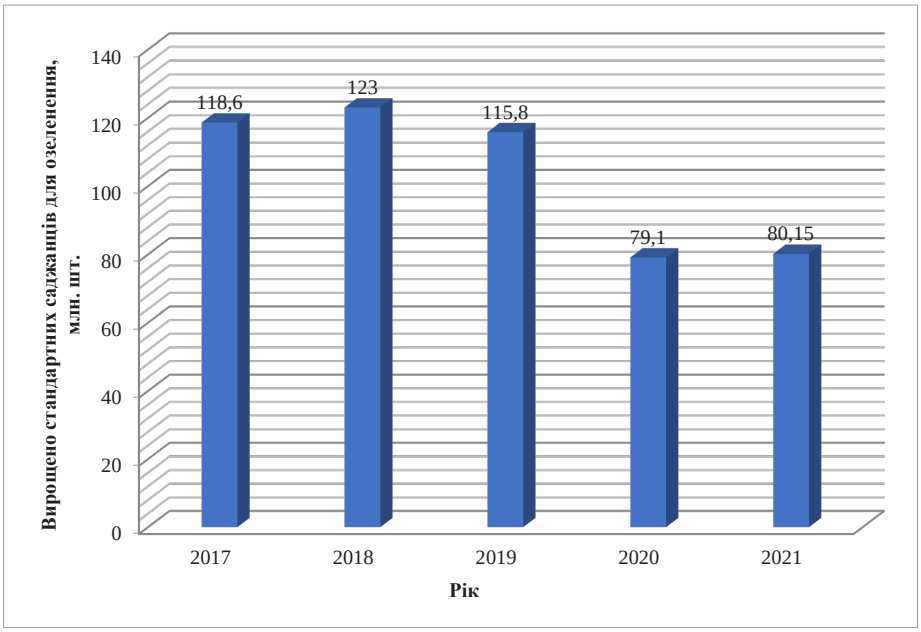

Рис. 6. Динаміка вирощування стандартних саджанців для озеленення у Волинській області впродовж 2017–2021 років

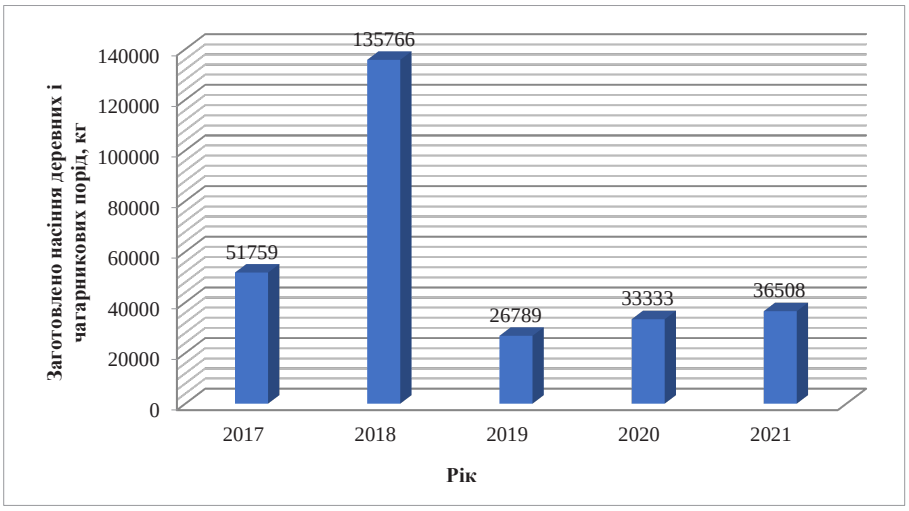

Рис. 7. Динаміка заготівлі насіння деревних і чагарникових порід у Волинській області впродовж 2017–2021 років

і чагарникових порід за досліджуваний період часу на 15251 кг.

Аналіз коефіцієнтів прискорення (уповільнення) динаміки дає нам змогу зробити такі висновки: у 2019 році спостерігалося значне уповільнення темпів спадання заготівлі насіння деревних і чагарникових порід (відбулося зростання обсягів заготівлі в порядку 2,6 разів у 2018 році в порівнянні із попереднім роком); у 2020 році спостерігалося значне уповільнення темпів спадання заготівлі насіння деревних і чагарникових порід; у 2021 році бачимо прискорення темпів спадання заготівлі насіння деревних і чагарникових порід.

Переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі. Динаміка переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі у Волинській області впродовж 2017–2021 років показана на рис. 8. Значення середнього ланцюгового абсолютного відхилення складає – 438,75 кг; значення середнього ланцюгового темпу зростання становить 0,896 (89,6 %); значення середнього ланцюгового темпу приросту становить 10,4 %.

Отже, переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі у Волинській області впродовж 2017–2021 років спадало у щорічному виразі на середню величину 10,4 %, що вказує на загальне зменшення переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі за досліджуваний період часу на 1755 га.

Аналіз коефіцієнтів прискорення (уповільнення) динаміки дає нам змогу зробити такі висновки: у 2019 році спостерігалося прискорення темпів спадання переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі; у 2020 році бачимо уповільнення темпів спадання переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі; у 2021 році фіксуємо прискорення темпів спадання переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі.

Дослідження тенденцій у лісовідновленні в межах Волинської області. При аналізі показників лісовідновлення у Волинській області можна побачити ряд тенденцій: із 2019 року намітилась тенденція до скорочення відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування (рис.9). Якщо така тенденція буде мати місце в наступні роки, то можна очікувати подальше скорочення відтворення лісів; за увесь досліджуваний період часу спостерігається тенденція до розширення відтворення лісів шляхом садіння і висівання (рис. 10); у природному поновленні лісу у Волинській області за 2017–2021 роки не спостерігається чіткої тенденції. Із 2017 по 2019 роки спостерігалося поступове зростання площі природного поновлення. У наступному 2020 році мало місце різке зменшення в два рази цієї площі і невелике її зростання в наступному 2021 році. Із 2019 року намітилась тенденція до скорочення вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур (рис. 11).

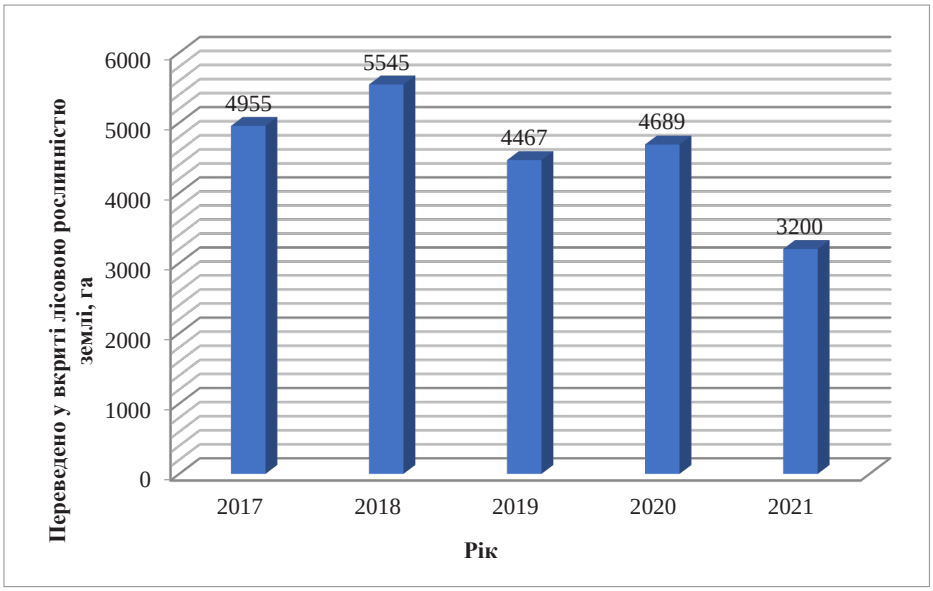

Рис. 8. Динаміка переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі у Волинській області впродовж 2017–2021 років

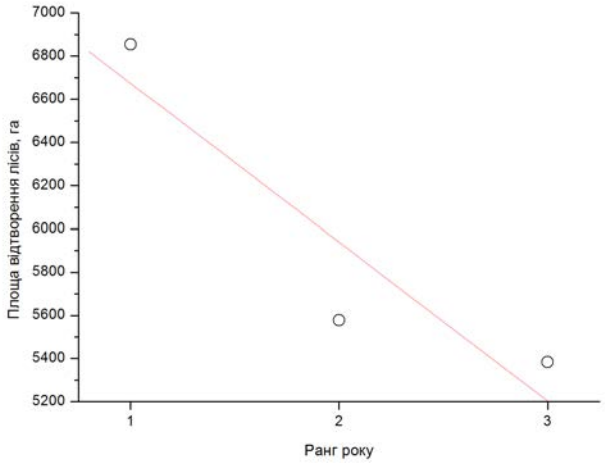

Рис. 9. Відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування, впродовж 2019–2021 років (прогноз)

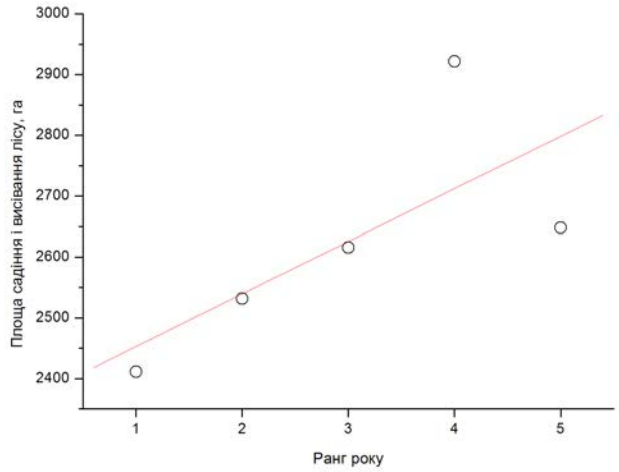

Рис. 10. Площа саджання і висівання лісу впродовж 2017–2021 років (прогноз)

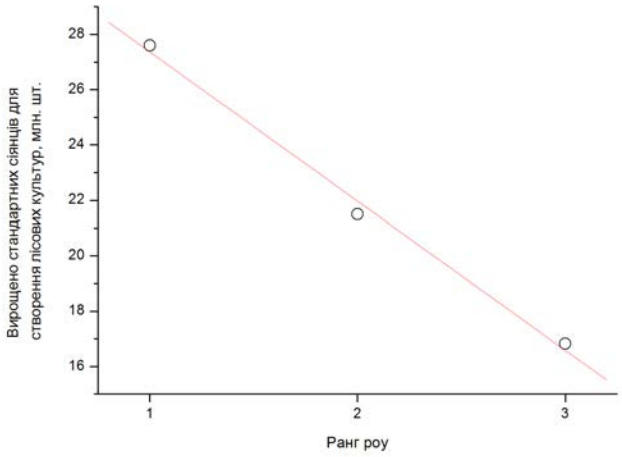

Рис. 11. Вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур впродовж 2019–2021 роки (прогноз)

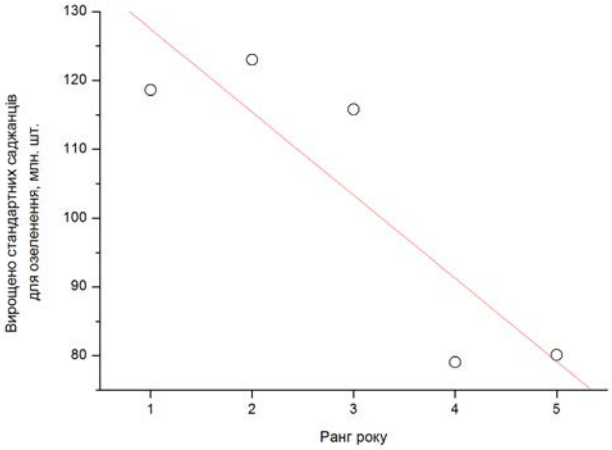

Рис. 12. Вирощування стандартних саджанців для озеленення впродовж 2017–2021 років (прогноз)

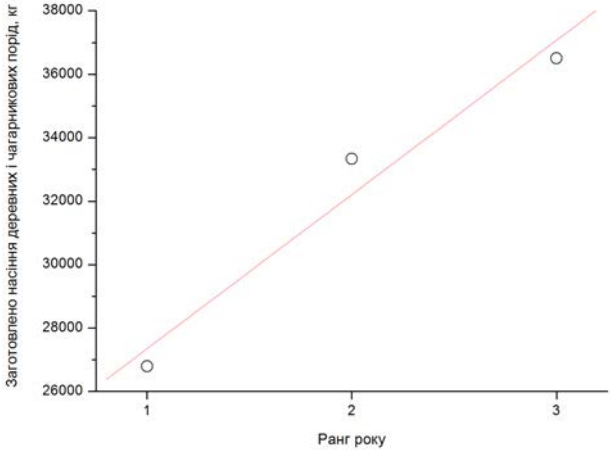

Рис. 13. Заготівля насіння деревних і чагарникових порід впродовж 2019–2021 років (прогноз)

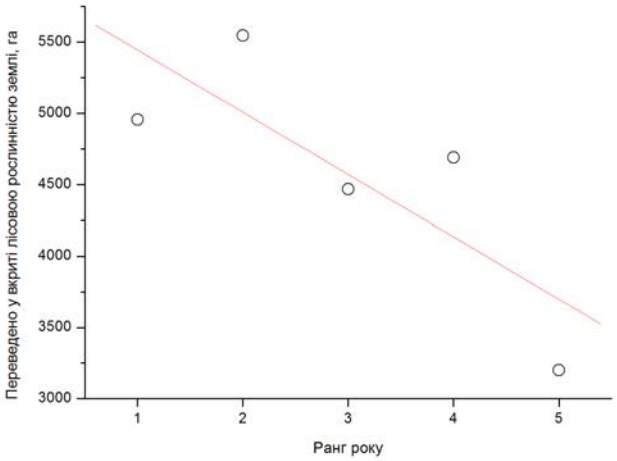

Рис. 14. Переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі впродовж 2017–2021 років (прогноз)

За весь досліджуваний період спостерігається тенденція до скорочення вирощування стандартних саджанців для озеленення (рис.12.); із 2020 року після значного спадання у 2019 році намітилось зростання заготівлі насіння деревних і чагарникових порід; за весь досліджуваний період спостерігається тенденція до скорочення переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проаналізувавши лісовідновлювальну діяльність у Волинській області впродовж 2017–2021 років, можна зробити висновки: відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування, у Волинській області у 2017–2021 роках спадало у щорічному виразі на середню величину 1,7 %, що вказує на загальне зменшення відтворення лісів за досліджуваний період на 91,75 га. За весь досліджуваний період, крім 2020 року, переважає природне поновлення лісу. Саджання і висівання лісу зростало у щорічному виразі на середню величину 2,3 %, що вказує на загальне їх збільшення за досліджуваний період на 237 га. Природне поновлення лісу спадало у щорічному виразі на середню величину 4,9 %, що вказує на загальне зменшення природного поновлення лісу за досліджуваний період на 604 га. Із 2019 року намітилась тенденція до скорочення відтворення лісів на землях, наданих у постійне користування. За весь досліджуваний період спостерігається тенденція до розширення відтворення лісів шляхом саджання і висівання; вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур спадало у щорічному виразі на середню величину 8,1 %, що вказує на загальне зменшення вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур за досліджуваний період часу на 6,68 млн. шт. Вирощування стандартних саджанців для озеленення спадало у щорічному виразі на середню величину 9,4 %, що вказує на загальне зменшення вирощування стандартних саджанців для озеленення за досліджуваний період часу на 38,45 млн. шт. Із 2019 року намітилась тенденція до скорочення вирощування стандартних сіянців для створення лісових культур. За весь досліджуваний період спостерігається тенденція до скорочення вирощування стандартних саджанців для озеленення. Заготівля насіння деревних і чагарникових порід спадала у щорічному виразі на середню величину 8,4 %, що вказує на загальне зменшення заготівлі насіння деревних і чагарникових порід за досліджуваний період часу на 15251 кг. Із 2020 року після значного спадання у 2019 році намітилась тенденція до зростання заготівлі насіння деревних і чагарникових порід. Переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі у Волинській області упродовж 2017 –2021 років зменшувалося у щорічному виразі на середню величину 10,4 %, що вказує на загальне пониження переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі за досліджуваний період на 1755 га. За весь досліджуваний період спостерігається тенденція до скорочення переведення лісових культур у вкриті лісовою рослинністю землі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Щурик М. В. Статистика. Львів.: «Магнолія-2006», 2009. 545 с.
2. Тарасова В. В. Екологічна статистика. К.: Центр учбової літератури, 2008. 392 с.
3. Мармоза А. Т. Статистика. К.: КНТ. Ельга, Ніка-Центр, 2009. 896 с.
4. Посібник користувача Microcal Origin (version 6): URL: http://www.physics.rutgers.edu/~eandrei/389/Origin6_Tutorial.pdf/.
5. Дребот О. І. Бобко А. М. Ліси та лісівництво в Україні: стан і економічні наслідки землекористування у дзеркалі часу. *Економіка України*. Київ: 2015. № 1. С. 82–94. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk-2015-1-7
6. Замула Х. П. Сучасний стан ведення лісового господарства в Україні. *Агросвіт.*2013, 19. С 54–59.
7. Гулай Л., Лавринюк З., Караїм О., Джам О. Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. Луцьк, 2022. № 2. С. 17–27. URL: https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-3
8. Караїм О., Гулай Л. О. Бакараєв, О. Джам, О. Музиченко, З. Лавринюк. Екологічна оцінка впливу на довкілля викидів забруднюючих речовин ДП «Колківське ЛГ». *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. Харків, 2021. № 24. С.68–78.
9. Офіційний сайт Північно-Західного міжрегіонального управління лісового та мисливського господарства: URL: https://nw.forest.gov.ua/.
10. Екологічний паспорт Волинської області за 2022 рік. Волинська обласна державна адміністрація. 2023. URL: https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2022-rik/.

11. Екологічний паспорт Волинської області за 2017 рік. Волинська обласна державна адміністрація. 2018. URL: https://voladm.gov.ua/admin-assets/files/file/Ekologiya/

12. Екологічний паспорт Волинської області за 2018 рік. Волинська обласна державна адміністрація. 2019. URL: https://voladm.gov.ua/admin-assets/files/file/Ekologiya/

13. Екологічний паспорт Волинської області за 2019 рік. Волинська обласна державна адміністрація. 2020. URL: https://voladm.gov.ua/admin-assets/files/file/Ekologiya/

14. Екологічний паспорт Волинської області за 2020 рік. Волинська обласна державна адміністрація. 2021. URL: https://voladm.gov.ua/admin-assets/files/file/Ekologiya/%

15. Екологічний паспорт Волинської області за 2021 рік. Волинська обласна державна адміністрація. 2020. URL: https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2022-rik/.

16. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2017 рік. Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2018.

17. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2018 рік. Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2019.

18. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2019 рік. Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2020.

19. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2020 рік. Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2021.

20. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2021 рік. Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2022.

21. Довкілля Волині 2017: Статистичний збірник / за ред. В. Ю.Науменка. Луцьк: Головне управління статистики у Волинській області 2018. 171 с.

22. Довкілля Волині 2018: Статистичний збірник / за ред. В. Ю.Науменка. Луцьк: Головне управління статистики у Волинській області. 2019. 165 с.

23. Довкілля Волині 2019: Статистичний збірник / за ред. В. Ю.Науменка. Луцьк: Головне управління статистики у Волинській області. 2020. 140 с.

24. Довкілля Волині 2020: Статистичний збірник / за ред. В. Ю.Науменка. Луцьк: Головне управління статистики у Волинській області. 2021. 140 с.

REFERENCES:

1. Shchuryk, M.V. (2009). Statystyka [Statistics].Lviv.: «Mahnolia-2006», 545 p. [in Ukrainian].

2. Tarasova, V.V. (2008). Ekolohichna statystyka [Ecological statistics]. K.: Tsentr uchbovoyi literatury, 392 p. [in Ukrainian].

3. Marmoza, A.T. (2009). Statystyka. .[Statistics] K.: KNT. El′ha, Nika-Tsentr, 896 p. [in Ukrainian].

4. Posibnyk korystuvacha Microcal Origin (version 6) [Microcal Origin User Guide (version 6)] Retrieved from http://www.physics.rutgers.edu/~eandrei/389/Origin6_Tutorial.pdf/

5. Drebot, O.I. Bobko, A.M. (2015). Lisy ta lisivnytstvo v Ukrayini: stan i ekonomichni naslidky zemlekorystuvannya u dzerkali chasu. [Forests and forestry in Ukraine: state and economic consequences of land use in the mirror of time]. Ekonomika Ukrayiny. Kyiv: № 1. P. 82–94. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/EkUk-2015-1-7 [in Ukrainian].

6. Zamula, KH.P. (2013). Suchasnyy stan vedennya lisovoho hospodarstva v Ukrayini [The current state of forestry management in Ukraine]. Ahrosvit. 19. P. 54–59 [in Ukrainian].

7. Gulay, L., Lavrynyuk, Z., Karayim, O., Dzham, O. (2022). Ekoloho-statystychnyy analiz osnovnykh aspektiv vedennya lisovoho hospodarstva Ternopil′s′koyi oblasti [Ecological and statistical analysis of the main aspects of forestry in Ternopil region]. *Problemy khimiyi ta staloho rozvytku*. Luts′k, № 2. P. 17–27. https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-3 [in Ukrainian].

8. Karayim, O., Gulay, L. O. Bakarayev, O. Dzham, O. Muzychenko, Z. Lavrynyuk. (2021). Ekolohichna otsinka vplyvu na dovkillya vykydiv zabrudnyuyuchykh rechovyn DP «Kolkivs′ke LH» [Ecological assessment of the impact on the environment of emissions of polluting substances of SE Kolkivske LG]. Visnyk KHNU imeni V. N. Karazina. Seriya «Ekolohiya». Kharkiv, № 24. P. 68–78 [in Ukrainian].

9. Ofitsiynyy sayt Pivnichno-Zakhidnoho mizhrehional′noho upravlinnya lisovoho ta myslyvs′koho hospodarstva [Official website of the North-Western Interregional Forestry and Hunting Administration]. Retrieved from https://nw.forest.gov.ua/

10. Ekolohichnyy pasport Volyns′koyi oblasti za 2022 rik [Elektronnyy resurs]. Volyns′ka oblasna derzhavna administratsiya [Ecological passport of the Volyn region for 2022. Volyn regional state administration]. (2023). Retrieved from https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2022-rik/

11. Ekolohichnyy pasport Volyns′koyi oblasti za 2017 rik [Elektronnyy resurs]. Volyns′ka oblasna derzhavna administratsiya [Ecological passport of the Volyn region for 2017. Volyn regional state administration]. (2018). Retrieved from https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2017-rik/

12. Ekolohichnyy pasport Volyns′koyi oblasti za 2018 rik [Elektronnyy resurs]. Volyns′ka oblasna derzhavna administratsiya [Ecological passport of the Volyn region for 2018. Volyn regional state administration]. (2019). Retrieved from https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2018-rik/

13. Ekolohichnyy pasport Volyns′koyi oblasti za 2019 rik [Elektronnyy resurs]. Volyns′ka oblasna derzhavna administratsiy [Ecological passport of the Volyn region for 2019. Volyn regional state administration]. (2020). Retrieved from https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2019-rik/

14. Ekolohichnyy pasport Volyns′koyi oblasti za 2020 rik [Elektronnyy resurs]. Volyns′ka oblasna derzhavna administratsiya [Ecological passport of the Volyn region for 2020. Volyn regional state administration]. (2021). Retrieved from https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2020-rik/

15. Ekolohichnyy pasport Volyns′koyi oblasti za 2021 rik [Elektronnyy resurs]. Volyns′ka oblasna derzhavna administratsiya [Ecological passport of the Volyn region for 2021. Volyn regional state administration]. (2022). Retrieved from https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-volinskoyi-oblasti-za-2021-rik/

16. Richnyy zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvs′komu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshn′oho pryrodnoho seredovyshcha Volyns′koho OULMH za 2017 rik [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn OULMG for 2017]. (2018).Volyns′ke oblasne upravlinnya lisovoho ta myslyvs′koho hospodarstva.

17. Richnyy zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvs′komu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshn′oho pryrodnoho seredovyshcha Volyns′koho OULMH za 2018 rik [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn OULMG for 2018]. (2019). Volyns′ke oblasne upravlinnya lisovoho ta myslyvs′koho hospodarstva.

18. Richnyy zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvs′komu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshn′oho pryrodnoho seredovyshcha Volyns′koho OULMH za 2019 rik [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn OULMG for 2019]. (2020).Volyns′ke oblasne upravlinnya lisovoho ta myslyvs′koho hospodarstva.

19. Richnyy zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvs′komu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshn′oho pryrodnoho seredovyshcha Volyns′koho OULMH za 2020 rik [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn OULMG for 2020]. (2021). Volyns′ke oblasne upravlinnya lisovoho ta myslyvs′koho hospodarstva.

20. Richnyy zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvs′komu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshn′oho pryrodnoho seredovyshcha Volyns′koho OULMH za 2021 rik [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn OULMG for 2021]. (2022). Volyns′ke oblasne upravlinnya lisovoho ta myslyvs′koho hospodarstva.

21. Dovkillya Volyni 2017: Statystychnyy zbirnyk [Environment of Volyn 2017: Statistical collection] / za red. V. YU.Naumenka. Luts′k: Holovne upravlinnya statystyky u Volyns′kiy oblasti 2018. 171 p.

22. Dovkillya Volyni 2018: Statystychnyy zbirnyk.[Environment of Volyn 2018: Statistical collection] / za red. V. YU.Naumenka. Luts′k: Holovne upravlinnya statystyky u Volyns′kiy oblasti 2019. 165 p.

23. Dovkillya Volyni 2019: Statystychnyy zbirnyk.[Environment of Volyn 2019: Statistical collection] / za red. V. YU.Naumenka. Luts′k: Holovne upravlinnya statystyky u Volyns′kiy oblasti 2020. 140 p.

24. Dovkillya Volyni 2020: Statystychnyy zbirnyk.[Environment of Volyn 2020: Statistical collection] / za red. V. YU.Naumenka. Luts′k: Holovne upravlinnya statystyky u Volyns′kiy oblasti 2021. 140 p.

УДК 574(582+591.5+592/599)
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-6

Людмила САВЧУК
кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
ORCID: *0000-0002-8854-6600*

Роман ШУЛИПА
бакалавр кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

Бібліографічний опис статті: Савчук, Л., Шулипа, Р. (2024). Екологічна характеристика біорізноманіття філії «Ківерцівське лісове господарство» ДП «Ліси України» (Звірівське лісництво). *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 48–54, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-6

ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОРІЗНОМАНІТТЯ ФІЛІЇ «КІВЕРЦІВСЬКЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО» ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ» (ЗВІРІВСЬКЕ ЛІСНИЦТВО)

Біорізноманіття є одним із найцінніших природних ресурсів, які потрібно оберігати, оскільки забезпечує стійкість екосистем та здоров'я нашої планети. Звірівське лісництво відіграє ключову роль у збереженні цього біорізноманіття через свою діяльність у лісовому господарстві та охороні природних ресурсів.

Метою роботи є проведення детальної екологічної характеристики біорізноманіття на території Звірівського лісництва.

До основних чинників у галузі контролю за використанням природних ресурсів та збереження біорізноманіття, належить характеристика існуючого біорізноманіття та вплив антропогенних та інших факторів на біорізноманіття. Звірівське лісництво розташоване у Волинській області на території Луцького району. Адміністративно-організаційна структура підприємства включає лісництва "Звірівське" і "Мощаницьке", з площею 3504,2 та 4729,4 га. Для дослідження проводилась інвентаризація біорізноманіття, процес складання списку біологічних об'єктів даної території. Це передбачає детальний опис географічних і екологічних умов місцезнаходження, попередню ідентифікацію біологічних об'єктів, їх збір, каталогізацію, з подальшим контрольним оглядом через певний час, а також аналіз інформації про таксономічний статус та екологічні характеристики цих об'єктів. Дослідження, були проводені в період з 2023 по 2024 рр.

Нами вперше було досліджено та систематизовано біорізноманіття Звірівського лісництва. А також в роботі була використана Червона книга України (Рослинний світ, Тваринний світ) та системи категорій і критеріїв Червоного списку Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) для оцінки стану різноманітних видів. Цей підхід дозволив об'єктивно класифікувати види залежно від рівня їхнього ризику зникнення. Результати дослідження вказують на те, що Звірівське лісництво ефективно та раціонально використовує лісові ресурси, сприяючи відновленню лісового покриву та підтримці біорізноманіття. Це досягається завдяки управлінню, спрямованому на збереження природних екосистем та їхню екологічну стійкість.

Загальна еколого-географічна характеристика Звірівського лісництва свідчить, що господарство відіграє важливу роль у збереженні біорізноманіття. Проте існує потенційний ризик порушення екосистеми та втрати біорізноманіття через неконтрольовану діяльність у лісах.

Ключові слова: *біорізноманіття, еколого-географічна характеристика тваринний світ, рослинний світ, суцільно-санітарні та вибірково-санітарні рубки.*

Liudmyla SAVCHUK
PhD of Biology, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID: *0000-0002-8854-6600*

Roman SHULYPA
Bachelor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

To cite this article: Savchuk, L., Shulypa, R. (2024). Ekolohichna kharakterystyka bioriznomanittia filii "Kivertsivske lisove hospodarstvo" DP «Lisy Ukrainy» (Zvirivske lisnytstvo) [Ecological characteristics of biodiversity of the branch "Kivertsivske forestry" of the State Enterprise "Forests of Ukraine" (Zvirivske forestry)]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 48–54, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-6

ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BIODIVERSITY OF THE BRANCH "KIVERTSIVSKE FORESTRY" OF THE STATE ENTERPRISE "FORESTS OF UKRAINE" (ZVIRIVSKE FORESTRY)

Biodiversity is one of the most valuable natural resources to be protected, as it ensures the sustainability of ecosystems and the health of our planet. Zvirivske Forestry plays a key role in the conservation of this biodiversity through its activities in forestry and natural resource protection.

The aim of this study is to conduct a detailed ecological characterisation of biodiversity on the territory of Zvirivske Forestry.

The main factors in controlling the use of natural resources and conserving biodiversity include the characterisation of existing biodiversity and the impact of anthropogenic and other factors on biodiversity. Zvirivske forestry is located in Volyn region in Lutsk district. The administrative and organisational structure of the enterprise includes Zvirivske and Moshchanytsia forestries, with an area of 3504.2 and 4729.4 hectares. The study involved a biodiversity inventory, a process of compiling a list of biological objects in the area. This involves a detailed description of the geographical and environmental conditions of the location, preliminary identification of biological objects, their collection, cataloguing, followed by a control survey after a certain period of time, as well as analysis of information on the taxonomic status and ecological characteristics of these objects. The research was carried out in the period from 2023 to 2024.

This is the first time that we have studied and systematised the biodiversity of Zvirivske Forestry. We used the Red Data Book of Ukraine (Flora, Fauna) and the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List categories and criteria to assess the status of various species. This approach allowed us to objectively classify species according to their level of extinction risk. The results of the study show that Zvirivske Forestry effectively and efficiently uses forest resources, contributing to the restoration of forest cover and maintaining biodiversity. This is achieved through management aimed at preserving natural ecosystems and their environmental sustainability.

The general ecological and geographical characteristics of Zvirivske Forestry indicate that the enterprise plays an important role in biodiversity conservation. However, there is a potential risk of ecosystem disturbance and biodiversity loss due to uncontrolled forest activities.

Key words: *biodiversity, ecological and geographical characteristics, fauna, flora, clear-cutting and selective sanitary felling.*

Актуальність проблеми. Екологічна характеристика біорізноманіття Звірівського лісництва визначається необхідністю збереження природних ресурсів. На сьогоднішній день збереження різноманіття життя у лісах стає надзвичайно важливим завданням у зв'язку з руйнівним впливом людської діяльності на природу, зокрема вирубкою лісів, забрудненням довкілля та кліматичними змінами. Чітке уявлення про екологічний стан цих територій дозволить розробляти ефективні заходи з їх охорони та сталого використання, зберігаючи біорізноманіття для майбутніх поколінь.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Екологічні дослідження біорізноманіття різноманітних територій Волинської області висвітлено у роботах (Мельник, 2003, Андрієнко, 2006, Андрієнко, 2004). Оцінка різноманіття біосистем та напрями зменшення загроз біорізноманіття висвітлено у працях (Ємельянова, 2002, Дудкіна, 2003). Однак вивченню екологічної характеристики біорізноманіття

Звірівського лісництва було приділено недостатньо уваги.

Метою дослідження є проведення детальної екологічної характеристики біорізноманіття на території Звірівського лісництва.

Виклад основного матеріалу дослідження. Звірівське лісництво відоме своєю різноманітною екосистемою, яка забезпечує ідеальні умови для розвитку біорізноманіття.

У лісництві важливим елементом є сосново-дубові насадження, що зростають вздовж автошляху Луцьк-Рівне. Ці насадження є особливо цінними та потребують особливого захисту.

На рис. 1 представлено розподіл різних видів дерев на території Звірівського лісництва. Згідно з рис. 1, найбільший відсоток площі займає сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) – 46,6% – є домінуючим видом, вільха чорна (*Alnus glutinosa*) – 20,2% та дуб звичайний (*Quercus robur*) – 18,3%, які також займають значну площу. За ними слідують інші види, такі як береза повисла (*Betula pendula*) – 12,9% та ялина європейська (*Picea abies*) – 0,8%, які представлені меншою площею. Високий відсоток сосни звичайної може свідчити про певні особливості умов середовища на цій території, що сприяють її успішному росту та розповсюдженню.

Флора охоплює місцеві види рослин. Серед них можна відзначити дерева, кущі, трав'янисті рослини, мохи, лишайники та інші форми життя, на території лісництва зустрічається 72 видів рослин.

Звірівське лісництво є природним комплексом, багатим на рідкісні види рослин, 29 видів, що потребують особливої уваги та захисту. Важливість їх збереження полягає в підтримці біорізноманіття та збереженні екосистем лісового комплексу.

Ці рослини виявлені на обмежених територіях та відзначаються своєю рідкістю та вразливістю перед руйнівним впливом зовнішніх чинників.

На рис. 2 представлені дані у відсотковому співвідношенні Червонокнижних рослин до загальної кількості рослин в Звірівському лісництві.

Дані кругової діаграми вказують на те, що судинні рослини (*Tracheophyta*), які внесені до Червоної книги України, і є домінуючими видами, що складають 58,62%. Мохоподібні (*Bryophyta*) та водорості (*Algae*) становлять відповідно по 13,79% від загального числа, що може вказувати на умови середовища. Лишайники (*Lichenes*) та гриби (*Fungi*) також займають значні позиції, складаючи – 3,45% та 10,35%.

Всесвітньо визнана організація – Міжнародний союз охорони природи (МСОП), яка створена для збереження та охорони біорізноманіття.

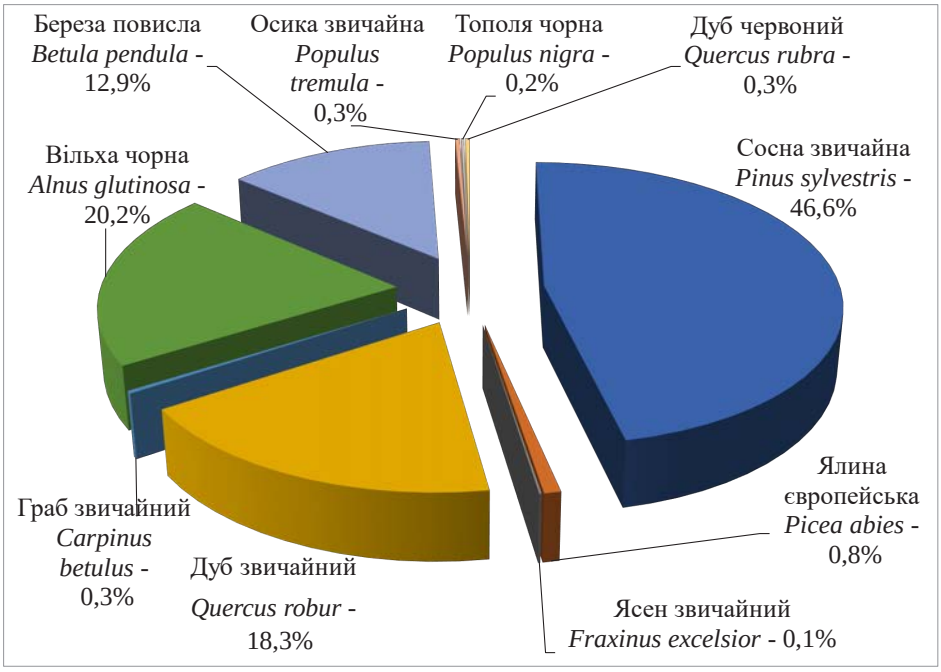

Рис. 1. Розподіл різних видів дерев на території Звірівського лісництва

У Звірівському лісництві рослин, які були б віднесені до МСОП – немає.

Фауна Волині багата на різноманіття видів. У господарстві можна зустріти представників різних груп, починаючи від найменших комах і закінчуючи великими ссавцями. На даній території зустрічається 69 видів тварин.

У Звірівському лісництві зосереджено значні зусилля на збереження біорізноманіття. Зокрема, заходи, спрямовані на раціональне лісове господарство та регулювання полювання, активно підтримуються для створення сприятливих умов для збереження та розмноження чисельності рідкісних видів тварин, всього в лісництві 30 червонокнижних видів. Тварини, які зустрічаються у Звірівському лісництві, такі як зубр європейський (*Bison bonasus*) та тхір лісовий (*Mustela putorius*), мають заборону на полювання, а також проводяться заходи з відновлення втрачених популяцій та охорони від потенційних загроз, таких як браконьєри. Серед птахів, таких як лелека чорний (*Ciconia nigra*), забезпечується ефективна охорона їхніх місць перебування та гніздування.

Співвідношення червонокнижних видів тварин до загальної кількості по видам представлено на рис. 3. Аналіз відсоткового розподілу рідкісних видів тварин, які внесені до Червоної книги, вказує на те, що птахи (*Aves)* – 40,1%, ссавці (*Mammalia)* – 20,0% та комахи (*Insecta)* – 30% є найбільш вразливими групами. У лісництві є тварини, які віднесені до списку МСОП. Це зубр європейський (*Bison bonasus*), видра річкова (*Lutra lutra*) та норка європейська (*Mustela lutreola*), які відновлюються та є об'єктом захисту міжнародними організаціями. Також представлений такий птах, як очеретянка прудка (*Acrocephalus paludicola*), яка має велике значення у біорізноманітті та екосистемі і потребують особливої уваги для збереження їхніх популяцій.

Підвищена увага до цих груп тварин обумовлена їхньою важливістю як для природних процесів, так і для підтримки рівноваги природних середовищ. Робота з охорони цих тварин та їхніх середовищ мешкання є важливим елементом сталого використання та охорони природних ресурсів.

Виконання рубок, формування та оздоровлення лісів є ключовими аспектами у збереженні та раціональному використанні лісових ресурсів. Протягом останніх років ця справа

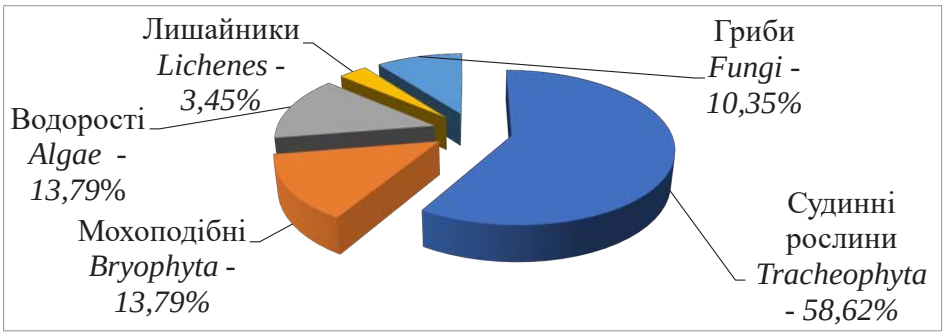

Рис. 2. Відсоткове співвідношення рослин занесених до Червоної книги

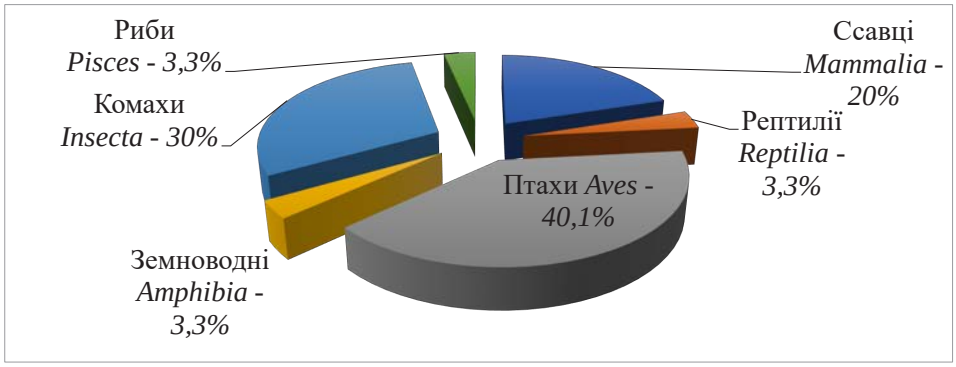

Рис. 3. Відсотковий розподіл Червонокнижних тварин

набула особливого значення у зв'язку зі зростанням екологічних проблем та потребою в сталому лісовому господарстві.

Протягом 2019-2021 рр. спостерігалося збільшення обсягів рубок, але з великою варіативністю, в залежності від типу рубок. На рис. 4 розглянемо динаміку рубок у відсотках за роками. Вибірково-санітарні рубки, хоча й збільшилися за планом, але фактично виконані показники у 2021 р. значно зменшилися порівняно з 2019 - 2020 рр. Показник відсотку виконання планових рубок у 2019 - 2020 рр. для вибірково-санітарних рубок вказує на перевиконання плану, що свідчить про ефективну роботу лісництва в останні роки. В 2021 р. відсоток виконання знизився до – 63%, у суцільно-санітарних рубок спостерігалася певна різниця у динаміці невиконання плану у 2019 році – 92%, але було компенсовано перевиконанням у 2020 р. – 111%.

Загальна тенденція показує наявність коливань у виконанні рубок за роками та відмінності у виконанні між різними типами рубок.

На рис. 5 розглянемо динаміку виконання загальної маси вибірково-санітарних та суцільно-санітарних рубок у відсотках.

Аналізуючи дані за останні три роки, можна помітити коливання в рівні виконання планів з рубки лісу. У 2019 р. виконання плану в суцільно-санітарних рубках, було дуже високим, перевищивши його на 17%. Однак у 2020 р. відсоток виконання був дещо нижчим, хоча все ж відповідав плану.

Найбільш помітна тенденція спостерігається у 2021 р. коли виконання плану з вибірково-санітарних рубок скоротилося до 63%.

На рис. 6 розглянемо дані у відсотках по виконанню фактичного обсягу ліквідації лісових масивів вибіркових та суцільно-санітарних рубок, за 2019-2021рр.

Загальний обсяг ліквідації також показує тенденцію до зниження у 2021 році, порівняно з 2019-2020 рр. Ці зміни можуть впливати на стан лісових масивів та забезпечення сталого управління лісовими ресурсами у майбутньому.

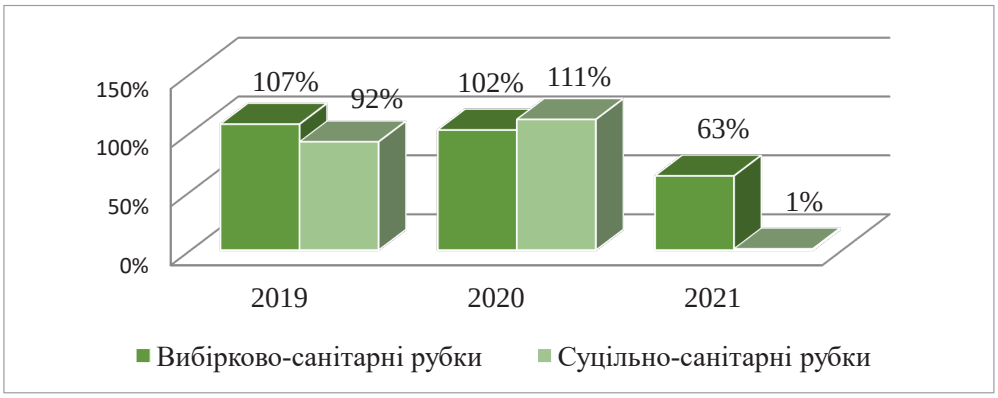

Рис. 4. Динаміка виконання обсягів рубок у (%) за 2019-2021 рр.

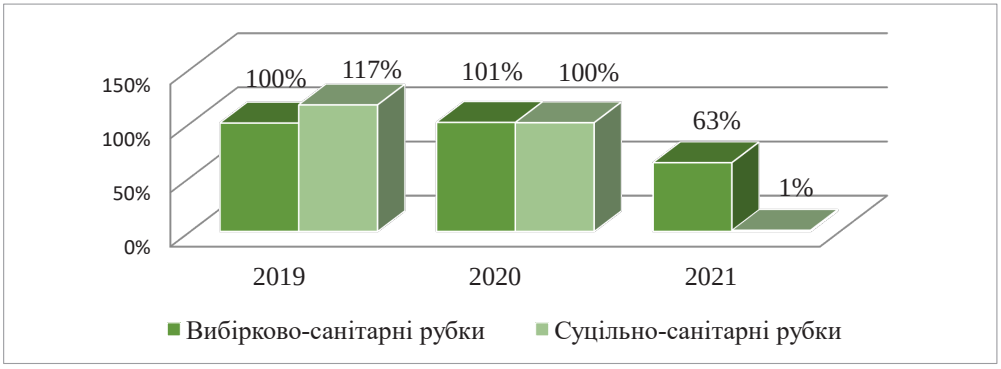

Рис. 5. Аналіз загальної маси кбм. рубок (%) за 2019-2021 рр.

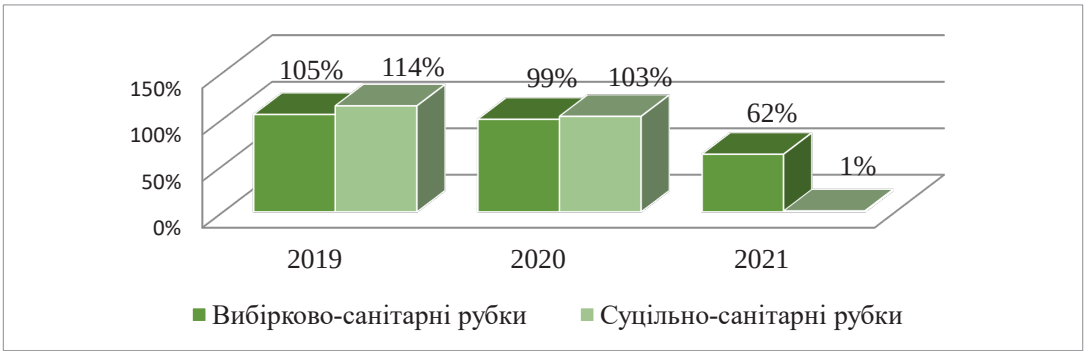

Рис. 6. Динаміка виконання ліквідації лісових масивів у (%) за 2019-2021 рр.

Загальний аналіз обсягів ліквідації лісових масивів вказує на потребу уважного моніторингу та управління лісовими ресурсами з метою забезпечення їх сталого використання та збереження для майбутніх поколінь, як заповідну зону, яка містить флору а фауну віднесену до Червоної книги України.

Врахування різноманітних факторів, таких як структура лісу, тип ґрунту, кліматичні умови та потреби місцевого населення, допомагає забезпечити ефективну та збалансовану ліквідацію лісових масивів з мінімальними негативними впливами на навколишнє середовище.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Загальна еколого-географічна характеристика Звірівського лісництва свідчить, що господарство відіграє важливу роль у збереженні біорізноманіття. Проте існує потенційний ризик порушення екосистеми та втрати біорізноманіття через неконтрольовану діяльність у лісах.

Проведене дослідження підтверджує потребу здійснення низки оптимізаційних заходів щодо збереження біорізноманіття, таких як:

1. Проводити моніторинг з урахуванням екологічних, соціальних та економічних чинників.
2. Посилення заходів контролю за проведенням рубок.
3. Розвиток програм збереження рідкісних видів.
4. Збільшення уваги до відновлення лісового покриву з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Андрієнко Т. Л., Прядко О. І. Раритетні компоненти флори судинних рослин Українського Полісся. Фіторізноманіття Українського Полісся та його охорона / за ред. Т. Л. Андрієнко. Київ: Фітосоціологічний центр, 2006. С. 89 – 122.
2. Біорізноманіття Цуманської пущі та питання його збереження / за ред. Т. Л. Андрієнко, М. Л. Клєстова. Київ, 2004. 136 с.
3. Дудкін О. В. Оцінка і напрями зменшення загроз біорізноманіття України. К.: Хімджест, 2003. 255 с.
4. Ємельянов І. Г., Загороднюк І. В., Полуда А. П. Рекомендації щодо оцінки різноманіття біосистем. Київ, 2002. 45 с.
5. Звірівське лісовмисливське господарство. *Офіційна Facebook-сторінка. Facebook.* URL: https://www.facebook.com/zvirivlis/. (дата звернення: 15.02.2024).
6. Івченко І. С. Сучасний стан охорони рідкісних та зникаючих видів дендрофлори України. *Український ботанічний журнал*. 1983. №3. С. 81–86.
7. Міжнародний союз охорони природи (IUCN Red List). URL: https://www.iucnredlist.org/species (дата звернення: 15.02.2024).
8. Природній заповідний фонд України. URL: https://wownature.in.ua/oberihaymo/pryrodno-zapovidnyy-fond/ (дата звернення: 15.02.2024).
9. Раритетні фітоценози західних регіонів України (Регіональна «Зелена книга») / за ред. Стойко С.М. Львів: «Поллі», 1998.190 с.
10. Рідкісні і зникаючі рослини Українського Полісся /В. І. Мельник та ін. К.: Фітосоціцентер, 2003. 248 с.
11. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
12. Червона книга України. Тваринний світ / за ред. І. А. Акімова. Київ.: Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.

13. Шулипа Р. І. «Екологічна характеристика біорізноманіття ДП «Звірівське лісомисливське господарство». *Матеріали XVIII Міжнародної наук. конф. (14-15 травня 2024 р.)*. Луцьк, 2024. С. 1121–1123.

REFERENCES:

1. Andriienko, T.L., Priadko, O.I. (2006). Rarytetni komponenty flory sudynnykh roslyn Ukrainckoho Polissia. [Rare components of the vascular plant flora of Ukrainian Polissya]. *Fitoriznomanittia Ukrainckoho Polissia ta yoho ohorona - Phytodiversity of Ukrainian Polissya and its protection*. T.L. Andrienko (Ed.). Kyiv: Fitosociolohichnyi tsentr [in Ukrainian].

2. Andriienko, T.L., Kliestova, M.L. (Eds.). (2004). Bioriznomanittia Tsumanskoi pushchi ta pytannia yoho zberezhennia [The biodiversity of the Tsumanska Pushcha and the issue of its conservation]. Kyiv [in Ukrainian].

3. Dudkin, O.V. Otsinka i napriamy zmenshennia zahroz bioriznomanittia Ukrainy [Assessment and ways to reduce threats to biodiversity in Ukraine]. Kyiv: Khimdzhest [in Ukrainian].

4. Yemelianov, I.H., Zahorodniuk, I.V., Poluda, A.P. (2002). Rekomendatsii shchodo otsinky riznomsnittia biosystem [Recommendations for assessing biodiversity]. Kyiv. [inUkrainian].

5. Zvirivcke lisomyslyvcke hospodarctvo. Ofitsiina Facebook-storinka. [Zvirivske Forestry and Hunting Range. Official Facebook page]. www.facebook.com/zvirivlis/ Retrieved from https://www.facebook.com/zvirivlis/ [in Ukrainian].

6. Ivchenko, I.S. (1983). Suchasnyi stan ochorony ridkisnych ta znykaiuchykh vydiv dendroflory Ukrainy [Current state of protection of rare and endangered species of dendroflora in Ukraine]. Ukrainskyi botanichnyi zhurnal - Ukrainian Botanical Journal, 3, 81-89 [in Ukrainian].

7. Mizhnarodnyi soiyz okhorony pryrody (IUCN Red List)[International Union for the Conservation of Nature (IUCN Red List)]. (n.d.). www.iucnredlist.org. Retrieved from http://www.iucnredlist.org/species [in Ukrainian].

8. Pryrodnyi zapovidnyi fond Ukrainy. [Nature Reserve Fund of Ukraine]. (n.d.). wownature.in.ua Retrieved from http://wownature.in.ua/oberihaymo/pryrodno-zapovidnyy-fond/ [in Ukrainian].

9. Stoiko, S.M. (Eds.). (1998). Rarytetni fitotsenozy zakhidnykh regioniv Ukrainy (Regionalna “Zelena knyha”) [Rare phytocoenoses of the western regions of Ukraine (Regional Green Book)]. Lviv : “Polli” [in Ukrainian].

10. Ridkisni I znykaiuchi roslyny Ukrainskoho Polissia. (2003). [Rare and endangered plants of Ukrainian Polissya]. Kyiv: Fitosotsiotsentr. [in Ukrainian].

11. Diduch, Ya.P. (Eds.). (2009). Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyi svit [The Red Book of Ukraine. Flora of Ukraine]. Kyiv: Globalkonsaltyng [in Ukrainian].

12. Akimov, I.A. (Eds.). (2009). Chervona knyha Ukrainy. Roslynnyi svit [The Red Book of Ukraine. Fauna of Ukraine]. Kyiv: Globalkonsaltyng [in Ukrainian].

13. Shulypa, R.I. (2024). Ekologichna harakterystyka bioriznomanittia DP “Zvirivske lisomyslyvske gospodarstvo” [Ecological characteristics of the biodiversity of the State Enterprise "Zvirivske Forestry and Hunting Range"]. Proceedings from MIIM `24: XVIII VI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia studentiv I aspirantiv “Moloda nauka Volyni: prioritety ta perspektyvy doslidgen” - XVIII International Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates "Young Science of Volyn: Priorities and Prospects for Research". (pp.1121-1123). Lutsk: VNU im. Lesi Ukrainky [in Ukrainian].

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ. ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

УДК 378.018.43:004.8:614.253
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-7

Михайло ДЕМЯНЧУК
доктор педагогічних наук, професор кафедри медико-профілактичних дисциплін та лабораторної діагностики, Комунальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, вул. М. Карнаухова, 53, м. Рівне, Україна, 33018
ORCID: *0000-0001-8729-5144*

Олена ГАШИНСЬКА
кандидат медичних наук, доцент кафедри медико-профілактичних дисциплін та лабораторної діагностики, Комунальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, вул. М. Карнаухова, 53, м. Рівне, Україна, 33018
ORCID: *0000-0003-1818-578X*

Олена ГОРСЬКА
старший викладач кафедри медико-профілактичних дисциплін та лабораторної діагностики, завідувач відділення післядипломної освіти молодших медичних та фармацевтичних спеціалістів, Комунальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, вул. М. Карнаухова, 53, м. Рівне, Україна, 33018
ORCID: *0000-0003-2190-4589*

Бібліографічний опис статті: Демянчук, М., Гашинська, О., Горська, О. (2024). Потенціал штучного інтелекту в підготовці майбутніх фахівців сестринської справи. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 2, 55–62, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-7

ПОТЕНЦІАЛ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ СЕСТРИНСЬКОЇ СПРАВИ

Інформаційно-комунікаційні освітні технології відкривають нові можливості для розвитку пізнавальних здібностей студентів медичних академій, пам'яті, мислення, уяви, активізації їх творчої ініціативи. Використання штучного інтелекту у професійній підготовці майбутніх фахівців сестринської справи дозволяє студентам швидше та ефективніше засвоювати комунікативні, організаційні, управлінські навички, що стає все більш важливим в умовах глобалізації та міжнародної комунікації. Аналіз численних зарубіжних та вітчизняних досліджень у галузі навчальної аналітики дозволив виділити такі цільові напрями його використання у підготовці майбутніх фахівців сестринської справи: прогнозування поведінки/активності студентів у процесі навчання; проектування та розробка нових моделей та способів презентування знань у предметній галузі; дослідження взаємодії «викладач – студент» та/або «середовище навчання – студент»; вивчення самого феномена навчання та психології студентів – майбутніх фахівців сестринської справи. Вагомий потенціал мають технології штучного інтелекту в персоналізації навчання майбутніх фахівців сестринської справи. Значущою перевагою технологій штучного інтелекту в підготовці майбутніх фахівців сестринської справи є оцінювання стану сформованості компетентностей студентів.

Використання штучного інтелекту, зокрема алгоритмів обробки природної мови, дозволяє автоматизувати аналіз та оцінку робіт студентів. Оцінювання великої кількості навчальних завдань, тестів, есе може бути рутинним завданням для викладачів. Подібні системи оцінювання включають модуль аналітики, за допомогою якого можна отримати необхідні дані про процес навчання і виявити найбільш складні для студентів теми і розглянути їх повторно.

До найважливіших переваг технологій штучного інтелекту у професійній підготовці майбутніх фахівців сестринської справи доцільно віднести, зокрема: можливість організації персоналізованого навчання, забезпечення миттєвого зворотного зв'язку та доступ до великого обсягу даних. Водночас, виокремлено й недоліки цієї інновації: необхідність адаптації систем штучного інтелекту до специфіки медичної сфери та розвиток систем для формування складних умінь та навичок, а також виховання особистісних якостей майбутніх фахівців

сестринської справи, таких як емпатія. Нині існує необхідність у забезпеченні співпраці між фахівцями у галузі освіти та розробниками технологій штучного інтелекту для більш ефективного використання штучного інтелекту у сфері освіти.

Ключові слова: *медична освіта, штучний інтелект, цифровізація, цифрові технології, студенти, інновації, майбутні фахівці медсестринства.*

Mykhailo DEMIANCHUK
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Medical Prevention Disciplines and Laboratory Diagnostics, Municipal Institution of Higher Education «Rivne Medical Academy» of the Rivne Regional Council, 53 M. Karnaukhov str., Rivne, Ukraine, 33018
ORCID: *0000-0001-8729-5144*

Olena GASHYNSKA
Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Medical Prevention Disciplines and Laboratory Diagnostics, Municipal Institution of Higher Education «Rivne Medical Academy» of the Rivne Regional Council, 53 M. Karnaukhov str., Rivne, Ukraine, 33018
ORCID: *0000-0003-1818-578x*

Olena GORSKA
Senior lecturer of the Department of Medical Prevention Disciplines and Laboratory Diagnostics, head of the department of postgraduate education of junior medical and pharmaceutical specialists, Municipal Institution of Higher Education «Rivne Medical Academy» of the Rivne Regional Council, 53 M. Karnaukhov str., Rivne, Ukraine, 33018
ORCID: *0000-0003-2190-4589*

To cite this article: Demianchuk, M., Gashynska O., Gorska O. (2024). Potentsial shtuchnoho intelektu v pidhotovtsi maibutnikh fakhivtsiv sestrynskoi spravy [The Potential of Artificial Intelligence in Training Future Nursing Professionals]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development,* 2, 55–62, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-7

THE POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TRAINING FUTURE NURSING PROFESSIONALS

Information and communication educational technologies open new opportunities for the development of cognitive abilities in medical academy students, enhancing memory, thinking, imagination, and stimulating their creative initiative. The use of artificial intelligence in the professional training of future nursing specialists enables students to acquire communicative, organizational, and managerial skills more quickly and effectively, which is becoming increasingly important in the context of globalization and international communication. An analysis of numerous foreign and domestic studies in the field of learning analytics has identified the following key directions for its use in the training of future nursing specialists: predicting student behavior/activity during the learning process; designing and developing new models and methods for presenting knowledge in the subject area; researching the interaction between "teacher – student" and/or "learning environment – student"; studying the phenomenon of learning itself and the psychology of students who are future nursing specialists. Artificial intelligence technologies have significant potential in personalizing the education of future nursing specialists. A notable advantage of artificial intelligence technologies in the training of future nursing specialists is the assessment of students' competency development.

The use of artificial intelligence, particularly natural language processing algorithms, allows for the automation of the analysis and evaluation of student work. Such assessment systems include an analytics module, through which necessary data about the learning process can be obtained, identifying the most challenging topics for students and reviewing them as needed.

The most important advantages of artificial intelligence technologies in the professional training of future nursing specialists include, but are not limited to, the possibility of organizing personalized learning, providing instant feedback, and accessing large volumes of data. However, there are also disadvantages of this innovation: the need to adapt artificial intelligence systems to the specifics of the medical field, developing systems to form complex skills and abilities, as well as fostering personal qualities in future nursing specialists, such as empathy. There is currently a need to ensure collaboration between education specialists and artificial intelligence technology developers for more effective use of artificial intelligence in the field of education.

Key words: *medical education, artificial intelligence, digitalization, digital technologies, students, innovation, future nursing professionals.*

Актуальність проблеми. В останні роки застосування штучного інтелекту (ШІ) стало невід'ємною частиною різних галузей життєдіяльності сучасного суспільства. У медичній сфері ШІ вже демонструє свій потенціал у діагностиці, лікуванні та управлінні охороною здоров'я (Іващук, Іващук, 2021). Однак можливості штучного інтелекту сягають далеко за межі медицини, і одна з областей, яка може отримати значні переваги від використання ШІ, – це навчання майбутніх фахівців сестринської справи та їх професійна підготовка у медичних академіях.

Інформатизація та технологізація сучасного світу відбувається швидко та стрімко (Яворська, Пономарюк, 2012). Пандемія коронавірусу прискорила масовий перехід до використання цифрових технологій в освіті. У нашій країні у багатьох ЗВО застосовується штучний інтелект. Дивно, але зараз «інформаційні комунікаційні технології» вже сприймаються як не додаткові, а альтернативні і, в деяких випадках, – справедливо підкреслює Н. Юхно, – практично безальтернативні засоби навчання майбутнього медичного персоналу (Юхно, 2019).

В останні роки активно проводяться дослідження, метою яких є вивчення ефективності та потенціалу застосування ШІ в освітньому процесі: розробляються питання цифрової дидактики; вивчаються особливості формування цифрового освітнього середовища та педагогічний моніторинг в освітній організації вищої освіти; на базі нейромережевих рішень розробляються система тестування професійних компетентностей (Chemouil, Hui, Kellerer, Li, Zhang, 2019); розглядаються можливості застосування ШІ у системах підтримки прийняття рішень (Fazal, Azhar, Ali, Iqbal, Masood Khattak, 2019); оцінюється досвід формування професійної ідентичності студентів у цифровому освітньому середовищі (Rana Khudhair Abbas, 2016); визначаються перспективи цифрової трансформації у вищій освіті (Prevedello, Erdal, Ryu, Little, Demirer, Qian, White, 2017). Безперечно, інформаційно-комунікаційні освітні технології «відкривають нові можливості для розвитку пізнавальних здібностей студентів медичних академій, пам'яті, мислення, уяви, активізації їх творчої ініціативи» (Ястремська, 2018, с. 99).

Використання штучного інтелекту у професійній підготовці майбутніх фахівців сестринської справи дозволяє студентам швидше та ефективніше засвоювати комунікативні, організаційні, управлінські навички, що стає все більш важливим в умовах глобалізації та міжнародної комунікації. У цифровій освіті відбувається активна професійно орієнтована навчальна комунікація, спрямована на формування професійних якостей майбутніх фахівців сестринської справи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема професійної підготовки майбутніх фахівців сестринської справи перебуває в полі зору сучасних дослідників (Г. Яворська) й розглядається під призмою урахування реформ медсестринської освіти (Д. Юречко). Ключовим аспектом дослідження окресленого питання є технологізація процесу навчання студентів цієї спеціальності. Зокрема мова йде про використання сучасних (Г. Олеськова) педагогічних технологій у процесі підготовки коледжами медичних сестер (О. Маркович). Разом з тим, технологічний прогрес в усіх галузях спрямовує наукову спільноту до пошуку шляхів розвитку інформаційно-аналітичної й інформаційно-цифрової (Н. Юхно) компетентності майбутнього медичного персоналу у освітньому середовищі закладів медичної освіти (Н. Лобач) шляхом застосування технологій кооперативного навчання (Г. Паласюк), засобів дистанційної освіти (С. Ястремська) й комп'ютерних технологій (В. Славопас). Однак проблема підготовки майбутніх фахівців сестринської справи в умовах застосування технологій штучного інтлетекту не знайшла належного відображення в сучасних наукових доробках провідних дослідників.

Мета статті полягає в розгляді питання актуальності застосування технологій штучного інтелекту в підготовці майбутніх фахівців сестринської справи.

Методи дослідження – теоретичний аналіз наукової літератури з проблеми дослідження для відбору й осмислення дидактичного матеріалу; критично-аналітичний аналіз концепцій, теорій та методик, з метою виявлення шляхів розв'язання досліджуваної проблеми.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день у сфері освіти спостерігається посилення тренду до інтеграції передових технологій з метою підвищення ефективності освітнього процесу. Тому цілком природно, що

технології штучного інтелекту почали активно застосовуватись і в освіті. Освіта із застосуванням нейронних мереж приносить зовсім інший досвід для кожної людини. Основними аспектами використання штучного інтелекту в освіті є автоматизація навчання, індивідуалізований підхід до освітнього процесу, аналіз даних для надання зворотного зв'язку і створення інтелектуальних освітніх середовищ.

Перші кроки з інтеграції технологій штучного інтелекту в навчання були зроблені ще в 1960-х роках на початку ери комп'ютерів і пов'язані зі створенням програм, що навчають основ програмування, здатних надавати студентам завдання та перевіряти відповіді на них (Ястремська, 2018). У 1980-1990-ті роки в освіті стали використовуватися експертні системи, що являють собою програмні комплекси, які застосовують бази знань для підтримки прийняття рішень в окремих предметних галузях. Експертні системи могли проводити автоматизовану діагностику рівня знань студентів, які виявляли прогалини в розумінні матеріалу і надавали посилання на освітні ресурси для їх усунення, а викладачам – інформацію про труднощі, що виникли в навчанні. Аналізуючи інформацію про інтереси та навички студента, експертна система могла допомогти з вибором відповідних курсів навчання або професії.

З розвитком методів машинного навчання у 1990-х роках почали з'являтися системи адаптивного навчання, які були здатні оцінювати рівень знань студентів та на основі подальшого аналізу пропонувати індивідуалізовані навчальні матеріали та завдання відповідно до їхніх потреб. З розвитком алгоритмів глибокого навчання та появою потужніших обчислювальних ресурсів у 2010-х роках нейронні мережі дозволили ще точніше адаптувати навчання під унікальні характеристики кожного студента. Сучасний етап інтеграції штучного інтелекту в навчання багато в чому пов'язаний з використанням генеративних мовних моделей, що надають нові унікальні можливості для створення освітнього контенту. Розглянемо далі основні сфери застосування штучного інтелекту в сучасному освітньому процесі у професійній підготовці майбутніх фахівців сестринської справи.

Сучасне цифрове суспільство характеризується повсюдним впровадженням цифрових наскрізних технологій, що надають трансформуючий вплив у всіх сферах життєдіяльності людини, у тому числі в галузі освіти. Системи, засновані на технологіях штучного інтелекту, дозволяють вирішувати складні завдання, знаходити неочевидні для людини закономірності даних, самостійно приймати рішення. Документи стратегічного планування у сфері штучного інтелекту встановлюють такі цілі його розвитку як: забезпечення зростання якості життя населення та національної безпеки країни, досягнення сталої конкурентоспроможності економіки.

Сьогодні штучний інтелект від ChatGPT до інтелектуальних транспортних засобів – це одна із найсуперечливіших технологічних тенденцій XXI століття. Згідно з міжнародними дослідженнями Fortune Business Insights, середньорічний темп зростання ринку штучного інтелекту з 2020 по 2027 рік складе 33,2 %. Очікується, що глобальне впровадження технології організаціями збільшуватиметься в середньому на 38,1 % у період із 2022 по 2030 роки. Штучний інтелект (ШІ, англ. *artificial intelligence*) – це:

– здатність інтелектуальних систем та алгоритмів здійснювати творчі функції, що традиційно виконуються людиною;

– комплекс технологічних рішень, що дозволяє імітувати когнітивні функції людини (включаючи самонавчання та пошук рішень без заздалегідь заданого алгоритму) та отримувати, при виконанні конкретних завдань, результати, які можна порівняти як мінімум з результатами інтелектуальної діяльності людини.

Сьогодні можна говорити про настання ери управління великими даними на основі технологій штучного інтелекту у різних професійних галузях. При цьому навіть у такій фундаментальній сфері освіти великі дані змінюють ситуацію. Наприклад, в досвіді США щодо підготовки майбутніх фахівців сестринської справи спостерігається активне використання прогнозної аналітики для створення ефективних моделей навчання. Така практика є глобальною, тому популяризує окремі системи штучного інтелекту.

Наприклад, мовна модель під назвою ChatGPT, яка може генерувати вихідний текст – частину бренду штучного інтелекту, викликала шквал паніки та хвилювання. Критики засудили цю технологію, стверджуючи, що вона

дозволить студентам легко обманювати, а отже, підірве вищу освіту (Ільницька, 2023). Однак, вважаємо, що технології ШІ у підготовці майбутніх фахівців сестринської справи призведуть до переоцінки навчання та викладання у практиці вищої школи. За допомогою ChatGPT та інших інструментів штучного інтелекту медичним академіям необхідно адаптуватися та вводити нововведення, щоб впоратися з викликами глобалізації та тенденціями оновлення освіти.

Аналіз численних зарубіжних та вітчизняних досліджень у галузі навчальної аналітики дозволив виділити такі цільові напрями його використання у підготовці майбутніх фахівців сестринської справи:

1) прогнозування поведінки/активності студентів у процесі навчання: на основі моделі студента, що включає інформацію про його особистісні характеристики, освітні результати, процес проходження навчання, проводиться зіставлення з моделями поведінки кластерів попередніх студентів та передбачається його поведінка та підсумковий освітній результат;

2) проектування та розробка нових моделей та способів презентування знань у предметній галузі: тут йдеться про адаптивність навчального контенту. Тобто після аналізу даних пропонується індивідуальна форма подачі навчального матеріалу залежно від стилю навчання студента, його рівня компетентності тощо;

3) дослідження взаємодії «викладач – студент» та/або «середовище навчання – студент»: на основі стильових характеристик студента та викладача або стильових характеристик студента та стилю викладу навчального контенту в електронному навчальному середовищі пропонуються рекомендації щодо побудови ефективного каналу взаємодії між суб'єктами навчання або між здобувачами та середовищем;

4) вивчення самого феномена навчання та психології студентів – майбутніх фахівців сестринської справи: на основі аналізу освітніх даних та індивідуальних характеристик здобувачів пропонуються рекомендації для підвищення успішності навчання.

Вагомий потенціал мають технології ШІ в персоналізації навчання майбутніх фахівців сестринської справи. Персоналізація навчання визначається як одна з значних пріоритетних якостей, що забезпечує індивідуальну траєкторію в середовищі навчання та творчості студентів, їх соціальне та професійне самовизначення, реалізацію особистих життєвих задумів і домагань. Дослідження в галузі персоналізації навчання спрямовані на управління навчальним матеріалом та процесом, адаптованим під конкретного студента.

Алгоритми в персоналізованих системах можуть приймати рішення в залежності від вхідних даних, такі системи створюються з метою оптимізації освітнього процесу та вироблення рекомендацій для конкретного студента шляхом збирання та обробки освітніх даних про нього. Технології ШІ дозволяють відстежувати прогрес кожного студента та коригувати під нього середовище навчання та навчальні курси, враховуючи досвід та переваги здобувача (Zhiyenbayeva, 2022). До складнощів, які можуть виникнути під час створення персоналізованих систем, можна віднести проектування та розробку різноманітного освітнього контенту. Навчальний матеріал у таких системах повинен підбиратися з урахуванням вимог та особливостей сприйняття інформації різними студентами, а також враховувати освітню траєкторію, тому слід звертати увагу не лише на саму інформацію, а й на способи її подання, складність та обсяг навчального матеріалу.

Ще однією значущою перевагою технологій ШІ в підготовці майбутніх фахівців сестринської справи є оцінювання стану сформованості компетентностей студентів

Використання штучного інтелекту, зокрема алгоритмів обробки природної мови, дозволяє автоматизувати аналіз та оцінку робіт студентів. Оцінювання великої кількості навчальних завдань, тестів, есе може бути рутинним завданням для викладачів. Подібні системи оцінювання включають модуль аналітики, за допомогою якого можна отримати необхідні дані про процес навчання і виявити найбільш складні для студентів теми і розглянути їх повторно.

Одним із прикладів використання штучного інтелекту в оцінці письмових завдань є Copyleaks AI Gradin2 – інструмент, який обробляє великі обсяги документів на багатьох мовах і надає точну оцінку. Ресурс дозволяє швидко та якісно оцінити твори, диктанти, есе та тести з багатьох предметів.

Останнім часом при оцінюванні компетентностей студентів у рамках онлайн-навчання стали затребуваними системи прокторингу на

основі технологій штучного інтелекту. Подібні системи здатні здійснювати аналіз поведінки студента, який складає іспит дистанційно, без участі проктора за допомогою наступних показників: частота відведення погляду від монітора, спроба зміни вкладки в браузері, наявність сторонніх осіб на зображенні камери, чутність сторонніх голосів тощо.

Тобто до найважливіших переваг технологій штучного інтелекту у професійній підготовці майбутніх фахівців сестринської справи доцільно віднести, зокрема: можливість організації персоналізованого навчання, забезпечення миттєвого зворотного зв'язку та доступ до великого обсягу даних. Водночас, варто вказати й на недоліки цієї інновації. Наприклад йдеться про: необхідність адаптації систем штучного інтелекту до специфіки медичної сфери та розвиток систем для формування складних умінь та навичок, а також виховання особистісних якостей майбутніх фахівців сестринської справи, таких як емпатія. Нині існує необхідність у забезпеченні співпраці між фахівцями у галузі освіти та розробниками технологій штучного інтелекту для більш ефективного використання штучного інтелекту у сфері освіти.

В даний час комп'ютеризовані навчальні комплекси та класи з підтримкою технологій ШІ розробляються низкою виробничих та освітніх закладів. Широке застосування у представлених на ринок та перспективних продуктах знаходять мультимедійні та інтерактивні системи. Лідерами серед компаній-розробників програмного забезпечення з технологіями ШІ є:

1. Nuance Communications (Барлінгтон, шт. Массачусетс, США). Алгоритми розпізнавання мови (до 160 слів за хвилину) та зображень, які, в тому числі, використовуються у сервісі Siri для телефонів компанії Apple. Слід зазначити, що компанія активно співпрацює із МО США.

2. Knewton (Нью-Йорк, США). Платформа для адаптивного навчання Alta, яка передбачає можливість побудови індивідуальної траєкторії розвитку студента з метою виявлення сильних та слабких сторін. Крім того, компанія створила навчальні програми для ЗВО у галузях фундаментальних наук.

3. Cognii (Сан-Франциско, шт. Каліфорнія, США). Технологія віртуальних наставників, яка поєднує у собі можливості розпізнавання мови, виконання завдань у форматі есе з функцією індивідуального зворотного зв'язку для більшого залучення студентів до процесу навчання.

4. Техаський університет (Остін, шт. Техас, США). Програмний продукт Querium, який сприяє кращому розумінню знань у концепції STEM (Science Technology Engineering Mathematics) освіти – це система, побудована на композиційному об'єднанні природничо-наукової та інженерної баз знань, надаючи навчальним індивідуальні та ефективні заняття в електронному форматі (адаптивний підхід). Querium видає рекомендації викладачеві щодо кожного студента та його рівня знань у тій чи іншій галузі.

5. Century (Лондон, Великобританія). Платформа проводить аналіз даних з когнітивним підходом для створення індивідуальних планів навчання студентів та зменшення робочого навантаження для викладачів. Крім того, передбачена видача рекомендацій із функцією зворотного зв'язку. Панель управління Century дозволяє відстежувати успішність як одного студента, так і всієї групи (потоку).

6. Third Space Learning (Лондон, Великобританія). Система спрямована на виконання консультативних функцій в режимі інтерактивного діалогу з викладачем, метою чого є підвищення кваліфікації професорсько-викладацького складу. Платформа дозволяє виділити критерії навчання з урахуванням аналізу бази даних матеріалів раніше проведених занять.

7. Netex Learning (Ла-Корунь, Іспанія). Система надає викладачам можливість розробки та інтеграції навчальних програм на різних пристроях та телекомунікаційних платформах, що забезпечують проведення відеоконференцій, обмін повідомленнями різних форматів мультимедіа, персоналізацію навчального матеріалу та візуалізацію підвищення компетенції учнів.

8.Carnegi Lerning (Піттсбург, шт. Пенсільванія, США). Програмне середовище, побудоване на комплексуванні технологій ШІ та апарату когнітивних досліджень, що розширює можливості персоналізації освітнього процесу. Функціонування системи під час освітньої діяльності передбачається як реального часу.

9. ALEX – Assessment and Learning in Knowledge Spaces (Ірвін, шт. Каліфорнія, США). Освітня платформа з адаптивною технологією дозволяє виявляти рівень підготовленості у конкретний момент часу. В результаті розробляється

індивідуальна траєкторія навчання і перехід до нової теми відбувається після успішного освоєння пройденого матеріалу.

10. Brainly (Краків, Польща). Соціальна мережа, орієнтована на інформаційну взаємодію студентів, в якій модуль ШІ функціонує в системі управління контентом та інформаційного захисту.

Висновки. Процес впровадження технологій штучного інтелекту в професійну підготовку майбутніх фахівців сестринської справи пов'язаний як з позитивними, так і з негативними моментами. Проте точку неповернення вже пройдено, і цей процес уже не зупинити. Найважливішим питанням, яке постало перед дослідниками на сучасному етапі застосування технологій штучного інтелекту в освіті, є визначення того, що в діяльності педагога може бути автоматизовано і передано штучному інтелекту, а що вимагатиме зусиль людини. У світлі цього стає очевидна важливість розробки гібридних моделей, що поєднують інтелектуальні можливості людини і машини, встановлення чітких норм використання штучного інтелекту у вищій освіті, і навіть розробка алгоритмів, здатних більш точно розпізнавати емоційний стан студентів медичних академій. Ці заходи дозволять мінімізувати негативні аспекти застосування технологій штучного інтелекту у навчанні, не знижуючи їх ефективності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Іващук О., Іващук Д. Використання медичних інформаційних систем у фаховій підготовці майбутніх лікарів. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота»*, 2021. (1(48). 166–169. https://doi.org/10.24144/2524-0609.2021.48.166-169
2. Ільницька Т. С. Дослідження ефективності підготовки майбутніх медсестер до професійної діяльності в умовах цифровізації медичних коледжів. (2023). *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 2023. 69. 35–42. https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-69-35-42
3. Юхно Н. Обґрунтування дидактичних умов формування інформаційно-цифрової компетентності студентів медичного коледжу. *Наукові записки кафедри педагогіки*, 2019. 1 (44). 315–322.
4. Яворська Г. Х., Пономарюк Л. П. Професійна підготовка молодших медичних спеціалістів як педагогічна проблема. *Наука і освіта. Сер.: Педагогіка*. 2012. 1. 87–89.
5. Ястремська С. О. Теорія і методика професійної підготовки майбутніх магістрів сестринської справи у вищих медичних навчальних закладах засобами дистанційного навчання: дис. … доктора пед.. наук: 13.00.04 / Хмельницька гум.-пед. акад. Хмельницький, 2018. 358.
6. Chemouil P., Hui P., Kellerer W., Li Y., Zhang Y. Special issue on artificial intelligence and machine learning for networking and communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2019. 37 (6). 1185–1191. DOI: https://doi.org/0.1109/JSAC.2019.2909076
7. Fazal, Aman, Azhar, Rauf, Rahman, Ali, Farkhund, Iqbal, Asad, Masood Khattak. A Predictive Model for Predicting Students Academic Performance. *Proceedings of the 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA).* 2019. DOI: https://doi.org/10.1109/IISA.2019.8900760
8. Prevedello L. M., Erdal B. S., Ryu J. L., Little K. J., Demirer M., Qian S., White. Automated critical test findings identification and online notification system using artificial intelligence in imaging. *Radiology*. 2017. 285 (3). 162664. 923–931. DOI: https://doi.org/10.1148/radiol.2017162664
9. Rana Khudhair Abbas, Ahmed. Artificial Neural Networks in E-Learning Personalization: A Review. *International Journal of Intelligent Information Systems*. 2016. 5 (6). 104–108. DOI: https://doi.org/10.11648/j.ijiis.20160506.14
10. Zhiyenbayeva N. Artificial Intelligence in Education: AIEd for Personalised Learning Pathways. Electronic Journal of e-Learning. 2022. 20 (5). 639–653.

REFERENCES:

1. Ivashchuk, O., Ivashchuk D. (2021). Vykorystannia medychnykh informatsiinykh system u fakhovii pidhotovtsi maibutnikh likariv [The Use of Medical Information Systems in the Professional Training of Future Doctors]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu . Seriia: «Pedahohika. Sotsialna robota» – Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series: "Pedagogy. Social Work"*, (1(48), 166–169. https://doi.org/10.24144/2524-0609.2021.48.166-169 [in Ukrainian].
2. Ilnytska, T. S. (2023). Doslidzhennia efektyvnosti pidhotovky maibutnikh medsester do profesiinoi diialnosti v umovakh tsyfrovizatsii medychnykh koledzhiv [Research on the Effectiveness of Training Future Nurses for Professional Activities in the Conditions of Digitalization of Medical Colleges]. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems – Modern Information*

Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems, 69, 35–42. https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-69-35-42 [in Ukrainian].

3. Yukhno, N. (2019). Obgruntuvannia dydaktychykh umov formuvannia informatsiino-tsyfrovoyi kompetentnosti studentiv medychnoho koledzhu [Justification of Didactic Conditions for the Formation of Information and Digital Competence of Medical College Students]. *Naukovyi zapysky kafedry pedahohiky – Scientific Notes of the Department of Pedagogy*, 1 (44), 315–322. [in Ukrainian].

4. Yavorska, H. Kh., Ponomariuk, L. P. (2012). Profesiina pidhotovka molodshykh medychnykh spetsialistiv yak pedahohichna problema [Professional Training of Junior Medical Specialists as a Pedagogical Problem]. *Nauka i osvita. Ser.: Pedahohika – Science and Education. Series: Pedagogy*, 1, 87–89. [in Ukrainian].

5. Yastremska, S. O. (2018). Teoriia i metodyka profesiinoi pidhotovky maibutnikh mahistriv sestrynskoyi spravy u vyshchykh medychnykh navchalnykh zakladakh zasobamy dystantsiinoho navchannia [Theory and Methodology of Professional Training of Future Masters of Nursing in Higher Medical Educational Institutions by Means of Distance Learning]: dys. … doktora ped.. nauk: 13.00.04 / Khmelnytska hum.-ped. akad. Khmelnytskyi, 358. [in Ukrainian].

6. Chemouil, P., Hui, P., Kellerer, W., Li, Y., Zhang, Y. (2019). Special issue on artificial intelligence and machine learning for networking and communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 37 (6), 1185–1191. DOI: https://doi.org/0.1109/JSAC.2019.2909076

7. Fazal, Aman, Azhar, Rauf, Rahman, Ali, Farkhund, Iqbal, Asad, Masood Khattak (2019). A Predictive Model for Predicting Students Academic Performance. *Proceedings of the 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA).* 2019. DOI: https://doi.org/10.1109/IISA.2019.8900760

8. Prevedello, L. M., Erdal, B. S., Ryu, J. L., Little, K. J., Demirer, M., Qian, S., White, (2017). Automated critical test findings identification and online notification system using artificial intelligence in imaging. *Radiology*, 285 (3), 162664, 923–931. DOI: https://doi.org/10.1148/radiol.2017162664

9. Rana Khudhair Abbas, Ahmed (2016). Artificial Neural Networks in E-Learning Personalization: A Review. *International Journal of Intelligent Information Systems*, 5, (6), 104–108. DOI: https://doi.org/10.11648/j.ijiis.20160506.14

10. Zhiyenbayeva, N. (2022). Artificial Intelligence in Education: AIEd for Personalised Learning Pathways. Electronic Journal of e-Learning, 20 (5), 639–653.

УДК 378.14:355/359(477)
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-8

Володимир РОДІКОВ
полковник, кандидат педагогічних наук, начальник 143 Об'єднаного навчально-тренувального центру «ПОДІЛЛЯ» Сил підтримки Збройних Сил України, просп. Грушевського, 50, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область, Україна, 32302
***ORCID**: 0009-0006-8683-359X*

Бібліографічний опис статті: Родіков, В. (2024). Методологічні підходи та закономірності підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 2, 63–70, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-8

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

У статті визначено концептуальну основу науково-методичної педагогічної системи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану. Підготовку майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності розглянуто як цілеспрямований процес освоєння військово-спеціальних знань, навичок, умінь та розвиток організаційно-вольових якостей, що дають змогу успішно виконувати обов'язки в межах здобутої військово-облікової спеціальності. Розкрито сутність загальнонаукових методологічних підходів, філософських принципів та специфічних закономірностей побудови педагогічної системи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану. Обґрунтовано єдину методологічну систему, яка охоплює системний, компетентнісний, практико зорієнтований та особистісно зорієнтований методологічні підходи, та зорієнтовується на визначення цілей підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності і механізмів їхнього досягнення. Відображено специфічні закономірності, що зумовлюють взаємозалежність між цілями військової освіти та підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану; змістом цієї підготовки та результатами розвитку військової науки та воєнної техніки з їхньою проєкцією в військову науку та практику; мотивацією курсантів до активної навчально-пізнавальної діяльності та відповідністю підготовки майбутніх фахівців інженерних військ вимогам реальної службово-бойової діяльності; науково-обґрунтованою організацією та реалізацією підготовки майбутніх військових фахівців в умовах воєнного стану та сформованістю готовності майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності.

Обґрунтовано, що розроблена методологічна основа дає змогу ґрунтовніше розглянути сутність педагогічної системи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану та в подальшому обґрунтувати та розробити модель досліджуваного процесу із знаходженням шляхів її подальшої реалізації.

***Ключові слова:** методологія, методологічний підхід, система, підготовка, військова освіта, майбутні фахівці інженерних військ, готовність до військово-професійної діяльності.*

Volodymyr RODIKOV
Colonel, Candidate of Pedagogic Sciences, Chief of the 143rd Joint Training Center "PODILLYA" of the Support Forces of the Armed Forces of Ukraine, 50 Hrushevskyi ave., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytsk region, Ukraine, 32302
***ORCID**: 0009-0006-8683-359X*

To cite this article: Rodikov, V. (2024). Metodolodhichni pidkhody ta zakonomirnosti pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv inzhenernykh viisk do profesiinoi diialnosti v umovakh voiennoho stanu [Methodological approaches and patterns of training future engineering troops specialists for professional activity under martial law conditions]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 63–70, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-2-8

METHODOLOGICAL APPROACHES AND PATTERNS OF TRAINING FUTURE ENGINEERING TROOPS SPECIALISTS FOR PROFESSIONAL ACTIVITY UNDER MARTIAL LAW CONDITIONS

The article defines the conceptual basis of the scientific-methodological pedagogical system for training future specialists of engineering troops for professional activities under martial law conditions. The training of future specialists of engineering troops for professional activities is considered a purposeful process of mastering military-special knowledge and skills and developing organisational and volitional qualities, which enable them to fulfil their duties within the acquired military-accounting speciality successfully. The essence of general scientific methodological approaches, philosophical principles, and specific patterns of constructing a pedagogical system for training future specialists of engineering troops for professional activities under martial law conditions is revealed. A unified methodological system is justified, encompassing systemic, competency-based, practice-oriented, and personality-oriented methodological approaches. It is aimed at defining the goals of training future specialists of engineering troops for professional activities and the mechanisms for achieving them. The specific patterns that determine the interdependence between the goals of military education and the training of future specialists of engineering troops under martial law conditions, the content of this training, and the results of the development of military science and military technology with their projection into military science and practice; the motivation of cadets for active educational and cognitive activities and the correspondence of the training of future specialists of engineering troops to the requirements of real service and combat activities; scientifically grounded organisation and implementation of training future military specialists under martial law conditions, and the formation of readiness of future specialists of engineering troops for professional activities are depicted.

It is substantiated that the developed methodological basis allows for a more thorough consideration of the essence of the pedagogical system for training future specialists of engineering troops for professional activities under martial law conditions and, subsequently, to justify and develop a model of the researched process with the identification of ways for its further implementation.

***Key words:** methodology, methodological approach, system, training, military education, future specialists of engineering troops, readiness for military and professional activity.*

Постановка проблеми. В умовах повномасштабної російсько-української війни якість військової підготовки мобілізованих та військовослужбовців як певна збалансована відповідність потребам держави, Збройних Сил України (ЗСУ), вищої військової школи, офіцерів запасу за професіями та військово-обліковими спеціальностями, є актуальною проблемою та потребує постійного зіставлення проміжних результатів з вихідними позиціями, із застосовуваною методологією, уточнення та корекція мети та методології розвитку. Також в умовах воєнного стану виникають нові тенденції у розвитку засобів та способів збройної боротьби, які значною мірою засновані на сучасних технологіях та техніці. Це зумовлює необхідність розвитку такої системи підготовки військових фахівців, яка б не лише встигала за життям військ, а й з урахуванням перспективи забезпечувала їхню належну професійну мобільність (Полторак, 2018, с. 6).

Поліпарадигмальність сучасної військової освіти зумовлена безліччю методологічних підходів, які розробляються й обґрунтовуються в педагогічній теорії і практиці. Вибір методологічних основ дослідження, наукових підходів – один із важливих етапів його організації, що забезпечує переконливість логіки та результатів педагогічного експерименту, спрямованого на перевірку висунутої гіпотези. Визнаючи нормуючу роль підходу в організації дослідження (Зорій, 2018), зокрема, у галузі

військової педагогіки, важливо уточнити, чим визначається його вибір.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальність дослідження підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану підтверджується зростанням кількості досліджень, присвячених цій темі. Так, науковці розглядають загальні питання модернізації військової освіти (О. Васильєв; А. Галімов, М. Маслій; Ю. Приходько та ін.); моделювання процесу формування професійної компетентності та готовності до військово-професійної діяльності (О. Бондаренко, Є. Брижатий, Є. Денисенко, А. Івченко, І. Ковальов, О. Корнієнко, П. Хоменко та ін.); використання інноваційних технологій у військовій освіті та підготовці курсантів та майбутніх офіцерів (В. Воловник, О. Даниско, Б. Лебедєв, О. Маслій, О. Корносенко та ін.); вивчення специфічних чинників військово-професійної підготовки та формування професійної компетентності майбутніх військових фахівців різних спеціальностей (С. Каплун, О. Маслій, О. Торічний, М. Хрупало, А. Шевченко та ін.). Однак необхідним залишається обґрунтування методологічних засад підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану.

Мета статті – проаналізувати необхідність та доцільність використання в якості методологічної основи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану системного, компетентнісного, практико зорієнтованого та особистісно-діяльнісного підходів з урахуванням особливостей військово-професійної діяльності в умовах воєнного стану та вимог Міністерства оборони України.

Методи дослідження – теоретичний аналіз наукової літератури з проблеми дослідження для відбору й осмислення дидактичного матеріалу; критично-аналітичний аналіз концепцій, теорій та методик, з метою виявлення шляхів розв'язання досліджуваної проблеми.

Виклад основного матеріалу. Педагогічна система підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану є системою, функціонування якої опирається на сукупність методологічних підходів та принципів, взаємопов'язаних форм, методів, технологій та засобів навчання, що дає змогу досягти мети – формування у майбутніх фахівців інженерних військ готовності до професійної діяльності.

З огляду на це, у визначенні методологічної основи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану, насамперед, уточнимо загальнонаукову сутність поняття «підхід» і педагогічне трактування дефініції «методологічний підхід». Так, підхід є сукупністю прийомів та способів впливу або вивчення чогось (Каліна, & Штефан, 2019). Підхід відображає ті ідеї, положення, принципи та методи, які дають змогу розкрити особливості вирішення проблеми.

Методологічною основою підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану є сукупність системного, компетентнісного, практико зорієнтованого та особистісно зорієнтованого методологічних підходів. Відправною точкою дослідження методологічних основ підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану є системний підхід, який відноситься до загальнонаукових підходів (Рижиков, & Горячева, 2019).

Системний підхід у дослідженні педагогічних явищ та процесів забезпечує високу ефективність, які за своєю суттю є складними багатокомпонентними системами з безліччю зовнішніх та внутрішніх зв'язків. Особливостями системного підходу у підготовці майбутніх військових фахівців, на думку В. Рахманова та Л. Тимчук є можливість встановити всі системотвірні елементи професійної підготовки військових фахівців, розробити алгоритм теоретичного дослідження цього процесу та практичних дій щодо його вдосконалення (Рахманов, & Тимчук, 2022, с. 210). З огляду на це, системний підхід дає змогу розглядати підготовку майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану як систему, органічно пов'язану з процесом професійної підготовки військових фахівців, системою військової освіти загалом, системою оборони України та військовою інженерною системою. Зв'язок підготовку майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану із цими системами здійснюється на основі комплексу вимог освітніх та професійних стандартів, де відображається бачення

державою, суспільством та Міністерством оборони цілісної особистості майбутніх фахівців інженерних військ, які володіють певним переліком компетентностей для виконання трудових функцій службово-бойової діяльності.

Концептуальним орієнтиром розвитку сучасної освіти є *компетентнісний підхід*. Сучасні умови значною мірою змінили початкове трактування сутності компетентнісного підходу, який нині забезпечує формування не лише когнітивної та практичної складової, а й соціальної, мотиваційно-ціннісної, емоційної, діяльнісної, що дає змогу особистості вирішувати комплекс завдань у різних сферах життєдіяльності, постійно вдосконалюючи власні знання та навички, виявляти гнучкість та мобільність у мінливих умовах (Лігоцький, 2019, с. 64). Окреслені особливості використання компетентнісного підходу значущі для військової освіти, де збереження традицій, фундаментальних та моральних підвалин військової (службово-бойової) діяльності поєднуються із сучасними досягненнями науки та техніки, спрямовуючи майбутніх фахівців інженерних військ на безперервний професійно-особистісний розвиток.

Зазначимо, що імплементація компетентнісного підходу в систему вітчизняної військової освіти спершу акцентувалася на його діяльнісному аспекті, що дає змогу сформувати високий рівень готовності до вирішення типових завдань військової (службово-бойової) діяльності (Галкіна, 2014, с. 60). У цьому контексті значущим є зауваження Л. Олійник щодо зв'язку освоюваних майбутніми фахівцями інженерних дисциплін компетентностей та службово-бойовою діяльністю, що дає змогу отримати в навчально-тренувальному процесі первинний професійний досвід та реалізувати потреби особистості у оволодінні обраною спеціалізацією (Олійник, 2016). Компетентнісний підхід також забезпечує відповідність підготовки військових фахівців вимогам воєнного стану, одночасно орієнтуючи цей процес на дотримання принципу фундаментальності, що має особливе значення у контексті реалізації педагогічної системи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану.

Реалізація компетентнісного підходу підготовці майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану як методологічної основи, очевидна, оскільки її результатом є сформована готовність до професійної діяльності. Водночас, науковці пов'язують превалювання методології компетентнісного підходу в педагогічній науці та практиці не стільки з багаторічним перебуванням вітчизняної освіти в умовах Болонської системи, скільки з постійним оновленням та розширенням знання, що зумовлює нові вимоги держави, суспільства, роботодавців до особистості фахівців у контексті їхньої здатності та готовності до самостійного освоєння цих знань, осягнення нових видів діяльності та отримання нового досвіду (Брижатий, 2020; Рахманов, 2021). Все це вимагає інноваційних методів та технологій навчання, ефективного та одночасно об'єктивного інструментарію для оцінки результатів підготовки курсантів, що і стає можливим завдяки компетентнісному підходу.

Варто наголосити на двох важливих домінантах компетентнісного підходу в підготовці майбутніх фахівців інженерних військ. По-перше, на його діяльнісному характері, що дає змогу створити в межах навчально-тренувального процесу умови щодо оволодіння курсантами первинним досвідом вирішення завдань службово-бойової діяльності. По-друге, на формуванні професійно значущих якостей військових фахівців, які забезпечують використання цього досвіду в реальній службово-бойовій обстановці, що і сприяє успішній професійної реалізації особистості.

Наступним розглянемо *практико зорієнтований підхід*, який наближає курсантів до майбутньої військової спеціалізації конкретними ситуаціями її вияву та ті дії, які необхідно зробити для її вирішення. Це дає змогу формувати первинний досвід службово-бойової діяльності, готовності до професійної діяльності майбутніх військових фахівців до закінчення навчання. Загалом сутність практико зорієнтованого підходу полягає у розумному поєднанні в межах навчально-тренувального (освітнього) процесу вивчення фундаментальних основ майбутньої військової спеціалізації та практичним освоєнням умінь, навичок та досвіду вирішення завдань професійної діяльності. Водночас, не доцільно наголошувати лише на організації практичних занять та практики. Велике значення має підбір технологій та методів навчання, що забезпечують оволодіння трудовими функціями за профілем обраної

військової спеціалізації; створення умов, що мотивують до оволодіння професійними компетентностями (Рижиков, & Горячева, 2019).

У сучасній військовій освіті реалізація практико зорієнтованого підходу зосереджена на впровадженні інноваційних технологій (ситуаційних, проєктних, проблемних) та засобів навчання переважно у вигляді симуляторів, тренажерів, а також розвитку традиційної практики отримання досвіду службово-бойової діяльності на полігонах.

Забезпечення практико зорієнтованого характеру підготовки майбутніх фахівців інженерних спеціальностей до професійної діяльності в умовах воєнного стану значною мірою пов'язано з реалізацією принципу міждисциплінарності, що дає змогу забезпечити обмін поняттями, методами, окремими елементами знань із різних сфер та на цій основі розширювати спектр набутих курсантами знань, умінь та навичок (Зельницький, 2020). З огляду на це, практико зорієнтований підхід доцільно розглядати як метод перетворення підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності та навчально-пізнавальної діяльності курсантів, що дасть змогу розкрити зв'язок між військово-професійними знаннями та практичними навичками військових фахівців, отримати первинний досвід їхнього використання у вирішенні конкретних завдань службово-бойової діяльності.

У підготовці майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану значну роль відіграє *особистісно зорієнтований підхід*. Одним із завдань підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану є формування у них професійно значущих якостей під впливом військово-професійного світогляду. Це вимагає розподілу особливих акцентів у змісті підготовки майбутніх фахівців інженерних військ, вибору та компетентного використання таких методів та технологій навчання, які сприятимуть розвитку військово-професійного світогляду, формування професійно значущих якостей особистості майбутніх фахівців інженерних військ.

На основі особистісно зорієнтованого підходу уможливлюється гуманізація навчально-тренувального (освітнього) процесу, розкриття потенційних можливостей курсантів та їхня спрямованість на особистісно-професійний розвиток. Це дає змогу індивідуалізувати навчально-тренувальний (освітній) процес, сконцентрувати увагу на розкритті можливостей та здібностей кожного курсанта за допомогою організації співробітництва, діалогу, спільної діяльності.

Виокремлені у межах статті методологічні підходи конкретизуються в системі принципів як регулятивних положень, які визначають особливості змістовного наповнення, механізмів та дидактичних інструментів підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану. Принципи є сполучною ланкою між теоретичним поданням досліджуваного освітнього процесу та його практичною реалізацією, відображаючи ті специфічні закономірності, які властиві конкретному процесу навчання та значною мірою визначаються його цілями (Васильєв, 2020).

Закономірності розглядаються як стійкі та повторювані зв'язки компонентів процесу навчання (Цимбалюк, & Слівінський, 2015), що відображають основні орієнтири та ключові положення його здійснення, тобто принципи. Безумовно, що будь-який процес підготовки фахівців у системі військової освіти, як і процес підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану, опирається на загальні закономірності навчання. Однак власне сутність підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану та її результат у вигляді готовності до професійної діяльності визначає специфічні закономірності, до яких віднесено:

1) взаємозалежність між цілями військової освіти та підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану. Мета військової освіти полягає в підготовці військових фахівців, здатних забезпечувати обороноздатність держави, цілісність її кордонів. Це можливо й шляхом підвищення якості підготовки майбутніх фахівців інженерних військ, надання їй практико зорієнтованого характеру, що позитивно впливає на готовність фахівців інженерних військ до вирішення службово-бойових завдань і загалом сприятиме зміцненню обороноздатності держави;

2) змістом цієї підготовки та результатами розвитку військової науки та воєнної техніки з їхньою проєкцією в військову науку та практику. Стрімкий розвиток військової науки та розробка нової військової техніки, зростання числа міждисциплінарних досліджень, які безпосередньо стосуються військової науки та службово-бойової діяльності вимагає мобільного та гнучкого відображення у змісті професійно-військових дисциплін. Це забезпечить формування у майбутніх фахівців інженерних військ військово-професійних знань як когнітивної основи їхньої готовності до професійної діяльності;

3) мотивацією курсантів до активної навчально-пізнавальної діяльності та відповідністю підготовки майбутніх фахівців інженерних військ вимогам реальної службово-бойової діяльності. Пізнавальна активність майбутніх фахівців інженерних військ в процесі підготовки значною мірою залежить від розуміння курсантами ролі та місця військово-професійного знання в оволодінні військовою спеціалізацією, цінності набутих умінь, навичок, якостей для виконання конкретних трудових дій та ефективної службово-бойової діяльності загалом, можливості надалі підвищувати рівень своєї готовності до професійної діяльності;

4) взаємозалежність між науково-обґрунтованою організацією та реалізацією підготовки майбутніх військових фахівців в умовах воєнного стану та сформованістю готовності майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності. Підготовка майбутніх військових фахівців до професійної діяльності в умовах воєнного стану вимагає особливих заходів щодо вдосконалення на міждисциплінарній основі змісту військово-професійних дисциплін; розробки міждисциплінарних завдань, що дають змогу апробувати практично отримані військово-професійні знання, вміння та навички; підбору форм, методів, технологій та засобів навчання, які сприятимуть мотивованому, свідомому та активному формуванню у майбутніх фахівців інженерних військ готовності до професійної діяльності, ефективній та продуктивній взаємодії всіх учасників процесу підготовки майбутніх фахівців інженерних спеціальностей до професійної діяльності в умовах воєнного стану.

Висновки. Таким чином, методологічною основою підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану є сукупність системного, компетентнісного, практико зорієнтованого та особистісно зорієнтованого методологічних підходів. Системний підхід дає змогу розглядати підготовку майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану як цілісну систему, що має внутрішні та зовнішні зв'язки та забезпечує системність формування її цільового результату – готовності майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності як системи взаємозалежних компонентів. Компетентнісний підхід встановлює результат підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану у вигляді готовності майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності, визначає на основі вимог освітніх та професійних стандартів її сутність та структуру. Практико зорієнтований підхід забезпечує організаційно-технологічний супровід трансформації військово-професійних знань, умінь та навичок у первинний досвід вирішення службово-бойових завдань. Особистісно зорієнтований підхід забезпечує стійкі мотиваційно-ціннісні установки до активної навчально-пізнавальної діяльності у процесі підготовки, сформованість у майбутніх фахівців інженерних військ військово-професійного світогляду та професійно значущих якостей особистості.

Реалізація педагогічної системи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану вимагає створення певних умов, що відображають внутрішні та зовнішні зв'язки досліджуваного процесу, що уможливило виокремлення специфічних закономірностей, що зумовлюють взаємозалежність між цілями військової освіти та підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності в умовах воєнного стану; змістом цієї підготовки та результатами розвитку військової науки та воєнної техніки з їхньою проєкцією в військову науку та практику; мотивацією курсантів до активної навчально-пізнавальної діяльності та відповідністю підготовки майбутніх фахівців інженерних військ вимогам реальної службово-бойової діяльності; науково-обґрунтованою організацією та реалізацією підготовки майбутніх військових фахівців в умовах воєнного стану та сформованістю готовності майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Брижатий Є. І. Військова освіта в контексті національної безпеки та оборони: сучасний підхід. *Військова освіта*. 2020. Вип. 1 (42). С. 35–45.

2. Васильєв О. М. Сучасні тенденції управління змінами в системі вищої військової освіти. *Військова освіта.* 2020. Вип. 2 (42). С. 27–38.

3. Галкіна В. Д. Компетентнісний підхід як методологічна основа професійної підготовки військових фахівців. *Військова освіта*. 2014. Вип. 1. С. 59–65.

4. Зельницький А. М. Системоутворюючі фактори педагогічної системи закладів вищої військової освіти. *Військова освіта*. 2020. № 1 (42). С. 136–146.

5. Зорій Я. Компетентнісний підхід до практичної підготовки громадян за програмою офіцерів запасу в закладах вищої освіти. *Ukrainian professional education*. 2018. Вип. 3. С. 65–70.

6. Каліна К. Є., Штефан Л. А. Методологічні підходи до дослідження проблем педагогічної теорії і практики. *Теорія та методика навчання та виховання*. 2019. Вип. 46. С. 59–69.

7. Лігоцький А. О. Методологічні ознаки проектування інноваційної моделі вищої освіти в контексті світового і національного розвитку. *Інтернаука. Серія: Юридичні науки*. 2019. Вип. 3 (17). С. 62–73.

8. Олійник Л. В. Компетентнісний підхід як необхідна умова навчання військово-спеціальних дисциплін магістрів військово-соціального управління. *Військова освіта*. 2016. Вип. 2. С. 153–161.

9. Полторак С. Т. Трансформація системи військової освіти України на шляху до досягнення стандартів НАТО. *Наука і оборона*. 2018. Вип. 2. С. 3–10.

10. Рахманов В. Основні підходи до системи професійної військової освіти в Україні. *Військова освіта*. 2021. Вип. 1 (43). С. 279–288.

11. Рахманов В., Тимчук Л. Основні етапи системного підходу до навчання у вищому військовому навчальному закладі. *Військова освіта.* 2022. Вип. 1 (45). С. 207–218.

12. Рижиков В. С., Горячева К. С. Концептуальні підходи до проєктування системи гарантування якості підготовки офіцерських кадрів у вищих військових навчальних закладах, військових навчальних підрозділах закладів вищої освіти України. *Інноваційна педагогіка*. 2019. Вип. 15 (1). С. 78–81.

13. Цимбалюк М. М., Слівінський В. Р. Феноменологічні закономірності становлення фахівця органів внутрішніх справ: монографія. Львів: Ліга-прес, 2015. 280 с.

REFERENCES:

1. Bryzhatyi, Ye. I. (2020). Viiskova osvita v konteksti natsionalnoi bezpeky ta oborony: suchasnyi pidkhid [Military education in the context of national security and defense: a modern approach]. *Viiskova osvita – Military education*, 1 (42), 35–45 [in Ukrainian].

2. Vasyliev, O. M. (2020). Suchasni tendentsii upravlinnia zminamy v systemi vyshchoi viiskovoi osvity [Modern trends in change management in the system of higher military education]. *Viiskova osvita – Military education*, 2 (42), 27–38 [in Ukrainian].

3. Halkina, V. D. (2014). Kompetentnisnyi pidkhid yak metodolohichna osnova profesiinoi pidhotovky viiskovykh fakhivtsiv [Competency approach as a methodological basis of professional training of military specialists]. *Viiskova osvita – Military education*, 1, 59–65 [in Ukrainian].

4. Zelnytskyi, A. M. (2020). Systemoutvoriuiuchi faktory pedahohichnoi systemy zakladiv vyshchoi viiskovoi osvity [System-forming factors of the pedagogical system of institutions of higher military education]. *Viiskova osvita – Military education*, 1 (42), 136–146 [in Ukrainian].

5. Zorii, Ya. (2018). Kompetentnisnyi pidkhid do praktychnoi pidhotovky hromadian za prohramoiu ofitseriv zapasu v zakladakh vyshchoi osvity [A competent approach to the practical training of citizens under the program of reserve officers in institutions of higher education]. *Ukrainian professional education – Ukrainian professional education*, 3, 65–70 [in Ukrainian].

6. Kalina, K. Ye., & Shtefan, L. A. (2019). Metodolohichni pidkhody do doslidzhennia problem pedahohichnoi teorii i praktyky [Methodological approaches to the study of problems of pedagogical theory and practice]. *Teoriia ta metodyka navchannia ta vykhovannia – Theory and methods of teaching and education*, 46, 59–69 [in Ukrainian].

7. Lihotskyi, A. O. (2019). Metodolohichni oznaky proektuvannia innovatsiinoi modeli vyshchoi osvity v konteksti svitovoho i natsionalnoho rozvytku [Methodological features of designing an innovative model of higher education in the context of global and national development]. *Internauka. Seriia: Yurydychni nauky – Interscience. Series: Legal Sciences*, 3 (17), 62–73 [in Ukrainian].

8. Oliinyk, L. V. (2016). Kompetentnisnyi pidkhid yak neobkhidna umova navchannia viiskovo-spetsialnykh dystsyplin mahistriv viiskovo-sotsialnoho upravlinnia [Competency approach as a necessary condition for teaching military-special disciplines of masters of military-social management]. *Viiskova osvita – Military education*, 2, 153–161 [in Ukrainian].

9. Poltorak, S. T. (2018). Transformatsiia systemy viiskovoi osvity Ukrainy na shliakhu do dosiahnennia standartiv NATO [Transformation of the military education system of Ukraine on the way to achieving NATO standards]. *Nauka i oborona – Science and Defense*, 2, 3–10 [in Ukrainian].

10. Rakhmanov, V. (2021). Osnovni pidkhody do systemy profesiinoi viiskovoi osvity v Ukraini [Basic approaches to the system of professional military education in Ukraine]. *Viiskova osvita – Military education*, 1 (43), 279–288 [in Ukrainian].

11. Rakhmanov, V., & Tymchuk, L. (2022). Osnovni etapy systemnoho pidkhodu do navchannia u vyshchomu viiskovomu navchalnomu zakladi [The main stages of a systematic approach to training in a higher military educational institution]. *Viiskova osvita – Military education*, 1 (45). 207–218 [in Ukrainian].

12. Ryzhykov, V. S., & Horiacheva, K. S. (2019). Kontseptualni pidkhody do proiektuvannia systemy harantuvannia yakosti pidhotovky ofitserskykh kadriv u vyshchykh viiskovykh navchalnykh zakladakh, viiskovykh navchalnykh pidrozdilakh zakladiv vyshchoi osvity Ukrainy [Conceptual approaches to the design of the system of guaranteeing the quality of officer training in higher military educational institutions, military educational units of higher education institutions of Ukraine]. *Innovatsiina pedahohika – Innovative pedagogy*, 15 (1), 78–81 [in Ukrainian].

13. Tsymbaliuk, M. M., & Slivinskyi, V. R. (2015). *Fenomenolohichni zakonomirnosti stanovlennia fakhivtsia orhaniv vnutrishnikh sprav [Phenomenological patterns of becoming a specialist of internal affairs bodies]*. [Monohrafiia]. Lviv: Liha-pres, 280 [in Ukrainian].

НОТАТКИ

ЗМІСТ

ХІМІЯ

Назарій БЛАШКО, Олег МАРЧУК, Анатолій ФЕДОРЧУК
КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА $ND_3CU_{0.45}GA_{1.52}S_7$ ТА $ND_3AG_{0.45}GA_{1.52}S_7$..... 3

Жолт КОРМОШ, Оксана ЮРЧЕНКО, Світлана КОРОЛЬЧУК, Тетяна САВЧУК, Наталія ГОРБАТЮК, Юлія БОХАН, Світлана БОРКОВА, Катерина ЛЮШУК, Людмила ПІСКАЧ
ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФЕНОПРОФЕНУ.....10

Катерина НЕСТЕРОВА, Олена ХИЖАН, Андрій ГАЛСТЯН
ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ АТОМНО-ЕМІСІЙНОЮ СПЕКТРОМЕТРІЄЮ.....17

ЕКОЛОГІЯ

Ірина НЕТРОБЧУК, Олександр ВОВК, Марія БОЯРИН
АНАЛІЗ ГІГІЄНІЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ У МІСТІ ЛУЦЬК.....26

Зоряна ЛАВРИНЮК, Ігор ВОЙЦЕХОВСЬКИЙ, Любомир ГУЛАЙ, Ольга КАРАЇМ, Олена ДЖАМ
ЕКОЛОГО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЛІСОВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У ВОЛИНСЬКІЙ ОБЛАСТІ..... 36

Людмила САВЧУК, Роман ШУЛИПА
ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОРІЗНОМАНІТТЯ ФІЛІЇ «КІВЕРЦІВСЬКЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО» ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ» (ЗВІРІВСЬКЕ ЛІСНИЦТВО).....48

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ. ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

Михайло ДЕМЯНЧУК, Олена ГАШИНСЬКА, Олена ГОРСЬКА
ПОТЕНЦІАЛ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ СЕСТРИНСЬКОЇ СПРАВИ..... 55

Володимир РОДІКОВ
МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....63

CONTENTS

CHEMISTRY

Nazarii BLASHKO, Oleg MARCHUK, Anatolii FEDORCHUK
CRYSTAL STRUCTURE OF $ND_3CU_{0.45}GA_{1.52}S_7$ AND $ND_3AG_{0.45}GA_{1.52}S_7$..... 3

Zholt KORMOSH, Oksana YURCHENKO, Svitlana KOROLCHUK, Tetiana SAVCHUK, Nataliia HORBATIUK, Yulia BOKHAN, Svitlana BORKOVA, Kateryna LIUSHUK, Lyudmyla PISKACH
POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF FENOPROFEN.....10

Kateryna NESTEROVA, Olena KHYZHAN, Andriy GALSTYAN
DETERMINATION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF WATER BODIES BY ATOMIC EMISSION SPECTROMETRY.....17

ECOLOGY

Iryna NETROBCHUK, Oleksandr VOVK, Mariia BOIARYN
HYGIENIC QUALITY ASSESSMENT OF DRINKING WATER IN THE CITY OF LUTSK: AN ANALYSIS.....26

Zoryana LAVRYNYUK, Igor VOITSEHOVSKYI, Lubomir GULAY, Olha KARAIM, Olena DZHAM
ECOLOGICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF REFORESTATION ACTIVITIES IN THE VOLYN REGION.....36

Liudmyla SAVCHUK, Roman SHULYPA
ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BIODIVERSITY OF THE BRANCH “KIVERTSIVSKE FORESTRY” OF THE STATE ENTERPRISE “FORESTS OF UKRAINE” (ZVIRIVSKE FORESTRY).....48

EDUCATIONAL, PEDAGOGICAL SCIENCES. VOCATIONAL EDUCATION

Mykhailo DEMIANCHUK, Olena GASHYNSKA, Olena GORSKA
THE POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TRAINING FUTURE NURSING PROFESSIONALS.....55

Volodymyr RODIKOV
METHODOLOGICAL APPROACHES AND PATTERNS OF TRAINING FUTURE ENGINEERING TROOPS SPECIALISTS FOR PROFESSIONAL ACTIVITY UNDER MARTIAL LAW CONDITIONS.....63

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 2

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнєцова

Підписано до друку: 30.09.2024.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 8,61. Замов. № 0924/621. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.