

Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 3



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

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;

Бедункова 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;

Казаків 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;

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;

Лукашук 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);

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
31 жовтня 2023 р., протокол № 12

Науковий журнал «Проблеми хімії та сталого розвитку» зареєстровано Міністерством юстиції України
(Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серія KB № 24806–14746P від 27.04.2021 року)

«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, 2023

ХІМІЯ

УДК 544.[344+228]:546.[56+29+289]’22

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-1>**Орися БЕРЕЗНЮК***аспірант кафедри неорганічної та фізичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025***ORCID:** 0009-0004-9191-0516**Людмила ПІСКАЧ***кандидат хімічних наук, професор кафедри неорганічної та фізичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025***ORCID:** 0000-0003-3117-4006**Бібліографічний опис статті:** Березнюк, О., Піскач, Л. (2023). Взаємодія в квазіпотрійній системі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 3–12, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-1>**ВЗАЄМОДІЯ В КВАЗІПОТРІЙНІЙ СИСТЕМІ $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$**

Встановлено фазові рівноваги в квазіпотрійній системі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ між бінарними та тернарними сполуками, що утворюються на відповідних обмежуючих квазібінарних перерізах. Дослідження проводилося з використанням рентгенофазового, мікроструктурного та диференційно-термічного методів аналізу.

Фазові рівноваги в системі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ при 500 К представлені ізотермічним перерізом. Для системи характерна взаємодія фаз із утворенням твердих розчинів α' , β , γ , δ , ε в межах 5-10 мол. % при 570 К на основі Cu_2S , Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 , Cu_8GeS_6 , Cu_4GeS_4 відповідно. У системі існує вісім однофазних полів (твердих розчинів α' , β , γ , δ , ε на основі Cu_2S , Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 , Cu_8GeS_6 , Cu_2GeS_3 відповідно та сполук GeS_2 , Cu_2GeS_3 , Cu_4GeS_4 , CuSbS_2), між якими знаходиться тринадцять двофазних рівноваг; з яких вісім – на обмежуючих сторонах: $\alpha' - \gamma$, $\gamma - \text{CuSbS}_2$, $\text{CuSbS}_2 - \beta$, $\alpha' - \delta$, $\delta - \text{Cu}_4\text{GeS}_4$, $\text{Cu}_4\text{GeS}_4 - \varepsilon$, $\varepsilon - \text{GeS}_2$ та $\beta - \text{GeS}_2$ та п'ять – всередині квазіпотрійної системи: $\gamma - \delta$, $\gamma - \text{Cu}_4\text{GeS}_4$, $\gamma - \varepsilon$, $\text{CuSbS}_2 - \varepsilon$, $\beta - \varepsilon$, які поділяють концентраційний трикутник на шість трифазних областей: $\alpha' - \gamma - \delta$, $\gamma - \delta - \text{Cu}_4\text{GeS}_4$, $\gamma - \text{Cu}_4\text{GeS}_4 - \varepsilon$, $\text{CuSbS}_2 - \gamma - \varepsilon$, $\beta - \text{CuSbS}_2 - \varepsilon$, $\beta - \varepsilon - \text{GeS}_2$. Не підтверджено існування сполуки CuSb_3S_8 . Побудовано діаграми стану систем $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$, $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{GeS}_3$ та $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_2\text{GeS}_3$, які є евтектичного типу з кристалізацією твердих розчинів на основі Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 та Cu_2GeS_3 . В системі $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ координати евтектичної точки складають 35 мол. % GeS_2 при 747 К ($L \leftrightarrow \beta + \text{GeS}_2$), зразки з вмістом 10-60 мол. % GeS_2 за даних умов одержання є склою чи склокристалами; в системі $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_2\text{GeS}_3 - 7$ мол. % Cu_2GeS_3 при 820 К ($L \leftrightarrow \gamma' + \varepsilon$), при 760 К протікає перитектоїдний процес, пов'язаний із поліморфізмом Cu_3SbS_3 ($\gamma' + \varepsilon \leftrightarrow \gamma$); в системі $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{GeS}_3 - 18$ мол. % Cu_2GeS_3 при 710 К ($L \leftrightarrow \beta + \varepsilon$).

Ключові слова: рентгенофазовий аналіз; диференційно-термічний аналіз; мікроструктурний аналіз; ізотермічні перерізи; фазові діаграми; евтектична взаємодія.

Orysia BEREZNYUK*Graduate Student, Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025***ORCID:** 0009-0004-9191-0516**Lyudmyla PISKACH***PhD in Chemistry, Professor, Department inorganic and physical chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025***ORCID:** 0000-0003-3117-4006

To cite this article: Bereznyuk, O., Piskach, L. (2023). Vzayemodija v kvazipotriinij systemi $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ [Interaction of the quasi-ternary system $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 3–12, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-1>

INTERACTIONS IN THE QUASI-TERNARY SYSTEM $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{GeS}_2$

Phase equilibria between binary and ternary compounds that form at the respective boundary quasi-binary sections of the quasi-ternary system $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{GeS}_2$ were investigated. The study employed X-ray phase, microstructural and differential thermal analysis methods.

Phase equilibria in the $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{GeS}_2$ system at 500 K are represented by the isothermal section. The system is characterized by the interaction of phases with the formation of solid solution ranges α' , β , γ , δ , ε of Cu_2S , Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 , Cu_8GeS_6 , Cu_2GeS_3 , respectively, extending 5-10 mol. % at 570 K. The section features eight single-phase fields (solid solution ranges: α' , β , γ , δ , ε of Cu_2S , Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 , Cu_8GeS_6 , Cu_2GeS_3 , respectively, and compounds GeS_2 , Cu_2GeS_3 , Cu_4GeS_4 and CuSbS_2) that are separated by thirteen two-phase equilibria of which eight are at the bounding side systems ($\alpha'-\gamma$, $\gamma-\text{CuSbS}_2$, $\text{CuSbS}_2-\beta$, $\alpha'-\delta$, $\delta-\text{Cu}_4\text{GeS}_4$, $\text{Cu}_4\text{GeS}_4-\varepsilon$, $\varepsilon-\text{GeS}_2$, and $\beta-\text{GeS}_2$) and five inside the quasi-ternary system ($\gamma-\delta$, $\gamma-\text{Cu}_4\text{GeS}_4$, $\gamma-\varepsilon$, $\text{CuSbS}_2-\varepsilon$, $\beta-\varepsilon$) that split the concentration triangle into 6 three-phase regions: $\alpha'-\gamma-\delta$, $\gamma-\delta-\text{Cu}_4\text{GeS}_4$, $\gamma-\text{Cu}_4\text{GeS}_4-\varepsilon$, $\text{CuSbS}_2-\gamma-\varepsilon$, $\beta-\text{CuSbS}_2-\varepsilon$, $\beta-\varepsilon-\text{GeS}_2$. The existence of the CuSb_2S_5 compound was not confirmed. Phase diagrams of the $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{GeS}_2$, $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Cu}_2\text{GeS}_3$, and $\text{Cu}_3\text{SbS}_3-\text{Cu}_2\text{GeS}_3$ systems were investigated; these are of the eutectic type with the crystallization of solid solution ranges of Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 , and Cu_2GeS_3 . The coordinates of the eutectic point in the $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{GeS}_2$ system are 35 mol. % GeS_2 at 747 K ($L \leftrightarrow \beta + \text{GeS}_2$). The samples with 10-60 mol. % GeS_2 content under these conditions are glass or ceramic-glass. The eutectic point in the $\text{Cu}_3\text{SbS}_3-\text{Cu}_2\text{GeS}_3$ system lies at 7 mol. % Cu_2GeS_3 at 820 K ($L \leftrightarrow \gamma' + \varepsilon$), with the peritectoid process at 760 K related to the polymorphous transition of Cu_3SbS_3 ($\gamma' + \varepsilon \leftrightarrow \gamma$). The eutectic in the $\text{Sb}_2\text{S}_3-\text{Cu}_2\text{GeS}_3$ system is at 18 mol. % Cu_2GeS_3 at 710 K ($L \leftrightarrow \beta + \varepsilon$).

Key words: X-ray phase analysis; differential thermal analysis; microstructural analysis; isothermal sections; phase diagrams; eutectic interaction.

1. Вступ

Вивчення фазових рівноваг у багатокомпонентних системах за участю складних речовин, встановлення меж існування твердих розчинів на їх основі, виявлення нових сполук є одним із етапів систематичного дослідження взаємодії між халькогенідами. Важливе місце займають системи типу $A^I_2S - B^{IV}S_2 - C^V_2S_3$, де $A^I - \text{Cu}, \text{Ag}$; $B^{IV} - \text{Ge}, \text{Sn}$; $C^V - \text{As}, \text{Sb}$.

Особливий інтерес викликають фази, які мають шарувату структуру, оскільки, володіють специфічними фізико-хімічними властивостями. Частина таких сполук утворюється в бінарних системах $\{\text{Cu}, \text{Ag}\} - \text{S}$, $\{\text{Ge}, \text{Sn}\} - \text{S}$, $\{\text{P}, \text{As}, \text{Sb}\} - \text{S}$ і є вихідними компонентами досліджуваних квазіпотрійних систем.

Купрум (I) халькогеніди – перспективні термоелектричні та суперіонні матеріали. Наявність вакансій в підгратці купруму призводить до появи акцепторних рівнів, що зумовлює р-тип провідності в сполуках $\text{Cu}_2\text{-xXal}$. (Погодін, 2011). Купрум (I) сульфід Cu_2S є перспективним матеріалом для перетворення сонячної енергії завдяки своїм відповідним оптичним властивостям. Його можна використовувати як фотокатод для фотоелектрохімічного розщеплення води. Cu_2S також може утворювати гетеропереходи з іншими матеріалами, що призводить до нових фізичних властивостей (Zhang, 2023).

Сполуки Cu_2S , Sb_2S_3 і GeS_2 , які є вихідними компонентами досліджуваної системи, утворюються у відповідних бінарних системах і воло-

діють конгруентним характером плавлення при 1403 (Марчук, 2019), 823 (Aliev, 2015) і 1113 K (Bletska, 2005).

Бінарна фаза Cu_2S має три поліморфні модифікації: орторомбічна ($\alpha-\text{Cu}_2\text{S}$ стійка до температури 376,5 K), гексагональна ($\beta-\text{Cu}_2\text{S}$ стійка в інтервалі температур 376,5-708 K) і кубічна ($\gamma-\text{Cu}_2\text{S}$, яка існує в температурному інтервалі 708-1403 K) (Марчук, 2019). В Cu_2S відбувається зміна механізму провідності при переході від однієї модифікації до іншої. Так, α - та $\gamma-\text{Cu}_2\text{S}$ поведуть себе як напівпровідники р-типу, в яких провідність зростає з температурою. У $\beta-\text{Cu}_2\text{S}$ частково проявляється іонна провідність. Кристалографічні параметри всіх модифікацій Cu_2S , Sb_2S_3 та двох модифікацій GeS_2 наведені в табл. 1.

Особливістю систем $A^I - B^{IV} - S$ ($A^I - \text{Cu}, \text{Ag}$; $B^{IV} - \text{Ge}, \text{Sn}$) є утворення ізоформульних потрійних сполук $A^I_8B^{IV}S_6$ та $A^I_2B^{IV}S_3$. Ці сполуки привернули увагу завдяки своїм оптичним та електричним властивостям з урахуванням можливості їх використання в якості напівпровідників, нелінійних оптичних матеріалів, функціональних матеріалів електронної техніки та фотоелектричних елементів (Бабанлы, 1993; Hasaka, 1997; Reshak, 2012; Kim, 2013; Ahluwalia, 2017).

Складні халькогеніди Купруму (I) володіють цінними термо- та фотоелектричними властивостями, завдяки яким знайшли застосування як екологічно чисті термоелектричні матеріали

Таблиця 1

Кристалографічні характеристики бінарних сполук

Сполука		$\alpha\text{-Cu}_2\text{S}$	$\beta\text{-Cu}_2\text{S}$	$\gamma\text{-Cu}_2\text{S}$
ПГ		$P2_1/c$	$P6_3/mmc$	$Fm-3m$
Сингонія		моноклінна	гексагональна	кубічна
СП		mP144	hP16	cF44
Параметри гратки	Лінійні, нм	a	1,5246	0,349
		b	1,1884	...
		c	1,3494	0,668
	Кутові	$\beta=116,35^\circ$	...	...
Література		(Evans, 1979)	(Марчук, 2019)	
Сполука		$BTM\text{-GeS}_2$	$HTM\text{-GeS}_2$	Sb_2S_3
ПГ		$P2_1/c$	Pc	$Pnma$
Сингонія		моноклінна		тригональна
СП		mP36	mP36	oP20
Параметри гратки	Лінійні, нм	a	1,1311	0,6875
		b	0,3836	2,255
		c	1,1229	0,6809
	Кутові	$\beta=90,88^\circ$	...	...
Література		(Dittmar, 1975)	(Dittmar, 1976)	(Bayliss, 1972)

(Abbasova, 2017). Крім того, мають іонно-електронну провідність, що дає можливість використання їх в якості фотоелектродних матеріалів, електрохімічних перетворювачів сонячної енергії, іонізаторів тощо (Onoda, 1999; Ishii, 2000; Ahluwalia, 2017).

Квазібінарний переріз $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2$ досліджували ряд авторів (Bagheri, 2014; Fiorentini, 1962; Khanafer, 1873; Кохан, 1996; Alverdiyev, 2019). Проте, існують протиріччя в отриманих результатах. В усіх роботах підтверджується існування двох сполук Cu_8GeS_6 (аналог мінералу купродіту) та Cu_2GeS_3 , однак спосіб їх утворення різний. Останні дослідження фазових рівноваг (Alverdiyev, 2019) (рис. 1.4, а) підтверджують наявність сполук Cu_8GeS_6 (плавиться інконгруентно при 1253 К) та Cu_2GeS_3 (плавиться конгруентно при 1215 К), а існування сполук Cu_4GeS_4 і $\text{Cu}_2\text{Ge}_2\text{S}_5$, що зазначені в (Ishii, 2000; Chen, 1999) – заперечують. Склади та кристалографічні характеристики усіх відомих сполук системи $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2$ подано в табл. 2.

Дослідженню фазових рівноваг і властивостей проміжних фаз, що утворюються в системі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$ присвячено значна кількість досліджень, огляд по яких проведено в (Pescerillo, 2019), де за результатами в (Bryndzia, 1988) представлена діаграма стану цієї системи. Ідентифіковано дві сполуки з конгруентним харак-

тером плавлення: Cu_3SbS_3 при 883 К та CuSbS_2 при 825 К. Склади та кристалографічні характеристики усіх відомих сполук системи $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$ подано в табл. 2. В роботі (Du, 2019)] вказується, що включення іонів тривалентних металів замість Sb^{3+} стабілізує кубічну структуру Cu_3SbS_3 (ПГ $I-43m$).

Взаємодія компонентів в системі $\text{GeS}_2 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ згідно (Tomashuk, 2022) досліджена в неповному концентраційному інтервалі (0-68,28 мол. % GeS_2), діаграма стану системи не побудована. Відомо, що зразки з вмістом менше 42 мол. % GeS_2 , дають криві охолодження з чіткими та відтворюваними тепловими ефектами. Відомо, що зразки до 32 мол. % GeS_2 є кристалічними, в межах 32-42 мол. % германій (IV) сульфід утворюють склокристали, при вмісті більше 42 мол. % GeS_2 – стекла.

В роботах (Остап'юк, 2009; Березнюк, 2022) представлено результати дослідження фізико-хімічної взаємодії компонентів в аналогічних до досліджуваної системах з заміною $\text{Se} \rightarrow \text{Sb}$ ($\text{Cu}_2\text{Se} - \text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{GeSe}_2$) та $\text{Ge} \rightarrow \text{Sn}$ ($\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$), зокрема, побудовано їх ізотермічні перерізи фазових рівноваг (система $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{GeSe}_2$ при 620 К), (система $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ при 500 К) та деякі політермічні перерізи. Селеновмісна система характеризується наявністю чотирьох подвійних

Кристалографічні характеристики тернарних сполук

Сполука		$HTM-Cu_8GeS_6$	$BTM-Cu_8GeS_6$	Cu_2GeS_3	Cu_4GeS_4	
ПГ		$Pmn2_1$	$F-43m$	Cc	$P2_1/c$	
Сингонія		орторомб.	кубічна	моноклінна	моноклінна	
СП		oP42	...	mC24	...	
Параметри ґратки	Лінійні, нм	<i>a</i>	0,9907	0,99567	0,6449	0,9790(2)
		<i>b</i>	0,9907	...	1,1319	1,3205(2)
		<i>c</i>	0,9870	...	0,6428	0,9942(3)
	Кутові	...	...	$\beta=108,22^\circ$	$\beta=100,90^\circ$
Література		(Onoda, 1999)	(Gulay, 2002)	(Chalbaud, 1997)	(Chen, 1999; Ishii, 2000)	
Сполука		Cu_4SbS_3			$CuSbS_2$	
ПГ		$P2_1/c$	$Pnma$	$I-43m$	$Pnma$	
Сингонія		моноклінна	орторомбічна	кубічна	орторомбічна	
СП		mP56	oP28	cI56	oP16	
Параметри ґратки	Лінійні, нм	<i>a</i>	0,7814	0,7802	1,024	0,6008
		<i>b</i>	1,0242	1,0238	...	0,3784
		<i>c</i>	1,3273	0,6595	...	1,4456
	Кутові	$\beta=90,3^\circ$	...	...	...
Література		(Peccerillo, 2019)	(Pfitzner, 2002)	(Avilov, 1970)	(Peccerillo, 2019)	

рівноваг $Cu_2GeSe_3 - Sb_2Se_3(CuSbSe_2)$, $Cu_8GeSe_6 - CuSbSe_2(Cu_3SbSe_3)$, які розділяють систему на п'ять полів трифазних рівноваг. У станомовмісній системі є шість двофазних рівноваг між бінарними та тернарними сполуками обмежуваних систем: $Cu_3SbS_3 - Cu_4SnS_4(Cu_2SnS_3)$, $CuSbS_2 - Cu_2SnS_3$, $Sb_2S_3 - Cu_2SnS_3(Cu_4Sn_7S_{16})$ та $Sb_2SnS_5 - Cu_4Sn_7S_{16}$; три досліджені політермічні перерізи за участю Cu_2SnS_3 ($Cu_3SbS_3(CuSbS_2, Sb_2S_3) - Cu_2SnS_3$), де вихідними є конгруентні сполуки, квазібінарні евтектичного типу.

2. Експериментальна частина

Для синтезу зразків використовували прості речовини та сполуки високого ступеня чистоти: Cu (99,99 мас. %); Ge (ГМО-1); Sb (99,998 мас. %) та S (99,997 мас. %).

Зважування розрахованих кількостей вихідних речовин проводили на терезах ВЛА-200 з точністю до $\pm 0,00005$ г. Загальна маса шихти становила 0,8-2,0 г. Для синтезу використовували контейнери, які були виготовлені з кварцових трубок діаметром 8-10 мм і товщиною стінки 1,5-2 мм. Шихту поміщали у кварцові ампули за допомогою калькової лійки для запобігання запилення верхньої частини контейнера. Контейнери вакуумували до залишкового тиску $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па та запаювали на киснево-газовому пальнику.

Синтез полікристалічних зразків проводили прямим одотемпературним методом у печах шахтного типу СШОЛ із системою регулювання і підтримки температури. Сплави отримано синтезом з розплаву наступним режимом: нагрів до температури 670 К зі швидкістю 20 К/год, витримка впродовж доби; наступний нагрів до 1170 К зі швидкістю 20 К/год. Після 6 год витримки, температуру поступово понижували (~ 10 К/год) до 500 К. При цій температурі проводили відпал зразків протягом 500 год, далі сплави охолоджували в режимі виключеної печі. Ідентифікацію відомих сполук та дослідження отриманих сплавів здійснювали методами рентгенівського фазового (РФА) (ДРОН 4-13, $CuK\alpha$ випромінювання, мікроструктурного (МСА) (метало-графічний мікроскоп Leica VMHT Auto) та диференціального термічного (ДТА) (Pt/Pt-Rh термопара) аналізів. Співставлення результатів теоретично розрахованих та експериментальних дифрактограм проводили за допомогою програми Powder Cell (Kraus, 1996).

3. Результати та їх обговорення

Для дослідження фазових рівноваг в квазіпотрійній системі $Cu_2S - Sb_2S_3 - GeS_2$ було синтезовано близько 35 сплавів, їх хімічний та фазовий склад наведений на рис. 1.

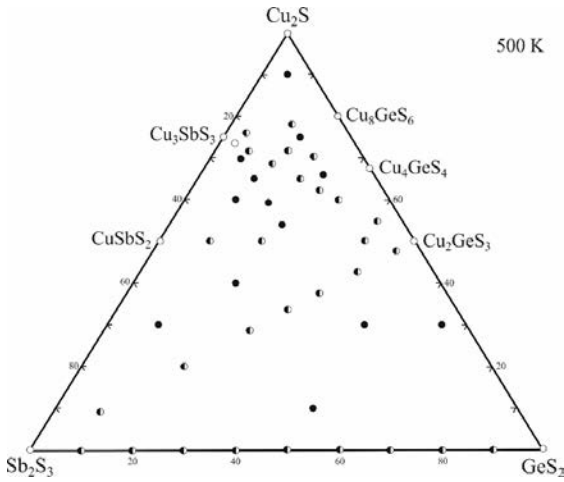


Рис. 1. Хімічний та фазовий склад сплавів системи $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$

За умов експерименту (500 К) в системі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ підтверджено існування 5 тернарних сполук: Cu_3SbS_3 , CuSbS_2 , Cu_8GeS_6 , Cu_4GeS_4 , Cu_2GeS_3 (табл. 3), а існування сполуки CuSb_5S_8 про яку повідомляють в (Bagheri, 2014), не підтверджено. Дифрактограма фази « CuSb_5S_8 » містить відбиття, що належать CuSbS_2 (ПГ $Pnma$) та Sb_2S_3 (ПГ $Pnma$) (рис. 2).

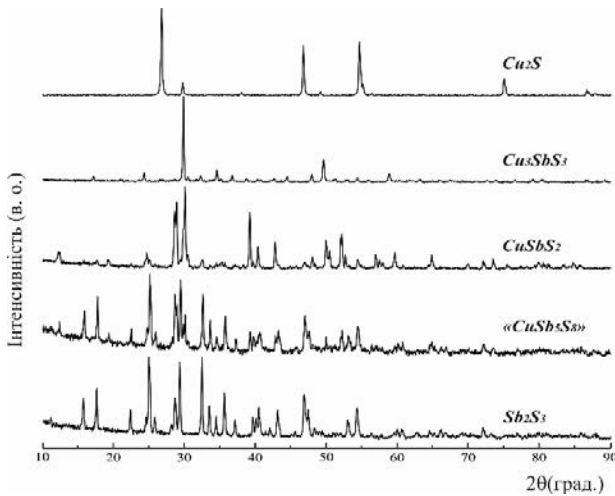


Рис. 2. Дифрактограми бінарних та тернарних сполук системи $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$

Фазові рівноваги у системі $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$, яка є квазібінарним перерізом потрійної системи $\text{Sb} - \text{Ge} - \text{S}$, було досліджено на 9 сплавах через кожні 10 мол. % (рис. 3). Діаграма стану $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ евтектичного типу ($L \leftrightarrow \beta\text{-Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$). Ліквідус складається з двох ділянок, які відповідають кристалізації β -твердого розчину на основі Sb_2S_3 та кристалізації GeS_2 . Евтектика

плавиться при 747 К при складі 35 мол. % GeS_2 . При температурі відпалу на дифрактограмах усіх зразків спостерігались лише системи рефлексів, що відповідали бінарній фазі – германій (IV) сульфід. Нових тернарних сполук нами не ідентифіковано.

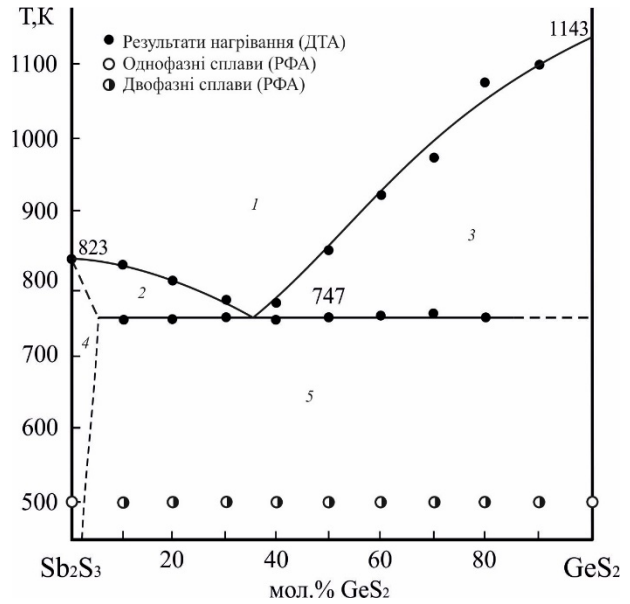


Рис. 3. Діаграма стану системи $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ (1 – L; 2 – L+ β ; 3 – L+ GeS_2 ; 4 – β ; 5 – β + GeS_2)

Результати рентгенофазового аналізу зразків квазібінарної системи представлено на рис. 4. Зразки з вмістом 10-60 мол. % GeS_2 за даних умов є склом чи склокристалами, про що також повідомляють в літературі (Yanying, 2012). Це також підтверджують результати робіт (Zmrhalová, 2011), де вказується на двофазність скла.

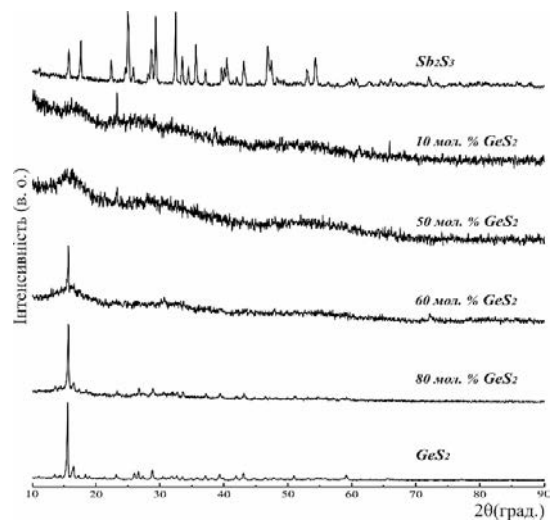


Рис. 4. Дифрактограми зразків системи $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$

Таблиця 3

Кристалографічні характеристики тернарних сполук за температури 500 К

Сполука	Сингонія	ПГ	Параметри ґратки, нм		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Cu_8GeS_6	орторомбічна	$Pmn2_1$	0,70409	0,6858	0,9861
Cu_4GeS_4	моноклінна	$P2_1/c$	0,9685	1,3159	0,99411
Cu_2GeS_2	ромбічна	$Imm2$	1,1319	0,3759	0,5211
Cu_4SbS_3	кубічна	$I-43m$	1,0310(4)	...	...
$CuSbS_2$	орторомбічна	$Pnma$	0,6025(3)	0,3799(1)	1,45063(9)

Результати рентгенофазового аналізу зразків квазібінарної системи представлено на рис. 4. Зразки з вмістом 10–60 мол. % GeS_2 за даних умов є склом чи склокристалами, про що також повідомляють в літературі (Yanying, 2012). Це також підтверджують результати робіт (Zmrhalová, 2011), де вказується на двофазність скла.

За результатами РФА і ДТА сплавів побудовано діаграму стану системи $Cu_3SbS_3 - Cu_2GeS_3$ (рис. 5), яка є евтектичного типу.

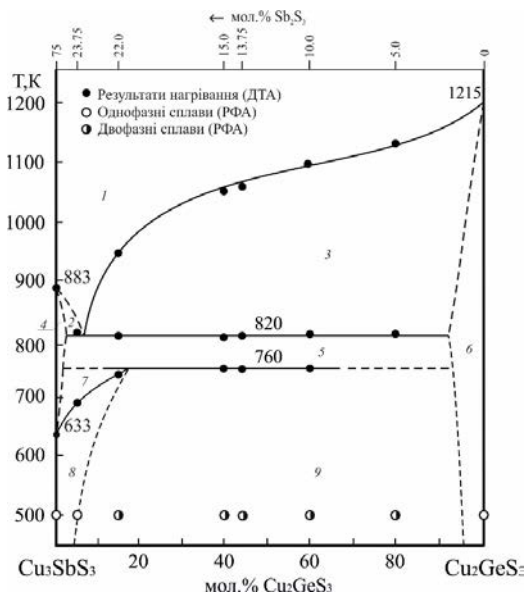


Рис. 5. Діаграма стану системи $Cu_3SbS_3 - Cu_2GeS_3$ (1 – L; 2 – L+ γ' ; 3 – L+ ϵ ; 4 – γ' ; 5 – $\gamma'+\epsilon$; 6 – ϵ ; 7 – $\gamma'+\gamma$; 8 – γ ; 9 – $\gamma+\epsilon$)

Солідусу системи відповідає процес: $L \leftrightarrow \gamma' + \epsilon$ (γ' , ϵ – тверді розчини на основі ВТМ- Cu_3SbS_3 та Cu_2GeS_3 відповідно) з координатами евтектичної точки: 7 мол. % Cu_2GeS_3 при 820 К. Горизонталь при 760 К відповідає перитектоїдному перетворенню $\gamma' + \epsilon \leftrightarrow \gamma$, що пов'язане з поліморфізмом на основі Cu_3SbS_3 .

Дифрактограми окремих зразків системи представлено на рис. 6, переріз є двофазною рівновагою.

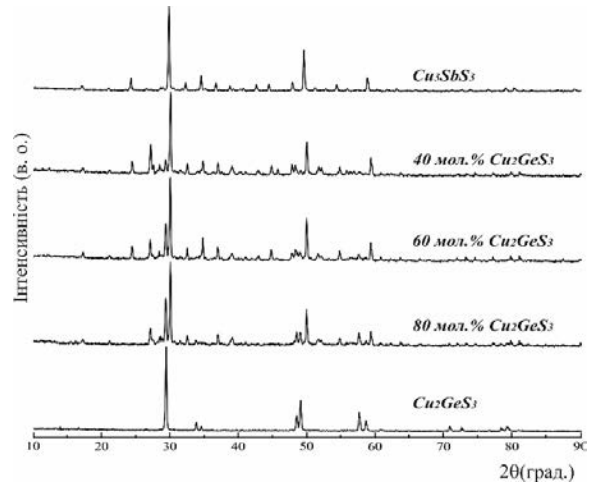


Рис. 6. Дифрактограми зразків перерізу $Cu_3SbS_3 - Cu_2GeS_3$

За результатами досліджень побудовано діаграму стану системи $Sb_2S_3 - Cu_2GeS_3$ (рис. 7), яка є евтектичного типу $L \leftrightarrow \beta + \epsilon$.

Ліквідус системи складається з кривих первинної кристалізації компонентів ϵ - та β -твердих розчинів на основі Cu_2GeS_3 та Sb_2S_3 відповідно. Координати евтектичної точки 18 мол. % $Cu_2GeS_3 - 82$ мол. % Sb_2S_3 , 710 К. Розчинність на основі стибій (III) сульфідів та купрум (I) тіогерманату становить не більше 5 мол. %. Результати РФА наведені на рис. 8.

Ізотермічний переріз системи $Cu_2S - Sb_2S_3 - GeS_2$ при 500 К

Фазові рівноваги в системі $Cu_2S - Sb_2S_3 - GeS_2$ за температури 500 К представлені ізотермічним перерізом (рис. 9). За цих умов на основі Cu_2S , Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 , Cu_8GeS_6 , Cu_2GeS_3 існують тверді розчини: α' , β , γ , δ , ϵ в межах 5–10 мол. % по перерізах. У системі існує вісім однофазних: α' , β , GeS_2 , γ , $CuSbS_2$, δ , Cu_4GeS_4 , ϵ ; тринадцять двофазних: $\alpha' - \gamma$, $\gamma - CuSbS_2$, $CuSbS_2 - \beta$, $\alpha' - \delta$, $\delta - Cu_4GeS_4$, $Cu_4GeS_4 - \epsilon$, $\epsilon - GeS_2$, $\beta - GeS_2$ (на обмежувочних сторонах), $\gamma - \delta$, $\gamma - Cu_4GeS_4$, $\gamma - \epsilon$,

CuSbS_2 – ϵ , β – ϵ (всередині системи); шість трифазних областей: $\alpha' - \gamma - \delta$, $\gamma - \delta - \text{Cu}_4\text{GeS}_4$, $\gamma - \text{Cu}_4\text{GeS}_4 - \epsilon$, $\text{CuSbS}_2 - \gamma - \epsilon$, $\beta - \text{CuSbS}_2 - \epsilon$, $\beta - \epsilon - \text{GeS}_2$. Сполука еквімолярного складу Cu_2GeS_3 на перерізі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2$ перебуває у рівновазі з Cu_3SbS_3 , CuSbS_2 та Sb_2S_3 .

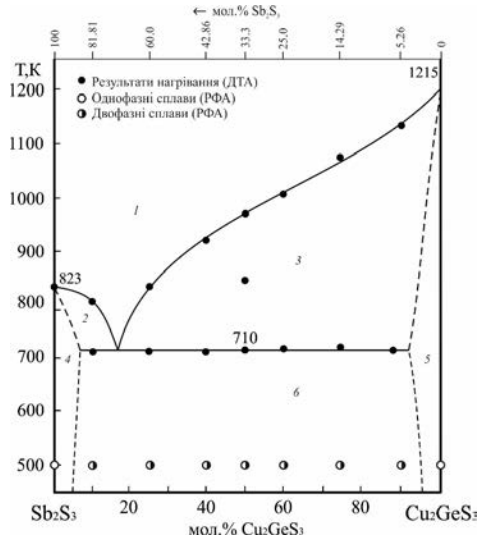


Рис. 7. Діаграма стану системи $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{GeS}_3$ (1 – L; 2 – L+ β ; 3 – L+ ϵ ; 4 – β ; 5 – ϵ ; 6 – β + ϵ)

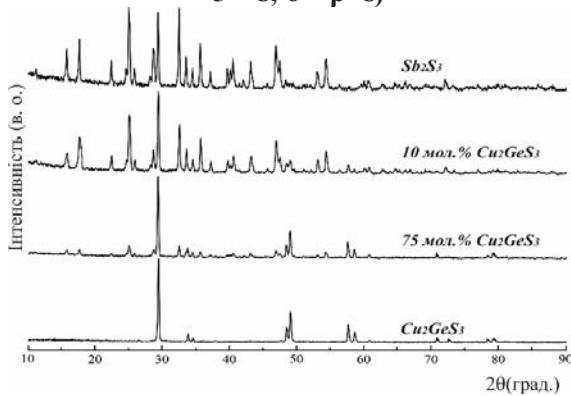


Рис. 8. Дифрактограми зразків перерізу $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{GeS}_3$

Рентгенограми проміжних зразків системи $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_8\text{GeS}_6$ (рис. 10) містять два набори дифракційних відбиттів, що належать вихідним компонентам чи їх суміші та для дифрактограм з умістом 88-90 мол. % Cu_8GeS_6 характерний набір відбиттів, що належить до ромбічної структури аргіродиту (ПГ $Pmn2_1$).

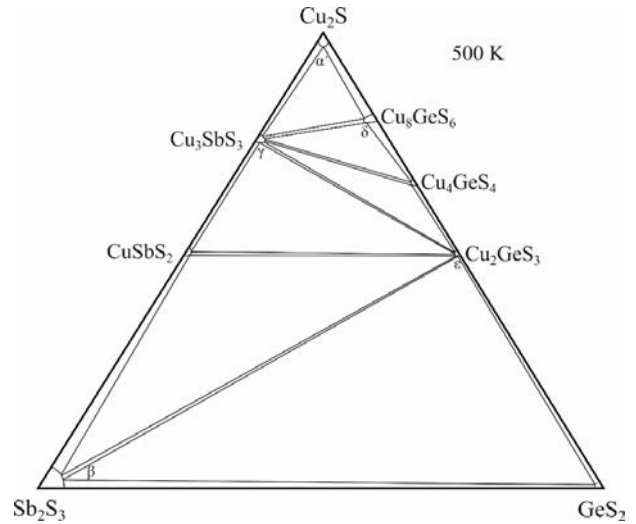


Рис. 9. Ізотермічний переріз системи $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ при 500 К

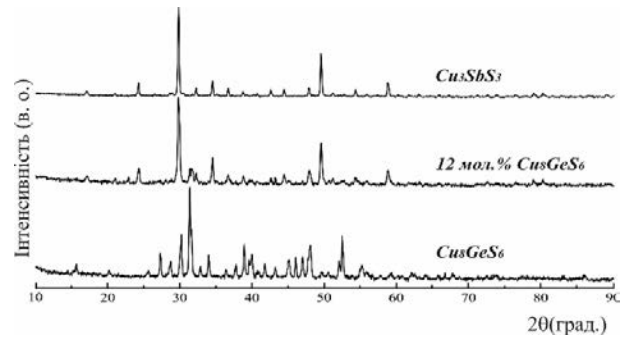


Рис. 10. Дифрактограми зразків перерізу $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_8\text{GeS}_6$

Кубічну структуру сполуки Cu_8GeS_6 зафіксувати практично не можливо. Так як незалежно від умов гарту ВТМ- Cu_8GeS_6 (ПГ $F-43m$) швидко переходить в НТМ- Cu_8GeS_6 (ПГ $Pmn2_1$). Параметри ґратки в межах області гомогенності змінюється від $a=0,70409$, $b=0,6858$, $c=0,9861$ нм для Cu_8GeS_6 до $a=0,6925$, $b=0,6632$, $c=0,9739$ нм.

4. Висновок

Таким чином, на основі результатів фізико-хімічного аналізу встановлено фазові рівноваги у квазіпотрійній системі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{GeS}_2$ при 500 К та побудовано три політермічні перерізи, які є евтектичного типу. На основі Cu_2S , Sb_2S_3 , Cu_3SbS_3 , Cu_8GeS_6 , Cu_2GeS_3 існують тверді розчини в межах 5-10 мол. % по перерізах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Погодін А. І., Кохан О. П. Триангуляція квазіпотрійної системи $\text{Cu}_2\text{S} - \text{CuI} - \text{P}_2\text{S}_5$. Вісн. Ужгор. нац. у-ту. Сер. Хімія. 2011. 26. С. 23-25.

2. Zhang Xi, Pollitt Stephan, Jung Gihun et al. Solution-Processed Cu₂S Nanostructures for Solar Hydrogen Production *Chem. Mater.* 2023. 35(6). P. 2371-2380. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.2c03489>
3. Квазіпотрійні халькогенідні системи Cu₂X – B^{II}X – D^{IV}X₂ (B^{II} – Zn, Cd, Hg; D^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se, Te) : монографія / Марчук О. В., Олексюк І. Д. Луцьк : Вежа-Друк. 2019. 136 с.
4. Aliev Z.S. Musayeva S.S., Jafarli F.Y., Babanly M.B. The phase equilibria in the Sb – Sb₂S₃ – SbI₃ ternary subsystem *Azerbaijan Chemical Journal.* 2015. 2. P. 57-61.
5. Bletskan D.I. Phase equilibrium in the system A^{IV} – B^{VI} - Part II: Systems germanium-chalcogen *Journal of Ovonic Research.* 2005. 1(5). P. 53-60.
6. Evans H. T. The crystal structures of flow chalcocite and djurleite. *Zeitschrift für Kristallographie.* 1979. 150. P. 299-320.
7. Dittmar G., Schäfer H. Die Kristallstruktur von H.T.-GeS₂. *Acta Crystallographica. Section B.* 1975. 31(8). P. 2060-2064.
8. Dittmar G., Schäfer H. Die Kristallstruktur von L.T.-GeS₂. *Acta Crystallographica. Section B.* 1976. 32(4). P. 1188-1192.
9. Bayliss P., Nowaski W. Refinement of the crystal structure of stibnite Sb₂S₃. *Zeitschrift für Kristallographie.* 1972. 135(2). P. 308-315.
10. Ahluwalia G. K. Applications of Chalcogenides: S, Se, and Te : book. Switzerland: Springer. 2017. 474 p.
11. Bagheri S.M., Alverdiyev I.J. , Imamaliyeva S.Z., Babanly M.B. The Phase Equilibria in the Cu₈GeS₆ – Cu₈GeSe₆ System and Thermodynamic Properties of Solid Solutions. *Chemistry Journal* 2014. 4(2). 26-31.
12. Hasaka M., Aki T., Morimura T., Kondo S.I. Thermoelectric properties of Cu – Sn – S. *Energy Conversion and Management.* 1997. 38. P. 855-859.
13. Kim K. M., Tampo H., Shibata H., Niki S. Growth and characterization of coevaporated Cu₂SnSe₃ thin films for photovoltaic applications. *Thin Solid Films.* 2013. 536. P. 111-114.
14. Reshak A. H., Auluck S., Piasecki M., Myronchuk G. L. et al. Absorption and photoconductivity spectra of Ag₂GeS₃ crystal: experiment and theory. *Spectrochimica Acta Part A. Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 2012. 93. P. 274-279.
15. Abbasova V. A., Alverdiyev I. J., Mashadiyeva L. F., Yusibov Y. A., Babanly M. B. Phase equilibria in the Cu₈GeSe₆ – Ag₈GeSe₆ system. *Azərbaycan Kimya Jurnalı.* 2017. 1. S. 30-33.
16. Onoda M., Chen X. A., Kato K., Sato A., Wada H. Structure refinement of Cu₈GeS₆ using X-ray diffraction data from a multiple-twinned crystal. *Acta Crystallographica. Section B.* 1999. 55. P. 721-725.
17. Ishii M., Onoda M., Chen Xue-an, Wada H. Vibrational spectra and phase transitions of Cu₈MX₆ (M – Si, Ge; X – S, Se) and Cu₄GeS₄. *Solid State Ionics.* 2000. 136-137. P. 403-407. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(00\)00469-0](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(00)00469-0)
18. Fiorentini Potenza M., Elli M., Cambi L. Solfogermanati cuprozi. *Atti Acad. naz. Lincei-Rend. Sc. fis. mat. e nat.* 1962. 32(2). P. 185-191.
19. Khanafer M., Rivet J., Flahaut J. Étude du système Cu₂S – GeS₂. Surstructure du composé Cu₂GeS₃. Transition de phases du composé Cu₈GeS₆. *Bulletin de la Société Chimique de France.* 1973. 3. P. 859-862.
20. Кохан О. П. Взаємодія в системах Ag₂X – B^{IV}X₂ (B^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se) і властивості сполук : автореф. дис.... канд. хім. наук : 02.00.01. Ужгород, 1996. 21 с.
21. Alverdiyev I. J. Refinement of phase diagram in the Cu₂S – GeS₂ system chemical problems. *Journal of Alloys and Compounds.* 2019. 3. P. 17.
22. Chen X., Onoda M., Wada H., Sato A., Nozaki H., Herbst-Irmer R. Preparation, Electrical Properties, Crystal Structure, and Electronic Structure of Cu₄GeS₄. *Journal of Solid State Chemistry.* 1999. 145(1). P. 204-211. <https://doi.org/10.1006/jssc.1999.8243>
23. Gulay L. D., Parasyuk O. V., Romanyuk Y. E. Preparation and crystal structure of the Cu₉GeS_{6x} (x=0.579) compound. *Journal of Alloys and Compounds.* 2002. 333(1-2). P. 109-112. [https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(01\)01726-1](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(01)01726-1)
24. Chalbaud L. M., Diaz de Delgado G., Delgado J. M., Mora A. E., Sagredo V. Synthesis and single-crystal structural study of Cu₂GeS₃. *Materials Research Bulletin.* 1997. 32(10). P. 1371-1376. [https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(97\)00115-3](https://doi.org/10.1016/S0025-5408(97)00115-3)
25. Peccerillo, E., Durose, K. Copper–antimony and copper–bismuth chalcogenides – Research opportunities and review for solar photovoltaics *MRS Energy & Sustainability: A Review Journal.* 2019. P. 1-59. DOI: 10.1557/mre.2018.10
26. Bryndzia, L.T., Kleppa, O.J. High-temperature reaction calorimetry of solid and liquid phases in part of the quasi-binary system Cu₂S – Sb₂S₃. *Am. Mineral.* 1988. 73. P. 707-713.
27. Du, B., Zhang, R., Liu, M. et al. Crystal structure and improved thermoelectric performance of iron stabilized cubic Cu₃SbS₃ compound. *J. Mater. Chem. C,* 2019. 7. P. 394-404. <https://doi.org/10.1039/c8tc05301d>
28. Pfitzner A., Reiser S. Refinement of the crystal structures of Cu₃PS₄ and Cu₃SbS₄ and a comment on normal tetrahedral structures. *Zeitschrift für Kristallographie.* 2002. 217(2). P. 51-54. <https://doi.org/10.1524/zkri.217.2.51.20632>

29. Avilov, A.S., Imamov, R.M., Muradyan, L.A. An electron diffraction study of some phases in the Cu – Sb – S system, *Sov. Phys.-crystallogr.* (1970). 15, P. 616-619.
30. Tomashyk V. Ternary Alloys Based on IV – VI and IV – VI₂ Semiconductors. United Kingdom, 2022. 382 p. <https://doi.org/10.1201/9781003123507>
31. Остап'юк Т. А., Змії О. Ф., Олексеюк І. Д. Фазові рівноваги у квазіпотрійній системі Cu₂Se – GeSe₂ – Sb₂Se₃. *Науковий вісник ВНУ. Серія «Хімія»*. 2009. 24. P. 23-28.
32. Березнюк, О., Алрікік, М., Когут, Ю., Піскач, Л. Фазові рівноваги в системах Cu(Ag)₂S – Sb₂S₃ – SnS₂. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. 4. С. 17-30. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-2>
33. Kraus W., Nolze G. POWDER CELL - a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns. *J. Appl. Cryst.* 1996. 29. P. 301-303. <https://doi.org/10.1107/S0021889895014920>
34. Yanying L., Changgui L., Zhuobin L., Feili W. Large tailorable range in optical properties of GeS₂-Sb₂S₃ chalcogenide glasses. *J. Optoelectron. Adv. M.* 2012. 14(9-10). P. 717-721.
35. Zmrhalová Z., Málek J., Švadlák D., Barták J. The crystallization kinetics of Sb₂S₃ in (GeS₂)_{0.4}(Sb₂S₃)_{0.6} glass. *Physica Status Solidi (C)*. 2011. 8(11-12). P. 3127-3130. DOI: 10.1002/pssc.201000771

REFERENCES:

1. Pohodin, A.I., Kokhan, O.P. (2011). Trianhuliatsiia kvazipotriinoi cystemy Cu₂S – CuI – P₂S₅ [Triangulation of the quasi-ternary system Cu₂S – CuI – P₂S₅]. *Visn. Uzhhor. nats. u-tu. Ser. Khimiia.– Uzhgorod Nat. Univ. Bull. Chemistry Series*, 26, 23-25. [in Ukrainian].
2. Zhang Xi, Pollitt Stephan, Jung Gihun et al. Solution-Processed Cu₂S Nanostructures for Solar Hydrogen Production *Chem. Mater.* 2023. 35(6). 2371-2380. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.2c03489> [in English].
3. Kvazipotriyni khal'kohenidni systemy Cu₂X – B^{II}X – D^{IV}X₂ (B^{II} – Zn, Cd, Hg; D^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se, Te) : monohrafiya / Marchuk O. V., Olekseyuk I. D. [Quasiternary chalcogenide sytems Cu₂X – B^{II}X – D^{IV}X₂ (B^{II} – Zn, Cd, Hg; D^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se, Te) : monograph]. 2019. Luts'k : *Vezha-Druk* – Lutsk : *Vezha-Printing*. 136 p. [in Ukrainian].
4. Aliev Z.S. Musayeva S.S., Jafarli F.Y., Babanly M.B. The phase equilibria in the Sb – Sb₂S₃ – SbI₃ ternary subsystem *Azerbaijan Chemical Journal*. 2015. 2. 57-61. [in English].
5. Bletskan D.I. Phase equilibrium in the system A^{IV} – B^{VI} - Part II: Systems germanium-chalcogen *Journal of Ovonic Research*. 2005. 1(5). 53-60. [in English].
6. Evans H.T. The crystal structures of low chalcocite and djurleite. *Z. Kristallogr.* 1979. 150. 299-320. [in English].
7. Dittmar G., Schäfer H. Die Kristallstruktur von H.T.-GeS₂. *Acta Crystallogr. B.* 1975. 31(8). 2060-2064. [in English].
8. Dittmar G., Schäfer H. Die Kristallstruktur von L.T.-GeS₂. *Acta Crystallogra. B.* 1976. 32(4). 1188-1192. [in English].
9. Bayliss P., Nowaski W. Refinement of the crystal structure of stibnite Sb₂S₃. *Z. Kristallogr.* 1972. 135(2). 308-315. [in English].
10. Applications of Chalcogenides: S, Se, and Te : book / Ed.: Ahluwalia G.K. *Springer. Cham*, (2017), 474 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-41190-3> [in English].
11. Bagheri S.M., Alverdiyev I.J., Imamaliyeva S.Z., Babanly M.B. The Phase Equilibria in the Cu₈GeS₆ – Cu₈GeSe₆ System and Thermodynamic Properties of Solid Solutions. *Chemistry Journal* 2014. 4(2). 26-31. [in English].
12. Hasaka, M., Aki T., Morimura, T., Kondo, S. I. Thermoelectric properties of Cu – Sn – S. *Energy Conversion and Management*. 1997. 38. P. 855-859. [in English].
13. Kim, K. M., Tampo, H., Shibata, H., Niki, S. Growth and characterization of coevaporated Cu₂SnSe₃ thin films for photovoltaic applications. *Thin Solid Films*. 2013. 536. P. 111-114. [in English].
14. Reshak, A.H., Auluck, S., Piasecki, M. Absorption and photoconductivity spectra of Ag₂GeS₃ crystal: experiment and theory. *Spectrochimica Acta Part A. Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2012. 93. 274-279. [in English].
15. Abbasova, V.A., Alverdiyev, I. J., Mashadiyeva, L. F. et al. Phase equilibria in the Cu₈GeSe₆ – Ag₈GeSe₆ system. *Azərbaycan Kimya Jurnalı*. 2017. 1. 30-33. [in English].
16. Onoda, M., Chen, X. A., Kato, K. et al. Structure refinement of Cu₈GeS₆ using X-ray diffraction data from a multiple-twinned crystal. *Acta Crystallogr. B.* 1999. 55. 721-725. [in English].
17. Ishii M., Onoda M., Chen Xue-an, et al. Vibrational spectra and phase transitions of Cu₈MX₆ (M – Si, Ge; X – S, Se) and Cu₄GeS₄. *Solid State Ionics*. 2000. 136-137. 403-407. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(00\)00469-0](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(00)00469-0) [in English].
18. Fiorentini Potenza, M., Elli, M., Cambi, L. (1962). Solfogermanati cuprozi. [Fiorentini Potenza M., Elli M., Cambi L. Cuprozial sulfogermanates] *Atti Acad. naz. Lincei-Rend. Sc. fis. mat. e nat. – Acts Acad. national Lincei-Rend. Phys. sc. mat. and nat.* 32(2). 185-191. [in Italian]
19. Khanafer, M., Rivet, J., Flahaut, J. Étude du système Cu₂S – GeS₂. Surstructure du composé Cu₂GeS₃. Transition de phases du composé Cu₈GeS₆. *Bulletin de la Société Chimique de France*. 1973. 3. 859-862. [in English].

20. Kokhan, O. P. Vzhajemodiya v sistemakh $Ag_2X - B^{IV}X_2$ ($B^{IV} - Si, Ge, Sn; X - S, Se$) i vlastivosti spoluk: dis. ... kand. khim. nauk : 02.00.01. [Interaction in $Ag_2X - B^{IV}X_2$ systems ($B^{IV} - Si, Ge, Sn; X - S, Se$) and properties of compounds: Ph.D. (Chemistry) Thesis]. Uzhhorod, 1996. 21 p. [in Ukrainian].
21. Alverdiyev, I. J. Refinement of phase diagram in the $Cu_2S - GeS_2$ system. *Chemical problems*. 2019. 3(17). 423-428. DOI: 10.32737/2221-8688-2019-3-423-428 [in English].
22. Chen, X., Onoda, M., Wada, H. et al. Preparation, Electrical Properties, Crystal Structure, and Electronic Structure of Cu_4GeS_4 . *Journal of Solid State Chemistry*. 1999. 145(1). 204-211. <https://doi.org/10.1006/jssc.1999.8243> [in English].
23. Gulay, L. D., Parasyuk, O. V., Romanyuk, Y. E. Preparation and crystal structure of the Cu_9GeS_{6-x} ($x=0.579$) compound. *J. Alloys Compds*. 2002. 333(1-2). 109-112. [https://doi.org/10.1016/S0925-8388\(01\)01726-1](https://doi.org/10.1016/S0925-8388(01)01726-1) [in English].
24. Chalbaud, L. M., Diaz de Delgado, G., Delgado, J. M. et al. Synthesis and single-crystal structural study of Cu_2GeS_3 . *Materials Research Bulletin*. 1997. 32(10). 1371-1376. [https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(97\)00115-3](https://doi.org/10.1016/S0025-5408(97)00115-3) [in English].
25. Peccerillo, E., Durose, K. Copper-antimony and copper-bismuth chalcogenides – Research opportunities and review for solar photovoltaics *MRS Energy & Sustainability: A Review Journal*. 2019. 1-59. DOI: 10.1557/mre.2018.10 [in English].
26. Bryndzia, L.T., Kleppa, O.J. High-temperature reaction calorimetry of solid and liquid phases in part of the quasi-binary system $Cu_2S - Sb_2S_3$. *Am. Mineral*. 1988. 73. 707-713. [in English].
27. Du, B., Zhang, R., Liu, M. et al. Crystal structure and improved thermoelectric performance of iron stabilized cubic Cu_3SbS_3 compound. *J. Mater. Chem. C*, 2019. 7. 394-404. <https://doi.org/10.1039/c8tc05301d> [in English].
28. Pfitzner, A., Reiser, S. Refinement of the crystal structures of Cu_3PS_4 and Cu_3SbS_4 and a comment on normal tetrahedral structures. *Z Kristallogr*. 2002. 217(2). 51-54. <https://doi.org/10.1524/zkri.217.2.51.20632> [in English].
29. Avilov, A.S., Imamov, R.M., Muradyan, L.A. An electron diffraction study of some phases in the Cu – Sb – S system, *Sov. Phys.-crystallogr*. (1970). 15. 616-619. [in English].
30. Tomashyk, V. Ternary Alloys Based on IV – VI and IV – VI₂ Semiconductors. United Kingdom, 2022. 382 p. <https://doi.org/10.1201/9781003123507> [in English].
31. Ostapyuk, T.A., Zmiy, O.F., Oleksyuk, I.D. (2009) Fazovi rivnovagi u kvazipotriyniy sistemi $Cu_2Se - GeSe_2 - Sb_2Se_3$. [Phase equilibria in the quasi-ternary system $Cu_2Se - GeSe_2 - Sb_2Se_3$]. *Nauk. visn. VNU. Seriya «Khimiya»*. – *VNU. Sci. Bull. Chemistry series*. 24. 23-28. [in Ukrainian].
32. Bereznyuk, O., Alrikik, M., Kogut, Yu., Piskach, L. (2022) Fazovi rivnovagi v sistemakh $Cu(Ag)_2S - Sb_2S_3 - SnS_2$. [Phase equilibria in $Cu(Ag)_2S - Sb_2S_3 - SnS_2$ systems]. *Problemi khimii ta stalogo rozvitku*. – *Problems of chemistry and sustainable development*. 2022. 4. 17-30. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-2> [in Ukrainian].
33. Kraus, W., Nolze, G. POWDER CELL – a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns. *J. Appl. Cryst*. 1996. 29. 301-303. <https://doi.org/10.1107/S0021889895014920> [in English].
34. Yanying, L., Changgui, L., Zhuobin, L., Feili, W. Large tailorable range in optical properties of $GeS_2 - Sb_2S_3$ chalcogenide glasses. *J. Optoelectron. Adv. M*. 2012, 14(9-10), 717-721 [in English].
35. Zmrhalov, Z., Málek, J., Švadlák, D., Barták, J. The crystallization kinetics of Sb_2S_3 in $(GeS_2)_{0.4}(Sb_2S_3)_{0.6}$ glass. *Physica Status Solidi (C)*. 2011. 8(11-12). 3127-3130. <https://doi.org/10.1002/pssc.201000771> [in English].

УДК 543

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-2>

Жолт КОРМОШ

кандидат хімічних наук, професор

ORCID: 0000-0001-6018-878

Scopus Author ID: 35580134800

Леонід ГНІТЕЦЬКИЙ

кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент, старший викладач кафедри освітніх, педагогічних технологій, ПВНЗ «Академія рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023

ORCID: 0000-0002-5677-457X

Андрій КОВАЛЬЧУК

старший викладач кафедри освітніх, педагогічних технологій,

ПВНЗ «Академія рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023

ORCID: 0000-0001-5698-393X

Ігор САХАРУК

старший викладач кафедри освітніх, педагогічних технологій,

ПВНЗ «Академія рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023

ORCID: 0000-0002-6145-4722

Олександр ХРИПЛЮК

старший викладач кафедри освітніх, педагогічних технологій,

ПВНЗ «Академія рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023

ORCID: 0000-0002-3761-4087

Вадим ТЕСУНОВ

викладач вищої категорії, викладач-методист циклової комісії з професійної та практичної підготовки «Луцький фаховий коледж рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023; викладач кафедри освітніх, педагогічних технологій, ПВНЗ «Академія рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023

ORCID: 0009-0006-5833-3096

Анатолій КРОТ

викладач вищої категорії, циклової комісії з базової та фундаментальної підготовки,

«Луцький фаховий коледж рекреаційних технологій і права» вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023; викладач кафедри освітніх, педагогічних технологій, ПВНЗ «Академія рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023

ORCID: 0009-0005-0991-7717

Степан БОРИСЮК

доцент кафедри освітніх, педагогічних технологій,

ПВНЗ «Академія рекреаційних технологій і права», вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023

ORCID: 000-0002-1718-8236

Людмила ПІСКАЧ

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

Максим КОРМОШ

студент, «Луцький фаховий коледж рекреаційних технологій і права»,
вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Україна, 43023
ORCID:

Бібліографічний опис статті: Кормош, Ж., Гнітецький, Л., Ковальчук, А., Сахарук, І., Тесунов, В., Крот, А., Борисюк, С., Піскач, Л., Кормош, М. (2023). Фотометричне визначення етакринової кислоти в лікарських формах та біорідинах спортсменів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 13–19, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-2>

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕТАКРИНОВОЇ КИСЛОТИ В ЛІКАРСЬКИХ ФОРМАХ ТА БІОРІДИНАХ СПОРТСМЕНІВ

Показано, що етакринова кислота (ЕК) з поліметиновим барвником астрафлосин FF (АФ) утворює іонний асоціат (ІА). Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем $EK^+ A\Phi^+$ та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки MM+. Отримані ІА досить добре екстрагуються різними ароматичними вуглеводнями. Максимальне вилучення ІА з водної фази досягається при рН 4–12. Вивчено вплив концентрації барвника на оптичну густину толуольних екстрактів іонних асоціатів ЕК з АФ. Екстракція ІА досягає максимального значення при концентрації реагенту $(1,5 - 3,0) \cdot 10^{-4}$ М. Рівновага екстракції досягається за 50–60 с. Стехіометрію ІА ЕК з АФ встановлено спектрофотометричними методами ізомольярних серій та зсуву рівноваги; співвідношення компонентів складає 1:1. Запропоновано схему утворення та екстракції ІА. Умовний молярний коефіцієнт поглинання ІА становить $1,0 \cdot 10^5$. Градувальний графік залежності оптичної густини екстрактів від концентрації етакринової кислоти описується рівнянням прямої $A = 0,010 + 0,052c$ в інтервалі концентрацій 0,7–45,4 мкг/см³ ЕК. Межа виявлення ЕК, розрахована за 3s-критерієм ($n = 5$; $P = 0,95$), становить 0,6 мкг/см³. Розроблена методика екстракційно-фотометричного визначення етакринової кислоти в лікарських формах та біорідинах спортсменів.

Ключові слова: етакринова кислота, екстракція, іонний асоціат, фотометричне визначення.

Zholt KORMOSH

PhD, Professor
ORCID: 0000-0001-6018-87870
Scopus Author ID: 35580134800

Leonid HNITETSKII

Candidate of Sciences in Physical Education and Sports, associate professor,
senior teacher of the Department of Educational, Pedagogical Technologies
Academy of Recreational Technologies and Law, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID: 0000-0002-5677-457

Andrii KOVALCHUK

Senior Teacher of the Department of Educational, Pedagogical Technologies
Academy of Recreational Technologies and Law, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID: 0000-0001-5698-393X

Igor SAKHARUK

senior teacher of the Department of Educational, Pedagogical Technologies
Academy of Recreational Technologies and Law, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID: 0000-0002-6145-4722

Oleksandr HRYPLIUK

senior teacher of the Department of Educational, Pedagogical Technologies
Academy of Recreational Technologies and Law, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID: 0000-0002-3761-4087

Vadym TESUNOV

teacher of the highest category, teacher – methodologist, cycle committee on professional and practical training,
“Lutsk Professional College of Recreational Technologies and Law”, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine;
43023; teacher of the Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational
Technologies and Law, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID: 0009-0006-5833-3096

Anatolii KROT

teacher of the highest category, cycle commission on basic and fundamental training, “Lutsk Professional
College of Recreational Technologies and Law”, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023; teacher of the
Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational Technologies and Law, 2,
Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID: 0009-0005-0991-7717

Stepan BORYSIUK

Associate Professor of the Department of Educational, Pedagogical Technologies
Academy of Recreational Technologies and Law, 2, Karbysheva Str., Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID: 000-0002-1718-8236

Lyudmyla PISKACH

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

Maxim KORMOSH

student, “Lutsk Professional College of Recreational Technologies and Law”, 2, Karbysheva Str.,
Lutsk, Ukraine, 43023
ORCID:

To cite this article: Kormosh, Zh., Hnitetskyi, L., Kovalchuk, A., Sakharuk, I., Tesunov, V., Krot,
A., Borysiuk, S., Piskach, L., Kormosh, M. (2023). Photometric determination of ethacrynic acid in
dosage forms and biofluids of athletes. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 13–19
doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-2>

PHOTOMETRIC DETERMINATION OF ETHACRYNIC ACID IN DOSAGE FORMS AND BIOFLUIDS OF ATHLETES

It was shown that ethacrynic acid (EA) with the polymethine dye astrafoxin FF (AF) forms an ionic associate (IA). Using the method of mathematical modeling, the energy efficiency of the formation of the IA is substantiated. Molecular modeling of EA + AF⁺ 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. The resulting AIs are fairly well

extracted with various aromatic hydrocarbons. The maximum extraction of IA from the aqueous phase is achieved at pH 4–12. The effect of dye concentration on the optical density of toluene extracts of ionic associates of EA with AF was studied. The extraction of IA reaches its maximum value at the concentration of the reagent $(1.5–3.0) \cdot 10^{-4}$ M. The extraction equilibrium is reached in 50–60 s. The stoichiometry of IA EA with AF was established by spectrophotometric methods of isomolar series and equilibrium shift; the ratio of components is 1:1. A scheme for the formation and extraction of IA is proposed. The conditional molar absorption coefficient of IA is $1.0 \cdot 10^5$. The graduation graph of the dependence of the optical density of the extracts on the concentration of EA is described by the equation of the straight line $A = 0.010 + 0.052c$ in the concentration range of 0.7–45.4 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ EC. The EA detection limit, calculated according to the 3s criterion ($n = 5$; $P = 0.95$), is 0.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$. A method of extraction-photometric determination of ethacrynic acid in medicinal forms and biofluids of athletes was developed.

Key words: ethacrynic acid, extraction, ion associate, photometric determination.

Вступ. Кислота етакринова – сечогінний засіб (діуретик), що діє на рівні петлі нефрону (петлевий діуретик). Використовується при лікуванні набряків, зумовлених наявністю застійної серцевої недостатності або патології нирок чи печінки. Також застосовується при лікуванні гіпертонії, зазвичай у комбінації з іншими ліками. При тривалому застосуванні кислота може викликати гіпокаліємію і гіпохолемічний алкалоз. Щоб уникнути цих ускладнень етакринову кислоту поєднують з калійзберігальними діуретиками. Для кислоти етакринової є також характерна ототоксична дія. Її не можна комбінувати з препаратами, які мають ото- і нефротоксичну дію (антибіотики з групи аміноглікозидів та цефалоспоринів) (Безуглий, 2008; Нековаль, Казанюк, 2011).

У спорті діуретики застосовуються спортсменами з метою: – швидкого зменшення маси тіла (до 2 кг за 2–3 доби) – це характерно для таких видів спорту – боротьба, дзюдо, бокс, де необхідно відповідати конкретній ваговій категорії у змаганнях, а також для гімнастів, стрибунів у висоту, атлетів, жокеїв, де зайва вага може перешкоджати успішному виступу; – для зневоднення організму («зайвої» підшкірної води) та підсушування м'язів – це характерно для бодібілдингу, щоб на змаганнях виглядати пружними, підсмаженими; – для прискорення виведення допінгових препаратів перед змаганнями – для прискорення виведення анаболічних стероїдів, психотропних препаратів або інших заборонених препаратів, у зв'язку з цим діуретики були включені до списку заборонених речовин Всесвітньої антидопінгової агенції (Штригол, 2016; Павлова, Виноградський, 2011; Cadwallader, de la Torre, Tieri, Botrè, 2010). Існує чимало випадків, коли спортсменів, зокрема і Українських, дискваліфікували через використання діуретиків (Темний бік перемог, 2010). Отже, є необхідність розробки методик визначення діуретиків.

Мета роботи – розробити методику визначення етакринової кислоти а провести апробацію у реальних об'єктах.

Матеріали та методи дослідження. Початковий 0,01 М стандартний розчин етакринової кислоти готували розчиненням точної наважки комерційного препарату 0,1 М розчині NaOH. Робочі $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-3}$ М розчини готували послідовним розведенням початкового бідистильованою водою на день експерименту. Водний $1 \cdot 10^{-3}$ М розчин астрафлосину FF (Jiacheng-Chem Enterprises Ltd., China) готували розчиненням точної наважки препарату в дистильованій воді. Кислотність середовища регулювали додаванням універсального буферного розчину, H_2SO_4 (ч.д.а.) або розчину NaOH (ч.д.а.). Іонну силу контролювали 2 М розчином Na_2SO_4 (ч.д.а.).

Апаратура. Спектрофотометричні вимірювання проводили на спектрофотометрі СФ-2000 (ЛОМО, Росія) в кварцових кюветах. рН розчинів контролювали потенціометрично іономіром AI-123 (MLsoft Instruments, Україна) зі скляним електродом.

Методика експерименту. Іонний асоціат етакринат астрафлосину FF (АФ) екстрагували при кімнатній температурі (18–20 °С) у пробірках із притертими пробками. Для цього в пробірці вводили досліджуваній розчин, що містить 0–300 мкг ЕК, додавали 0,5 см³ буферного розчину рН 6,5; 0,8 см³ $1 \cdot 10^{-3}$ М розчину АФ, 2 см³ 2 М розчину Na_2SO_4 і розбавляли водну фазу до 5 см³ дистильованою водою. Вводили 5 см³ толуолу та екстрагували протягом 1 хв. Паралельно проводили контрольний дослід. Після поділу фаз екстракти відокремлювали, центрифугували та вимірювали оптичну щільність на спектрофотометрі в кварцових кюветах ($l = 0,5$ см) при довжині хвилі 546 нм щодо дистильованої води.

Результати та їх обговорення. Математичне моделювання утворення ІА. Методом математичного моделювання обґрунтовано

енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем «ЕК⁻ + АФ⁺» 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 «ЕК⁻ + АФ⁺» визначали напівемпіричним методом РМЗ. 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. 1 наведені енергетичні характеристики взаємодії «ЕК⁻ + АФ⁺». Як видно, різниця в енергії утворення іонного асоціату і суми енергій утворення його компонентів дорівнює 292,6 кДж/моль. Отже, процес утворення ІА є термодинамічно вигідним.

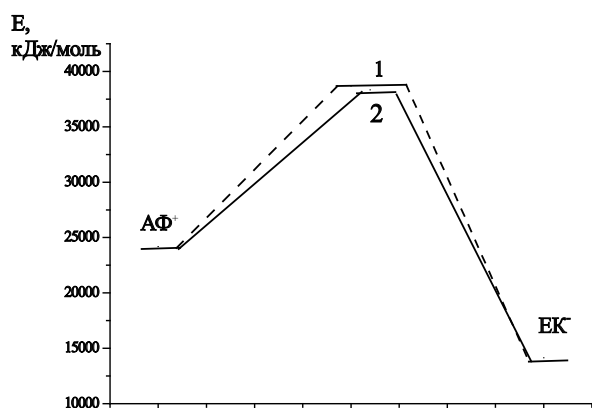


Рис. 1. Рівні енергії іонів ЕК⁻, АФ⁺ та їх ІА; (1) сума енергій ЕК⁻ + АФ⁺ і (2) енергія ІА

Таблиця 1
Енергетичні характеристики взаємодії
ЕК⁻ + АФ⁺

Частинка	Е, кДж/моль
АФ ⁺	24 187
ЕК ⁻	13667,8
Σ (ЕК ⁻ + АФ ⁺)	37974,3
ЕК ⁻ АФ ⁺	38266,9
Σ (ЕК ⁻ + АФ ⁺) – ЕК ⁻ АФ ⁺	292,6

Оптимальні умови для екстракції. ЕК є кислотою середньої сили (рК = 3,1) (Ventura, Segura, 1996). Як видно з рис. 2, в межах рН 4-14 домінує однозарядна аніонна форма. Залежно від кислотності середовища АФ може перебувати у трьох

формах – однозарядної іонної (R⁺), протонованої (RH²⁺) та „гідролізованої“ (ROH). Відповідні константи протолізу АФ складають: рК1 = -1,18 (константа протонування) та рК2 = 13,6 (константа гідролізу) (Bazel, Kormosh, Tolmachev, 2002). Барвник АФ у широкому інтервалі рН у водних розчинах домінує у вигляді однозарядної іонної форми, яка характеризується інтенсивним забарвленням: молярний коефіцієнт світлопоглинання при 540 нм становить 1,1·10⁵. Результати експериментального дослідження впливу кислотності водної фази на екстракцію толуолом ІА ЕК з АФ, показало, що рН максимальної екстракції ІА становить 4–12. Вивчено вплив концентрації барвника на оптичну густину толуольних екстрактів іонних асоціатів ЕК з АФ. Екстракція ІА досягає максимального значення при концентрації АФ (1,5–3,0)·10⁻⁴ М, після чого оптична густина екстрактів практично не змінюється (надлишок барвника залишається у водній фазі). Рівновага екстракції досягається за 50–60 с.

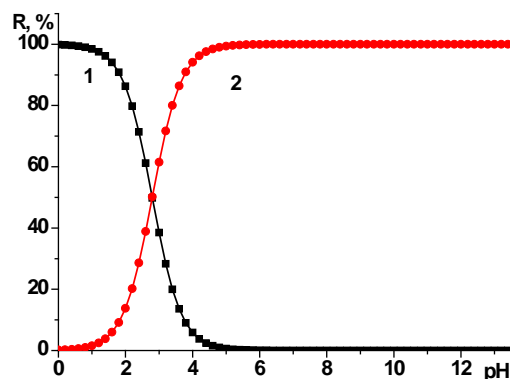


Рис. 2. Діаграма розподілу різних форм етакринової кислоти від рН середовища: 1 – молекулярна форма, 2 – аніонна форма

Іонні асоціати досить добре екстрагуються різними малополярними розчинниками. Враховуючи високу токсичність і канцерогенність бензолу, найкращими визнані о-ксилол та толуол. Надалі використовували толуол, тому що при цьому світлопоглинання екстракту контрольного дослідження є мінімальним. Стехіометрію ІА ЕК з АФ досліджували спектрофотометричними методами ізомолярних серій та зсуву рівноваги; співвідношення компонентів складає 1:1. Умовний молярний коефіцієнт поглинання ІА становить 1,0·10⁵. Градувальний графік залежності оптичної густини екстрактів від концентрації ЕК описується рівнянням прямої $A = 0,010 + 0,052c$ в інтервалі концентрацій

0,7–45,4 мкг/см³ ЕК. Межа виявлення ЕК, розрахована за 3s-критерієм (n = 5; P = 0,95), становить 0,6 мкг/см³. Розроблена методика екстракційно-фотометричного визначення етакринової кислоти в лікарських формах та біорідинах спортсменів. Результати визначення етакринової кислоти наведено в таблицях 2, 3.

Таблиця 2

Результати визначення етакринової кислоти у лікарських формах

Препарат	Вміст згідно специфікації, мг	Знайдено, мг
Урегит, Егіс (Угорщина)	50	49±1

Таблиця 3

Результати визначення фуросеміду у сечі спортсменів

Проба	Введено, мг	Знайдено, мг
1	50	50±2
2	40	38±3
3	80	78±2
4	55	54±1
5	60	59±2

Висновки. Показано, що етакринова кислота з поліметиновим барвником астрафлосин FF (АФ) утворює іонний асоціат (ІА). Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоєфективність формування ІА. Максимальне вилучення ІА з водної фази досягається при рН 4–12. Вивчено вплив концентрації барвника на оптичну густину толуольних екстрактів іонних асоціатів ЕК з АФ. Екстракція ІА досягає максимального значення при концентрації реагенту $(1,5 - 3,0) \cdot 10^{-4}$ М. Рівновага екстракції досягається за 50–60 с. Стехіометрію ІА ЕК з АФ встановлено спектрофотометричними методами ізомольних серій та зсуву рівноваги; співвідношення компонентів складає 1:1. Запропоновано схему утворення та екстракції ІА. Умовний молярний коефіцієнт поглинання ІА становить $1,0 \cdot 10^5$. Градувальний графік залежності оптичної густини екстрактів від концентрації етакринової кислоти описується рівнянням прямої $A = 0,010 + 0,052c$ в інтервалі концентрацій 0,7–45,4 мкг/см³ ЕК. Межа виявлення ЕК, розрахована за 3s-критерієм (n = 5; P = 0,95), становить 0,6 мкг/см³. Розроблена методика екстракційно-фотометричного визначення етакринової кислоти в лікарських формах та біорідинах спортсменів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Фармацевтична хімія: [арх.11 березня 2021]: підручник / ред. П.О. Безуглий. Вінниця: Нова Книга, 2008. 560 с. ISBN 978-966-382-113-9. 305 с.
2. Нековаль І.В., Казанюк Т.В. Фармакологія: підручник. 4-е вид., виправл. К.: ВСВ «Медицина», 2011. 520 с. ISBN 978-617-505-147-4.
3. Штригол С.Ю. Діуретики. Фармацевтична енциклопедія Харків: НФаУ. 2016. URL: <http://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2549/diuretiki>.
4. Павлова Ю., Виноградський Б. Відновлення у спорті. Монографія. Л: ЛДУФК; 2011. 204 с.
5. Cadwallader A.B, de la Torre X, Tieri A, Botrè F. The abuse of diuretics as performance-enhancing drugs and masking agents in sport doping: pharmacology, toxicology and analysis. *British Journal of Pharmacology*. 2010;161:1-16. PMID: 20718736. PMCID: PMC2962812. DOI: 10.1111/j.1476-5381.2010.00789.x.
6. Темний бік перемог. 2010. URL: <https://gk-press.if.ua/x3068/>
7. Ventura R. and Segura J., Detection of Diuretic Agents in Doping Control. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, Vol. 687, № 1, 1996, pp. 127-144. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4347\(96\)00279-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4347(96)00279-4).
8. Bazel Ya., Kormosh Zh., Tolmachev A. State of polymethine (styryl and carbocyanine) indolium derivatives in aqueous solution and their analytical properties. *J. Analyt. Chem*, 2002. 57. P. 118–124. <https://doi.org/10.1023/A:1014091218429>

REFERENCES:

1. Farmatsevychna khimiia: [arkh.11 bereznia 2021]: pidruchnyk / red. P.O. Bezuhlyi. Vinnytsia: Nova Knyha [Pharmaceutical chemistry: [arch. March 11, 2021]: textbook/ ed. P.O. Bezugliy. – Vinnytsia: Nova Kniga], 2008. – 560 p. – ISBN 978-966-382-113-9. – P. 305. [in Ukrainian]
2. Nekoval I.V., Kazaniuk T.V. Farmakolohiia: pidruchnyk. 4-e vyd., vypravl. K.: VSV «Medytsyna» [Nekoval I.V., Kazanyuk T.V. Pharmacology: textbook. – 4th ed., corrected. – K.: VSV "Medicine"], 2011. – 520 p. ISBN 978-617-505-147-4.
3. Shtryhol S.Iu. Diuretyky. Farmatsevychna entsyklopediia Kharkiv: NFAU [Shtrygol S.Yu. Diuretyky. Farmatsevychna entsyklopediya [Pharmaceutical encyclopedia]. Kh: NFAU]; 2016. [in Ukrainian]. Available from: <http://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2549/diuretiki>

4. Pavlova Yu., Vynohradskyi B. Vidnovlennia u sporti. Monohrafiia. L: LDUFK [Pavlova Yu, Vynogradskyy B. Vidnovlennya u sporti [Recovery in sports]. Monografiya. L: LDUFK]; 2011. 204 s. [in Ukrainian]
5. Cadwallader A.B, de la Torre X, Tieri A, Botrè F. The abuse of diuretics as performance-enhancing drugs and masking agents in sport doping: pharmacology, toxicology and analysis. *British Journal of Pharmacology*. 2010;161:1-16. PMID: 20718736. PMCID: PMC2962812. DOI: 10.1111/j.1476-5381.2010.00789.x
6. Temnyi bik peremoh [The dark side of victory]. <https://gk-press.if.ua/x3068/>. [in Ukrainian].
7. Ventura R. and Segura J., Detection of Diuretic Agents in Doping Control. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, Vol. 687, № 1, 1996, pp. 127–144. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4347\(96\)00279-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4347(96)00279-4).
8. Bazel Ya., Kormosh Zh., Tolmachev A. State of polymethine (styryl and carbocyanine) indolium derivatives in aqueous solution and their analytical properties. *J. Analyt. Chem.* 2002. 57. P. 118–124. <https://doi.org/10.1023/A:1014091218429>

УДК 543

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-3>

Жолт КОРМОШ

кандидат хімічних наук, професор

ORCID: 0000-0001-6018-8787

Scopus Author ID: 35580134800

Микола ШЕВЧУК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства,

Луцький національний технічний університет,

вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43000

ORCID: 000-0002-6602-2929

Наталія КОРМОШ

викладач, Волинський медичний інститут,

вул. Лесі Українки, 2, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43000

ORCID: 0000-0002-4272-888X

Scopus Author ID: 23018964400

Катерина ЛЮШУК

кандидат педагогічних наук, викладач,

Волинський медичний інститут, вул. Лесі Українки, 2, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43000

ORCID: 0000-0003-2189-0332

Світлана КОРОЛЬЧУК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій,

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-5830-3966

Тетяна САВЧУК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії

Волинського національного університету імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0001-9416-0643

Оксана ЮРЧЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії,

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-6602-2929

Людмила ПИСКАЧ

кандидат 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: 0000-0003-3117-4006

Світлана БОРКОВА

викладач, Ківерцівський фаховий медичний коледж

Волинської обласної ради, вул. Київська, 4, м. Ківерці, Волинська обл., Україна, 45200

Бібліографічний опис статті: Кормош, Ж., Шевчук, М., Кормош, Н., Люшук, К., Корольчук, С., Савчук, Т., Юрченко, О., Піскач, Л., Боркова, С. (2023). Потенціометричний сенсор для визначення нафазоліну. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 20–25, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-3>

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАФАЗОЛІНУ

Розвиток прикладної іонометрії на даному етапі 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 катіону нафазоліну (NAF^+) з метиловим оранжевим (MO) було досліджено. Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем $\text{MO} + \text{NAF}^+$ та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+. Розроблено нафазолін-селективний сенсор із пластифікованою полівінілхлоридною мембраною. Електрод містить іонний асоціат нафазоліну з метиловим оранжевим. Для моделювання складу мембрани як матрицю використовували ПВХ; досліджено мембрани, пластифіковані дибутилфталатом (ДФ), діетилфталатом (ДЕФ), діоктилфталатом (ДОФ), дінонілфталатом (ДНФ), дибутилсебацінатом (ДС), трикрезилфосфатом (ТКФ). Встановлено, що природа пластифікатора децю впливає на крутизну і до певної міри на межу виявлення сенсорів. Відгук лінійний у межах зміни концентрації NAF -іонів $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л із крутизною електродної функції $53,1 \pm 1,0$ мВ/рС. Сенсор має швидкий час відгуку 10 с і може використовуватися не менше 8 тижнів без будь-яких відхилень у довгостроковій перспективі. Сенсори з більшим вмістом пластифікатора працюють довше, ніж з меншим вмістом. Електрод можна використовувати у діапазоні рН 4,0–10,0. Були досліджені коефіцієнти селективності для нафазоліну по відношенню до іонів, що потенційно можуть заважати. Для оцінки розроблених сенсорів було проведено їх апробацію щодо нафазоліну в модельних розчинах і лікарських формах. Даний сенсор використовували як індикаторний електрод при потенціометричному визначенні нафазоліну у лікарських формах.

Ключові слова: нафазолін-селективний сенсор, потенціометрія, визначення нафазоліну.

Zholt KORMOSH

PhD in Chemistry, Professor

ORCID: 0000-0001-6018-8787

Scopus Author ID: 35580134800

Mykola SHEVCHUK

PhD in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Science, Lutsk National Technical University, str. Lvivska, 75, Lutsk, Volyn region, Ukraine

ORCID: 000-0002-6602-2929

Natalia KORMOSH

Lecturer, Volyn Medical Institute, str. Lesi Ukrainky, 2, Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43000

ORCID: 0000-0002-4272-888X

Scopus Author ID: 23018964400

Kateryna LYUSHUK

Candidate of Pedagogical Sciences, Lecturer,

Volyn Medical Institute, str. Lesi Ukrainky, 2, Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43000

ORCID: 0000-0003-2189-0332

Svitlana KOROLCHUK

PhD in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Inorganic and Physical Chemistry of Lesia Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-5830-3966

Tatiana SAVCHUK

PhD in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Inorganic and Physical Chemistry of Lesia Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Ave., Lutsk, Ukraine, 43025
ORCID: 0000-0001-9416-0643

Oksana YURCHENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Inorganic and Physical Chemistry of Lesia Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Ave., Lutsk, Ukraine, 43025
ORCID: 0000-0002-6602-2929

Lyudmyla PISKACH

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

Svitlana BORKOVA

teacher, Kivertsi Vocational Medical College of the Volyn Regional Council, str. Kyivska, 4, Kivertsy, Volyn region, Ukraine, 45200

To cite this article: Kormosh, Zh., Shevchuk, M., Kormosh, N., Lyushuk, K., Korolchuk, S., Savchuk, T., Yurchenko, O., Piskach, L., Borkova S. (2023). Potentiometrychnyi 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>

POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF NAPHAZOLIN

The development of applied ionometry at this stage requires both theoretical research, invested in elucidating 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. functional properties of these materials. 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 cation naphazoline (NAF^+) with methyl orange (MO^-) was studied. Using the method of mathematical modeling, the energy efficiency of the formation of the IA is substantiated. Molecular modeling of $MO^- + NAF^+$ 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 naphazoline-selective sensor with a plasticized polyvinyl chloride membrane was developed. The electrode contains an ionic associate of naphazolinium with methyl orange. 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 sebacenate (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 changes in the NAF ion concentration of $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ mol/l with a slope of the electrode function of 53.1 ± 1.0 mV/pC. The sensor has a fast response time of 10 s and can be used for at least 8 weeks without any deviations in the long term. Sensors with a higher content of plasticizer work longer than with a lower content. The electrode can be used in the pH range of 4.0–10.0. Selectivity coefficients for naphazoline with respect to potentially interfering ions were investigated. To evaluate the developed sensors, they were tested against naphazoline in model solutions and dosage forms. This sensor was used as an indicator electrode in the potentiometric determination of naphazoline in medicinal forms.

Key words: naphazoline-selective sensor, potentiometry, determination of naphazoline.

Нафазолін (Наф) – це лікарський засіб, який використовується як протинабряковий засіб і судинозвужувальний засіб, що додається до очних крапель для зняття червоних очей. Він швидко знімає набряк при нанесенні на слизові оболонки. Це симпатоміметичний засіб із вираженою альфа-адренергічною активністю, який діє на альфа-рецептори в артері-

олах кон'юнктиви, викликаючи звуження, що призводить до зменшення застійних явищ. Він був запатентований у 1934 році, а в медичному застосуванні увійшов у 1942 році (Fischer, Ganellin, 2006).

Очні краплі, які звужують набряклі кровоносні судини (офтальмологічні артерії та офтальмологічні вени), щоб зменшити чер-

вони очі. Нафазолін є змішаним агоністом α_1 - та α_2 -адренергічних рецепторів. (Hosten, Snyder, 2020).

У зв'язку з широким застосуванням Наф є необхідність його аналітичного контролю.

У літературі відомі способи його визначення; спектрофотометричний (Souri et al., 2006) та інші (Kelani, 2021).

Метою даної роботи було вивчення можливості застосування виділеного іонного асоціату (ІА) нафазоліну з метиловим оранжевим, як електродоактивної речовини пластифікованих ІСЕ та створення на цій основі нового потенціометричного сенсора для визначення нафазоліну.

Матеріали та методи дослідження. Іонні асоціати отримували шляхом осадження при змішуванні розчину нафазоліну ($1 \cdot 10^{-2}$ моль/л) з МО у співвідношенні 1:1. Суміш перемішували та залишали при кімнатній температурі на 2 сутки. Випавший осад, відфільтровували, кілька разів промивали холодною водою і сушили при кімнатній температурі протягом 2-3 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 (ДФБ), дибутилсебаценат (ДБС), динонілфталат (ДНФ), діетилфталат (ДЕФ), трикрезилфосфат (ТКФ) та перемішували до одержання однорідної маси. Отриману суміш переносили у форму (кільце діаметром 1,5 см), попередньо відшлифовану 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 іономіром АІ-123 при кімнатній температурі, як електрод порівняння використовували стандартний хлоридсрібний електрод ЭВЛ-1МЗ. Результати та їх обговорення. На основі констант протонування Наф та дисоціації МО розраховані діаграми розподілу різних форм від рН. Як видно з рис. 1 Наф існує в однозарядній катіонній формі при рН менше 10, а МО існує переважно в однозарядній аніонній формі при рН більше 3,7. Отже, найбільш імовірні умови утворення іонного асоціату при рН 4-10.

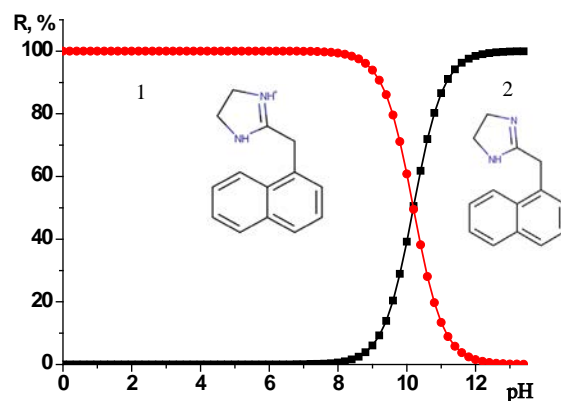


Рис. 1. Розподіл форм нафазоліну від рН середовища (1-катіонна форма; 2-молекулярна форма)

Математичне моделювання утворення ІА.

Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем «МО⁻+Наф⁺» та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протіонів відносно одного одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+. Стандартну ентальпію (ΔH_0) утворення іонів та асоціату «МО⁻ + Наф⁺» визначали напівемпіричним методом РМЗ. 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. 2 наведені енергетичні характеристики взаємодії «Наф⁺ + МО⁻».

Таблиця 1

Енергетичні характеристики взаємодії МО⁻ + НАФ⁺

Частинка	E, кДж/моль
НАФ ⁺	13338,7
МО ⁻	15814,4
Σ (МО ⁻ + НАФ ⁺)	29581,8
МО-НАФ ⁺	29581,8
Σ (МО ⁻ + НАФ ⁺) – МО-НАФ ⁺	428,7

Рис. 2. Рівні енергії іонів МО⁻, НАФ⁺ та їх ІА; (1) сума енергій МО⁻ + НАФ⁺ і (2) енергія ІА

Як видно, різниця в енергії утворення іонного асоціату і суми енергій утворення його компонентів дорівнює 428,7 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 Нафазоліну в широкому інтервалі: $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л. Досліджено вплив вмісту електроактивної 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 Нафазоліну $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л, крутість електродної функції для мембран з різними складами ЕАВ (1 – 5%) нижче за теоретичне значення Нернстівської функції а чутливість становить $n \cdot 10^{-5}$ моль/л. Вивчали вплив різних факторів на електрохімічні властивості одержаних ІСЕ – рН, час відгуку, дрейф потенціалу, вплив внутрішнього розчину. Показано, що робочий інтервал сенсора становить рН 4,0–10,0. Дрейф потенціалу складає 1–3 мВ/год. Стабільні значення електродних потенціалів встановлюються протягом 3–10 с. Синтезовані мембрани зберігають показники від 1 до 3 міс. Вивчено вплив внутрішнього розчину на електрохімічні властивості ІСЕ. Для цього використовували розчини Нафазолін з концентрацією $1 \cdot 10^{-2}$, $1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Встановлено, що концентрація внутрішнього розчину не впливає на потенціал ІСЕ. Коефіцієнти потенціометричної селективності (Нафазолін-селективних сенсорів визначали для ряду видів іонів за допомогою окремих розчинів. Вплив деяких неорганічних катіонів досліджували, використовуючи рівняння Нікольського-Ейзенмана. Коефіцієнти селективності, знайдені цим методом для однозарядних іонів, описується рівнянням: де k_i і k_j – індивідуальні коефіцієнти розподілу головних та сторонніх іонів, які залежать тільки від стандартних вільних енергій гідратації та сольватації, та являють собою концентрації вільних (не пов'язаних в іонні пари з іонообмінником) іонів і та j у фазі мембрани, за умови, що всі

обмінні центри зайняті лише і іонами або лише j іонами відповідно. Вивчено селективність сенсорів щодо іонів NH_4^+ , Cu^{2+} , K^+ , Na^+ , Co^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , 2,3,5-трифенілтетразолій хлорид, N-цетилпіридиній, тетраметиламоній бромід, тетрабутиламоній хлорид, бензалконій хлорид.

Методика визначення. До аліквотної частини препарату додавали фоновий розчин з рН 4. Проводили 5 паралельних вимірювань методом прямої потенціометрії (P=0,95) (табл. 2).

Таблиця 2

Результати визначення нафтизину в лікарських формах (n = 5; P = 0,95)

Препарат	Регламентований вміст, мг	Знайдено, мг
Нафтизин, АТ «Фармак», Україна	0,50	0,50±0,01
Нафтизин, АТ «Фармак», Україна	1,00	0,99±0,02
Санорин, Тева Чех Індастріз с. р. о., Санека Фармасьютікалз АТ, Чеська республіка	1,00	0,99±0,01
Санорин, Тева Чех Індастріз с. р. о., Санека Фармасьютікалз АТ, Чеська республіка	0,50	0,50±0,02

Висновок. Показано, що синтезований іонний асоціат нафазоліну з метиловим оранжевим може бути використаний як ЕАР для визначення нафазоліну у лікарських формах. Досліджено умови роботи запропонованого сенсора (вплив рН розчину, внутрішнього розчину, природи пластифікатора, концентрації нафазолін-іонів, часу відгуку, час життя електрода та ін.) вивчено питання селективності ІСЕ. На основі отриманих результатів розроблено нову надійну методику потенціометричного визначення нафазоліну, яка апробована при його визначенні у лікарських формах.

ЛІТЕРАТУРА:

- Fischer J, Ganellin C.R. Analogue-based Drug Discovery. John Wiley & Sons. 2006. 552 p. ISBN 9783527607495.
- Hosten L.O, Snyder C. Over-the-Counter Ocular Decongestants in the United States – Mechanisms of Action and Clinical Utility for Management of Ocular Redness. *Clinical Optometry*. 2020. Vol. 12. P. 95–105. doi:10.2147/OPTO.S259398. PMC 7399465. PMID 32801982.
- Souri E., Amanlou M., Farsam H., and Afshari A. A Rapid Derivative Spectrophotometric Method for Simultaneous Determination of Naphazoline and Antazoline in Eye Drops. *Chem. Pharm. Bull.* 2006. Vol. 54(1). P. 119-122. DOI:10.1248/cpb.54.119.

4. Kelani M.K., Hegazy M.A., Hassan A.M., and Tantawy M.A. Determination of naphazoline HCl, pheniramine maleate and their official impurities in eye drops and biological fluid rabbit aqueous humor by a validated LC-DAD method. *RSC Adv.*, 2021, Vol. 11, P. 7051-758. DOI: 10.1039/d0ra10598h.

REFERENCES:

1. Fischer J, Ganellin C.R. (2006) *Analogue-based Drug Discovery*. John Wiley & Sons. 552 p. ISBN 9783527607495. [in English].

2. Hosten L.O, Snyder C. (2020) Over-the-Counter Ocular Decongestants in the United States – Mechanisms of Action and Clinical Utility for Management of Ocular Redness. *Clinical Optometry*. Vol. 12. P. 95–105. doi:10.2147/OPTO.S259398. PMC 7399465. PMID 32801982. [in English].

3. Souri E., Amanlou M., Farsam H., and Afshari A. A. (2006) Rapid Derivative Spectrophotometric Method for Simultaneous Determination of Naphazoline and Antazoline in Eye Drops. *Chem. Pharm. Bull.* Vol. 54(1). P. 119-122. DOI:10.1248/cpb.54.119. [in English].

4. Kelani M.K., Hegazy M.A., Hassan A.M., and Tantawy M.A. (2021) Determination of naphazoline HCl, pheniramine maleate and their official impurities in eye drops and biological fluid rabbit aqueous humor by a validated LC-DAD method. *RSC Adv.*, Vol. 11, P. 7051-758. DOI: 10.1039/d0ra10598h. [in English].

УДК 669-172:(546.57+546.86+546.22)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-4>

Олександр КОХАН

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри неорганічної хімії,

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, Україна, 88000

ORCID: 0000-0003-1534-6779

Мирон РУДИШ

кандидат фізико-математичних наук, дослідний доцент кафедри теоретичної фізики,

Університет імені Яна Длугоша в Ченстохові, ал. Армії Крайової, 13/15, Ченстохова, Польща, 42-200

ORCID: 0000-0002-5431-5652

Олександр СМІТЮХ

кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри неорганічної та фізичної хімії,

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0003-1632-5849

Олег МАРЧУК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії,

Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-5618-7156

Бібліографічний опис статті: Кохан, О., Рудиш, М., Смітюх, О., Марчук, О. Синтез та структурна гомогенність піраргіриту. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 26–31, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-4>

СИНТЕЗ ТА СТРУКТУРНА ГОМОГЕННІСТЬ ПІРАРГІРИТУ

Робота присвячена вивченню особливостей отримання монокристалів сполуки Ag_3SbS_3 (аналог природнього мінералу піраргіриту), що є перспективним матеріалом для нелінійної оптики, сенсорних технологій та оптоелектроніки. Монокристал сполуки Ag_3SbS_3 вироцували методом Бріджмена-Стокбаргера у вертикальній дво-зонній печі опору з програмованим управлінням регулювання температури. Температура зони розплаву складала 783 К, зони відпалу – 663 К. Ріст кристалу відбувався з швидкістю 0,10–0,24 мм/год; градієнт температури у зоні росту складав 4–6 К/мм. Для синтезу використовували попередньо очищену кварцеву ампулу із шихтою, що була вакуумована до залишкового тиску 10–2 Па. Для отримання монокристалу Ag_3SbS_3 використовували прості речовини (срібло, стибій та сірку) напівпровідникової чистоти. З метою встановлення фазового складу та розрахунку кристалічної структури, для взірця вироценого монокристалу отримували дифрактограму на рентгенівському апараті ДРОН 4-13 (CuK α -випромінювання; діапазон зйомки $10 \leq 2\theta \leq 80^\circ$; крок зйомки $0,02^\circ$; час відліку в точці 15° с). Кристалічну структуру розраховували методом Рітвельда. Для проведення розрахунків використовували пакет програм WinCSD. Кристалічна структура отриманого монокристалу сполуки Ag_3SbS_3 належить до тригональної сингонії (структурний тип Ag_3AsS_3 (прустит); просторова група $R\bar{3}c$; символ Пірсона $hR14,161$). Розраховані параметри елементарної комірки становлять: $a = 1,10402(9)$ нм, $b = 0,8713(1)$ нм, $V = 0,9197(3)$ нм³. У структурі Ag_3SbS_3 атоми Ag та S локалізовані в ПСТ 18b, а атоми Sb – в ПСТ 6a. Дослідження кількісного та якісного складу зразків вироценого монокристалу досліджуваної сполуки проводили методами енергодисперсійної спектроскопії (EDS) та енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX) (скануючий електронний мікроскоп Tescan Vega 3 LMU (SEM)). SEM-зображення та результати енергодисперсійного рентгенівського аналізу отримано при напрузі 20–25 кВ в умовах високого вакууму ($9,0 \cdot 10^{-2}$ Па).

Ключові слова: ріст кристалів, кристалічна структура, сульфід, елементарна комірка.

Oleksandr KOCHAN

PhD, Associative Professor, Associative Professor of the Department of Inorganic Chemistry, Uzhhorod National University, 46, Pidharna Str., Uzhhorod, Ukraine, 88000

ORCID: 0000-0003-1534-6779

Myron RUDYSH

PhD, associative professor of the Theoretical Physics, Jan Dlugosz University in Częstochowa, ale. Armii Krajowa, 13/15, Częstochowa, Poland, 42-200

ORCID: 0000-0002-5431-5652

Oleksandr SMITIUKH

PhD, Senior Lecturer of the Department of Inorganic and Physical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-1632-5849

Oleh MARCHUK

PhD, associative professor, Associative professor of the Department of Inorganic and Physical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-5618-7156

To cite this article: Kochan, O., Rudysh, M., Smitiuk, O., Marchuk, O. (2023). Syntez ta strukturna homohennist pirarhirytu [Synthesis and structure homogeneity of pyrargyrite]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 26–31, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-4>

SYNTHESIS AND STRUCTURE HOMOGENEITY OF PYRARGYRITE

The work is devoted to study peculiarities of obtaining single crystal of the Ag_3SbS_3 compound (the analogue of natural pyrargyrite). The material is prospective for non-linear optics, sensor technology and optoelectronics. The single crystal of the Ag_3SbS_3 compound was obtained with Bridgman-Stockbarger method in vertical two-zone resistance furnace with programmable temperature control. The temperature of the melt zone was 783 K, annealing zone – 663 K. Crystal growth was rapid 0,10-0,24 mm/h; the temperature gradient in the growth zone was 4-6 K/mm. For the synthesis, a pre-cleaned quartz ampoule with a composition that was vacuumed to a residual pressure of 10-2 Pa has been used. For the obtaining the single crystal of Ag_3SbS_3 individual components (silver, antimony and sulfur) with semiconductor purity were used. In order to analyze phase composition and calculate the crystal structure, the diffractogram of grown single crystal was obtained with using Diffractometer DRON- 4-13 (CuK α -radiation; the range $10 \leq 2\theta \leq 80^\circ$; step $0,02^\circ$; time 15° s). The crystal structure has been calculated by Rietveld method. A program package WinCSD was used for calculations. The crystal structure of single crystal of the Ag_3SbS_3 belongs to trigonal system (Structure Type Ag_3AsS_3 (Prustite); SG R3c; Pearson symbol hR14,161). The calculated lattice parameters are $a = 1.10402(9)$ nm, $b = 0.8713(1)$ nm, $V = 0.9197(3)$ nm³. In the structure of Ag_3SbS_3 Ag and S atoms are located in the site 18b and Sb atoms are in the site 6a. The study of the quantitative and qualitative composition of samples of the grown single crystal of the studied compound was carried out by the methods of energy dispersive spectroscopy (EDS) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) (scanning electron microscope Tescan Vega 3 LMU (SEM)). SEM images and results of energy dispersive X-ray analysis were obtained at a voltage of 20–25 kV under conditions of high vacuum ($9.0 \cdot 10^{-2}$ Pa).

Key words: grows of crystal, crystal structure, sulfides, and unit cell.

Актуальність проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Бінарні, тернарні та тетрарні халькогенідні напівпровідникові матеріали займають важливе місце серед функціональних матеріалів завдяки різноманіттю фізичних властивостей, які роблять їх перспективними для практичного застосування (Abbas, et al., 2022; Andriyevsky, et al., 2019; Alhebshi, et al., 2022; Petrus, et al., 2018). Тернарні напівпро-

відникові сполуки часто мають деякі властивості кращі, ніж бінарні матеріали, що спонукає до інтенсивних досліджень в цій галузі. Вони використовуються в оптоелектроніці (Gan, et al., 2022; Liu, et al., 2020), нелінійній оптиці (Elkatlawy, et al., 2022; Chung, et al., 2014) сенсорній техніці (Halenkovič, et al., 2022, p. 1009) та енергетиці (Benseddik, et al., 2020; Fabini, 2019).

Сульфід Ag_3SbS_3 володіє широким спектром фізичних властивостей, що є причиною перспективи його практичного використання. Для прикладу, піраргірит має потенційне застосування в нелінійній оптиці (Ewen, et al., 1983). Ag_3SbS_3 може бути використаний як каталізатор для фотохімічного розкладу деяких шкідливих органічних речовин (катионних, аніонних і нейтральних барвників), метиленового синього, метилового оранжевого, родаміну 6G і малахітового зеленого (Gusain, et al., 2014). Згідно з (Govindaraj, et al., 2023) матеріали на основі Ag_3SbS_3 є ефективними термоелектриками.

Мета дослідження. Метою представленого наукового доробку є вирощування монокристалу сполуки Ag_3SbS_3 , що є аналогом природнього мінералу піраргіриту, та дослідження його хімічного складу і структурної гомогенності.

Експериментальна частина. Для синтезу піраргіриту Ag_3SbS_3 використовували прості речовини високого ступеня чистоти: срібло (99,995%), стибій (99,999%) та сірку (99,999%), попередньо очищену багатократною вакуумною дистиляцією. Синтез вихідної шихти здійснювали у вакуумованій (0,13 Па) кварцовій ампулі з перемішуванням шляхом осьового обертання ампули (2 об/хв) у слабо похиленій печі опору з програмованим нагріванням і охолодженням. Режим синтезу: нагрівання до 723 К з швидкістю 50 К/год (витримка 24 год) та подальше підвищення температури з швидкістю 50 К/год до 823 К; витримка при максимальній температурі 12 год; охолодження з швидкістю 70 К/год до кімнатної температури.

Монокристал Ag_3SbS_3 вирощували методом Бріджмена-Стокбаргера у вертикальній двозонній печі опору (рис. 1) з програмованим регулятором температури. Температура зони розплаву складала 783 К, зони відпалу – 663 К. Вирощування проводили на монокристалічних затравках, сформованих попередньо у нижній (фігурній) частині ростового контейнера (рис. 2) методом збірної рекристалізації. Ріст кристалу відбувався з швидкістю 0,10–0,24 мм/год; градієнт температури у зоні росту складав 4–6 К/мм. Після відпалу протягом 72 год за температури 663 К кристали охолоджували до кімнатної температури з швидкістю 5 К/год.

Експериментальна дифрактограма (рис. 3) вирощеного монокристалу отримана на рентгенівському дифрактометрі ДРОН 4-13

(CuK_α випромінювання, $10 \leq 2\theta \leq 80^\circ$, крок зйомки $0,02^\circ$, час відліку в точці 15°C). Комплекс проведених розрахунків (пакет програм WinCSD (Akselrud, 2014) дозволяє стверджувати, що кристалічна структура тернарного халькогеніду Ag_3SbS_3 належить до тригональної сингонії (ПГ $R3c$; СП $hR14,161$). Параметри елементарної комірки становлять: $a = 1,10402(9)$ нм, $b = 0,8713(1)$ нм.

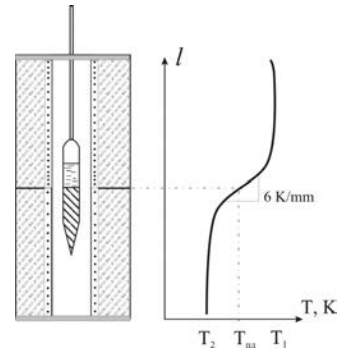


Рис. 1. Схема двозонної печі опору в методі Бріджмена-Стокбаргера

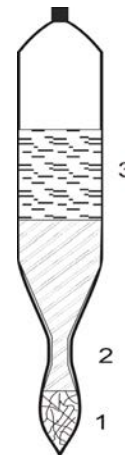


Рис. 2. Ростовий контейнер для вирощування монокристалу піраргіриту

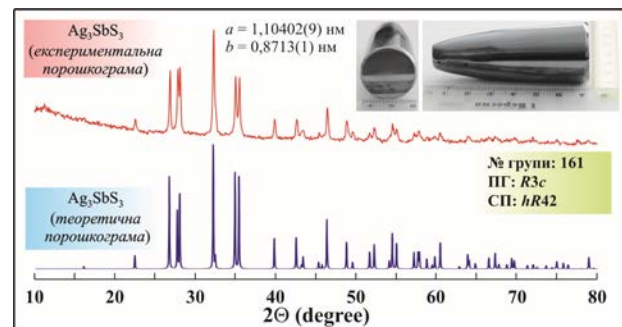


Рис. 3. Експериментальна (червона) та теоретична (синя) дифрактограми Ag_3SbS_3

Склад монокристалу. Для дослідження поверхні монокристалу було застосовано декілька X-променевих методів, які є інформативними та корисними при вивченні синтезованих матеріалів. На рис. 4 представлено SEM-зображення поверхні синтезованого монокристалу сполуки Ag_3SbS_3 . Отримане SEM-зображення показує сколену поверхню монокристалу при збільшенні (800 x). Як видно з зображення, поверхня отриманого зрізу є гомогенною з чіткими ділянками, що характеризуються рівністю та хорошою кристалічністю. Вигляд отриманого зображення вказує на відсутність інших фаз.

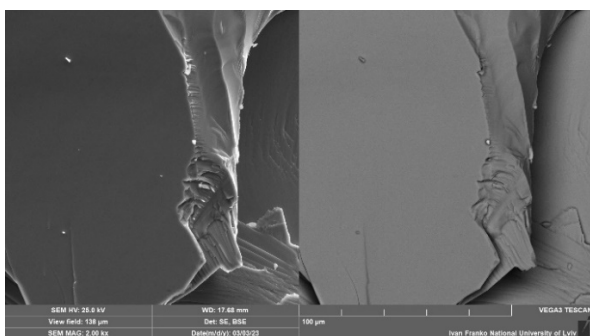


Рис. 4. Зображення зрізу поверхні монокристалу сполуки Ag_3SbS_3 зі збільшенням 800 x

Склад вирощеного монокристалу був перевірений за допомогою EDS спектрів на зрізі досліджуваного зразка. На рис. 5f представлено EDS спектри отриманого монокристалу сполуки Ag_3SbS_3 . Як видно з рисунку, EDS спектри в цій структурі включають характерні смуги відповідно до електронів атомів Ag, Sb і S, які вказують на елементарний склад, що співпадає з номінальним для сполуки Ag_3SbS_3 . На вставці вказані масові співвідношення компонентів.

Також склад і розподіл індивідуальних атомів був перевірений з використанням EDX спектрів. На рис. 6 представлено мапи розподілу хімічних елементів для L-серії Ag, L-серії

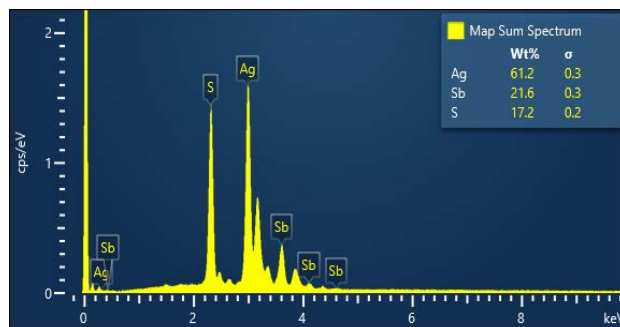


Рис. 5. EDS спектри сполуки Ag_3SbS_3

Sb і L-серії S (складові монокристалу Ag_3SbS_3) і їх загальну мапу. EDX спектри підтверджують присутність всіх елементів сполуки Ag_3SbS_3 . Присутності інших хімічних елементів не встановлено, що підтверджує високу чистоту вихідних компонентів взятих для синтезу.

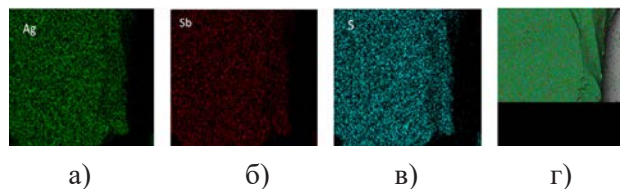


Рис. 6. EDX електронні мапи для атомів Ag (а), Sb (б), S (в); загальна EDX мапа (г)

Пораховане співвідношення $n(\text{Ag}) : n(\text{Sb}) : n(\text{S})$ є приблизно рівним 3 : 1 : 3, що узгоджується з хімічною формулою Ag_3SbS_3 . Як видно з рисунків, всі компоненти рівномірно розподілені по поверхні досліджуваного зразка, що підтверджує однофазність і високу чистоту синтезованого монокристалу.

Висновки

У роботі представлено результати вивчення особливостей отримання монокристалів сполуки Ag_3SbS_3 (аналог природнього мінералу піраргіриту), що є перспективним матеріалом для нелінійної оптики. Методами енергодисперсійної спектроскопії (EDS) та енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDX) встановлено якісний та кількісний склад зразків вирощеного монокристалу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Abbas, Z., Fatima K., Gorczyca, I., Irfan, M. Alotaibi, N. Alshahrani, T., Raza, H. H., Muhammad S. Proposition of new stable rare-earth ternary semiconductor sulfides of type LaTIS_2 (La = Er, Eu, Tb): Ab-initio study and prospects for optoelectronic, spintronic and thermoelectric applications. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2022, 146, 106662. doi: 10.1016/j.mssp.2022.106662
2. Andriyevsky, B., Kashuba, A. I., Kunyo I. M., Dorywalski, K., Semkiv, I. V., Karpa, I. V., Stakhura, V. B., Andriyevska, L., Piekarski, J., Piasecki, M. Electronic bands and dielectric functions of $\text{In}_{0.5}\text{Tl}_{0.5}\text{I}$ solid state solution with structural defects. *J. Electron. Mater.* 2019, 48, 5586-5594. doi: 10.1007/s11664-019-07404-2

3. Alhebshi, A., Sharaf Aldeen, E., Mim, R. S., Tahir B., Tahir, M. Recent advances in constructing heterojunctions of binary semiconductor photocatalysts for visible light responsive CO₂ reduction to energy efficient fuels: A review. *Int. J. Energy Res.* 2022, 46, 5523-5584. doi: 10.1002/er.7563
4. Petrus, R. Yu., Ilchuk, H. A., Sklyarchuk, V. M., Kashuba, A. I., Semkiv, I. V., Zmiiivska, E.O. Transformation of band energy structure of solid solutions CdMnTe. *J. Nano- electron. phys.* 2018, 10, 06042-1-06042-5. doi: 10.21272/jnep.10(6).06042
5. Gan, Y., Miao, N., Lan, P., Zhou, J., Elliott, S. R., Sun, Z. Robust design of high-performance optoelectronic chalcogenide crystals from high-throughput computation. *J. Am. Chem. Soc.* 2022, 144, 5878-5886. doi: 10.1021/jacs.1c12620
6. Liu, Y., Li, F., Huang, H., Mao, B., Liu, Y., Kang, Z. Optoelectronic and photocatalytic properties of I–III–VI QDs: Bridging between traditional and emerging new QDs, *J. Semicond.* 2020, 41, 091701-091713. doi: 10.1088/1674-4926/41/9/091701
7. Elkatlawy, S. M., El-Dosokey, A. H., Gomaa, H. M. Structural properties, linear, and non-linear optical parameters of ternary Se₈₀Te_{20-x}In_x chalcogenide glass systems. *Boletín de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio.* 2022, 61, 203-209. doi: 10.1016/j.bsecv.2020.09.007
8. Chung, I., Kanatzidis, M. G. Metal chalcogenides: a rich source of nonlinear optical materials. *Chem. Mater.* 2014, 26, 849-869. doi: 10.1002/chin.201412230
9. Halenkovič, T., Baillieu, M., Gutwirth, J. Němec, P., Nazabal, V. Amorphous Ge – Sb – Se – Te chalcogenide films fabrication for potential environmental sensing and nonlinear photonics, *J. Materiomics.* 2022, 8, 1009-1019. doi: 10.1016/j.jmat.2022.02.013
10. Benseddik, N., Belkacemi, B., Boukabrine, F., Ameer, K., Mazari, H., Boumesjed, A., Benyahya N., Benamara, Z. Numerical study of AgInTe₂ solar cells using SCAPS. *Adv. Mater. Technol.*, 2020, 8(1), 1-9.
11. Fabini, D. H., Koerner, M., Seshadri, R. Candidate inorganic photovoltaic materials from electronic structure-based optical absorption and charge transport proxies. *Chem. Mater.* 2019, 31, 1561-1574. doi: 10.1021/acs.chemmater.8b04542
12. Ewen P.J.S., Taylor W. The low-temperature Raman spectra of pyrargyrite (Ag₃SbS₃). *Solid Stat. Comm.* 1983, 45(3), 227-230. doi: 10.1016/0038-1098(83)90469-6
13. Gusain, M., Rawat, P., Nagarajan, R. Soft chemical synthesis of Ag₃SbS₃ with efficient and recyclable visible light photocatalytic properties. *Mat. Res. Bull.* 2014, 60, 872-875. doi: 10.1016/j.materresbull.2014.09.084
14. Govindaraj, P., Murugan, K., Veluswamy, P., Salleh, F., Venugopal, K. Efficacy of pyrostilpnite (Ag₃SbS₃) mineral as thermoelectric material: a first principles study. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 2023, 162, 107513. doi: 10.1016/j.mssp.2023.107513
15. Akselrud, L., Grin, Yu. WinCSD: software package for crystallographic calculations (Version 4). *J. Appl. Cryst.* 2014, 47, 803-805. doi: 10.1107/S1600576714001058

REFERENCES:

1. Abbas, Z., Fatima K., Gorczyca, I., Irfan, M. Alotaibi, N. Alshahrani, T., Raza, H. H., Muhammad S. (2022). Proposition of new stable rare-earth ternary semiconductor sulfides of type LaTlS₂ (La = Er, Eu, Tb): Ab-initio study and prospects for optoelectronic, spintronic and thermoelectric applications. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 146, 106662. doi: 10.1016/j.mssp.2022.106662
2. Andriyevsky, B., Kashuba, A. I., Kunyo I. M., Dorywalski, K., Semkiv, I. V., Karpa, I. V., Stakhura, V. B., Andriyevska, L., Piekarski, J., Piasecki, M. (2019). Electronic bands and dielectric functions of In_{0.5}Tl_{0.5}I solid state solution with structural defects. *J. Electron. Mater.* 48, 5586-5594. doi: 10.1007/s11664-019-07404-2
3. Alhebshi, A., Sharaf Aldeen, E., Mim, R. S., Tahir B., Tahir, M. (2022). Recent advances in constructing heterojunctions of binary semiconductor photocatalysts for visible light responsive CO₂ reduction to energy efficient fuels: A review. *Int. J. Energy Res.* 46, 5523-5584. doi: 10.1002/er.7563
4. Petrus, R. Yu., Ilchuk, H. A., Sklyarchuk, V. M., Kashuba, A. I., Semkiv, I. V., Zmiiivska, E.O. (2018). Transformation of band energy structure of solid solutions CdMnTe. *J. Nano- electron. phys.* 10, 06042-1-06042-5. doi: 10.21272/jnep.10(6).06042
5. Gan, Y., Miao, N., Lan, P., Zhou, J., Elliott, S. R., Sun, Z. (2022). Robust design of high-performance optoelectronic chalcogenide crystals from high-throughput computation. *J. Am. Chem. Soc.* 144, 5878-5886. doi: 10.1021/jacs.1c12620
6. Liu, Y., Li, F., Huang, H., Mao, B., Liu, Y., Kang, Z. (2020). Optoelectronic and photocatalytic properties of I–III–VI QDs: Bridging between traditional and emerging new QDs, *J. Semicond.* 41, 091701-091713. doi: 10.1088/1674-4926/41/9/091701
7. Elkatlawy, S. M., El-Dosokey, A. H., Gomaa, H. M. (2022). Structural properties, linear, and non-linear optical parameters of ternary Se₈₀Te_{20-x}In_x chalcogenide glass systems. *Boletín de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio.* 61, 203-209. doi: 10.1016/j.bsecv.2020.09.007
8. Chung, I., Kanatzidis, M. G. (2014). Metal chalcogenides: a rich source of nonlinear optical materials. *Chem. Mater.* 26, 849-869. doi: 10.1002/chin.201412230

9. Halenkovič, T., Baillieul, M., Gutwirth, J. Němec, P., Nazabal, V. (2022). Amorphous Ge – Sb – Se – Te chalcogenide films fabrication for potential environmental sensing and nonlinear photonics, *J. Materiomics*. 8, 1009-1019. doi: 10.1016/j.jmat.2022.02.013
10. Benseddik, N., Belkacemi, B., Boukabrine, F., Ameer, K., Mazari, H., Boumesjed, A., Benyahya N., Benamara, Z. (2020). Numerical study of AgInTe₂ solar cells using SCAPS. *Adv. Mater. Technol.*, 8(1), 1-9.
11. Fabini, D. H., Koerner, M., Seshadri, R. (2019). Candidate inorganic photovoltaic materials from electronic structure-based optical absorption and charge transport proxies. *Chem. Mater.* 31, 1561-1574. doi: 10.1021/acs.chemmater.8b04542
12. Ewen P.J.S., Taylor W. (1983). The low-temperature Raman spectra of pyrrargyrite (Ag₃SbS₃). *Solid Stat. Comm.* 45(3), 227-230. doi: 10.1016/0038-1098(83)90469-6
13. Gusain, M., Rawat, P., Nagarajan, R. (2014). Soft chemical synthesis of Ag₃SbS₃ with efficient and recyclable visible light photocatalytic properties. *Mat. Res. Bull.* 60, 872-875. doi: 10.1016/j.materresbull.2014.09.084
14. Govindaraj, P., Murugan, K., Veluswamy, P., Salleh, F., Venugopal, K. (2023). Efficacy of pyrostilpnite (Ag₃SbS₃) mineral as thermoelectric material: a first principles study. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 162, 107513. doi: 10.1016/j.mssp.2023.107513
15. Akselrud, L., Grin, Yu. (2014). WinCSD: software package for crystallographic calculations (Version 4). *J. Appl. Cryst.* 47, 803-805. doi: 10.1107/S1600576714001058

УДК 547.781 + 547.869

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-5>

Наталія СЛИВКА

кандидат хімічних наук, доцент, завідувач органічної та фармацевтичної хімії,
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025
ORCID: 0000-0002-3811-7138

Леся САЛІЄВА

кандидат хімічних наук, доцент органічної та фармацевтичної хімії,
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025
ORCID: 0000-0002-1047-8652

Елла КАДИКАЛО

кандидат хімічних наук, доцент органічної та фармацевтичної хімії,
Волинський національний університет імені Лесі Українки,
пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025
ORCID: 0000-0002-5613-1662

Тетяна БОРТНІК

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,
Поліської дослідної станції Національного наукового центру
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»,
вул. Шевченка, 35, м. Луцьк, Україна, 43000

Валентина ТОЛМАЧОВА

кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії,
Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова,
вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601
ORCID: 0000-0002-4082-3381

Олена КОВТУН

доцент кафедри хімії, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова,
вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601
ORCID: 0000-0002-2253-8472

Михайло БОВК

доктор хімічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу хімії
функціональних гетероциклічних систем, директор Інституту органічної хімії НАН України,
вул. Мурманська, 5, м. Київ, Україна, 02660
ORCID: 0000-0003-1753-3535

Бібліографічний опис статті: Сливка, Н., Салієва, Л., Кадикало, Е., Бортнік, Т., Толмачова, В., Ковтун, О., Вовк, М. (2023). Оцінка ефективності (піридин-4-іл)оксизаміщених імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинів як інгібіторів росту *Cucumis sativus*. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 32–40, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-5>

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ (ПІРИДИН-4-ІЛ)
ОКСИЗАМІЩЕНИХ ІМІДАЗО[2,1-*b*][1,3]ТІАЗИНІВ ЯК ІНГІБІТОРІВ РОСТУ
*CUCUMIS SATIVUS***

В поданій роботі досліджено рістінгібуючу дію нових піридинозаміщених імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинів. Модельні об'єкти 6-[(піридин-4-іл)окси]-2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5H-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин **3a** та 3-[(піридин-4-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазини **3b-d** були синтезовані взаємодією 3-гідроксіімідазо[2,1-*b*]

[1,3]тіазинів із 4-фторопіридинами. Отримані сполуки досліджували на виявлення особливостей фізіологічного розвитку проростків дводольної рослини *Cucumis sativus*. За результатами проведеного експерименту встановлено, що перебіг фізіологічних процесів у рослинному організмі носить різноплановий характер. Рістінгібуючий ефект залежить від будови сполук, концентрації розчинів та способу їх застосування. Показано, що синтезовані (піридин-4-ілокси)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазини мають досить сильний і стабільний пригнічуючий вплив у концентраціях 0,1–0,001 %. В залежності від інтенсивності та характеру вияву пригнічуючого впливу досліджувані сполуки можна розмістити у ряд за збільшенням рістінгібуючого ефекту: **3c** < **3d** < **3b** < **3a**. Замочування насіння у 0,01–0,0001 % розчинах для усіх сполук показало однаковий результат із сильною пригнічуючою дією, яка спричинила повну ембріональну загибель насіння.

Досліджені сполуки характеризуються певним періодом інтенсивного інгібуючого впливу на рослинний організм, тому є перспективними для вивчення їх як складників «досходових» гербіцидів.

Ключові слова: 6-[(піридин-4-іл)окси]-2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5H-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазини, 3-[(піридин-4-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазини, рослина *Cucumis sativus*, рістінгібуюча активність.

Nataliia SLYVKA

Ph.D., docent, Head of the Department of Organic and Pharmaceutical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Lesya SALIYEVA

Ph.D., Associate of the Department of Organic and Pharmaceutical Chemistry of the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Ella KADIKALO

Ph.D., Associate, Associate of the Department of Organic and Pharmaceutical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-5613-1662

Tatiana BORTNIK

Ph.D., Senior Research Fellow Polissya Research Station National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Lutsk, Ukraine, 43000

ORCID:

Valentyna TOLMACHOVA

Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Chemistry, National Pedagogical Dragomanov University, 9, Pirogova Str., Kyiv, Ukraine, 01601

ORCID: 0000-0002-4082-3381

Olena KOVTUN

Associate Professor of the Department of Chemistry, Pedagogical Dragomanov University, 9, Pirogova Str., Kyiv, Ukraine, 01601

ORCID: 0000-0002-2253-8472

Mykhailo VOVK

Doctor of Chemistry, Professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of the Department of Mechanisms of Chemistry of Functional Heterocyclic Systems, Director of Institute of Organic Chemistry NAS of Ukraine, 5, Murmanska Str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

To cite this article: Slyvka, N., Saliyeva, L., Kadikalo, E., Bortnik, T., Tolmachova, V., Kovtun, O., Vovk, M. (2023). Evaluation of the effectiveness of the use of (pyridine-4-yl)oxysubstituted imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazines as growth inhibitors for *Cucumis sativus*. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 32–40, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-5>

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF (PYRIDIN-4-YL)OXY
SUBSTITUTED IMIDAZO[2,1-*b*][1,3]THIAZINES AS GROWTH INHIBITORS
OF CUCUMIS SATIVUS**

*In this work, the rust-inhibiting effect of new pyridine-substituted imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazines was investigated. Model objects 6-[(pyridin-4-yl)oxy]-2,3-diphenyl-6,7-dihydro-5H-imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazine **3a** and*

3-[(pyridin-4-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]thiazines **3b-d** were synthesized by the interaction of 3-hydroxyimidazo[2,1-b][1,3]thiazines with 4-fluoropyridines. The obtained compounds were studied to identify the peculiarities of the physiological development of seedlings of the dicot plant *Cucumis sativus*. According to the results of the conducted experiment, it was established that the course of physiological processes in the plant organism has a multifaceted nature. The inhibitory effect depends on the structure of the compounds, the concentration of the solutions and the method of their application. It was shown that the synthesized (4-pyridinyloxy)imidazo[2,1-b][1,3]thiazines have a rather strong and stable inhibitory effect in concentrations of 0.1–0.001%. Depending on the intensity and nature of the manifestation of the inhibitory effect, the studied compounds can be placed in a series of increasing inhibitory effect: **3c**<**3d**<**3b**<**3a**. Seed soaking in 0.01–0.0001% solutions for all compounds showed the same result with a strong inhibitory effect that caused complete embryonic death of the seeds.

The investigated compounds are characterized by a certain period of intense inhibitory effect on the plant organism, therefore they are promising for studying them as components of "pre-emergence" herbicides.

Key words: 6-[(pyridin-4-yl)oxy]-2,3-diphenyl-6,7-dihydro-5H-imidazo[2,1-b][1,3]thiazines, 3-[(pyridin-4-yl)oxy]-3,4-dihydro-2H-benzo[4,5]imidazo[2,1-b][1,3]thiazines, *Cucumis sativus* plants, growth inhibitory activity.

Ретельну увагу дослідників у галузях органічної, фармацевтичної, медичної хімії та агрохімії привертають похідні піридину, потенціал яких все ще залишається невичерпаним, незважаючи на багату історію пошуку серед них потенційних біологічно активних агентів. Особлива роль відводиться похідним піридину в агрономії, оскільки на їх основі створені препарати, які є регуляторами росту рослин, гербіцидами, інсектицидами, акарицидами, фунгіцидами, бактерицидами, антидотами гербіцидів. Так, похідна піридинілоксиоцтової кислоти Флуроксіпір (**I**) є гербіцидом системної дії, який ефективно використовується у боротьбі з дводольними бур'янами *Galeopsis*, *Polygonum convolvulus* L. *Polygonum convolvulus* L., *Stellaria media*; гербіцид Квінклорак - похідна хінолінкарбонової кислоти (**II**) - продуктивний у боротьбі з широким спектром однорічних злакових просоподібних рослин; пестицид та післясходовий гербіцид Амінопіралід (**III**)

використовується для обприскування пасовищ і зернових культур проти широколистяних бур'янів. Важливо відзначити, що такі комерційні гербіциди як Дифлуфензопір та Дитіопір також містять піридиновий цикл і є перспективними препаратами для боротьби з цілою низкою бур'янів [1, 2].

Детальний аналіз літературних джерел засвідчив, що структурна модифікація піридиніламінами фрагментами різного типу гетероциклічних субстратів може сприяти одержанню сполук із вираженою гербіцидною активністю [3-5]. Прикладом гібридних структур із помітною гербіцидною дією є похідні 3-(піридин-2-іл)бензенсульфонамідів (**IV**), які виявились ефективними у боротьбі з *Barnyard grasses*, *Foxtail millet*, *Stellaria media* L. [6]. В свою чергу феноксіпіридин-2-піролідинони (**V**) належать до післясходових гербіцидів і використовується для боротьби з бур'янами *Amaranthus retroflexus*, *Abutilon*

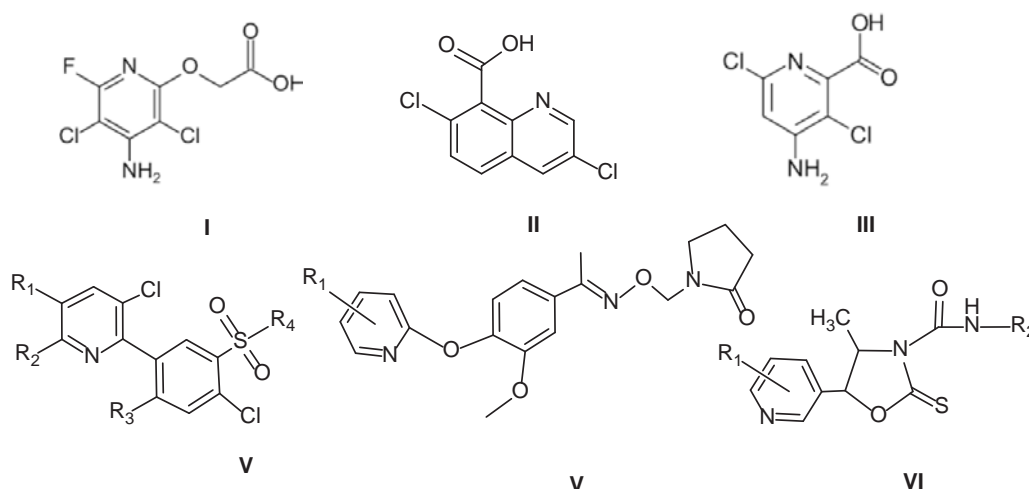


Рис. 1. Приклади сполук із піридиновим фрагментом, що проявляють ефективну гербіцидну активність

theophrasti, *Digitaria sanguinalis* [7], а похідні 3-амінокарбоніл-2-оксазолідинтіону із заміщеним піридиновим ядром (**VI**) проявляють гербіцидну дію по відношенню до бур'янів *Echinochloa crispigalli*, *Sorghum vulgare*, *Digitaria sanguinalis*, *Eclipta prostrata*, *Cucumis sativus* та *Brassica campestris* [8].

Беручи до уваги широкий спектр біологічної дії похідних піридину видавалось доцільним модифікувати будову раніше синтезованого нами імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинового каркасу піридиновими фрагментами та дослідити можливу ристінгібуючу активність нових гібридних структур. Для реалізації поставленого завдання, як модельні об'єкти дослідження реакцією 3-гідроксиімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинів **1a,b** із 4-фторопіридинами **2a-c** були синтезовані 6-[(піридин-4-іл)окси]-2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин **3a** та 3-[(піридин-4-іл)окси]-3,4-дигідро-2*H*-бензо[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазини **3b-d** (Схема 1.) [9].

Скринінг інгібуючої активності одержаних похідних **3a-d** проводили оцінюючи вплив різних концентрацій та будови (4-піридинілокси) модифікованих імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинів **3a-3d** на особливості раннього росту і розвитку рослинного організму *Cucumis sativus* на стадіях проростання насіння та формування проростків.

У результаті досліджень впливу тестованих сполук **3a-d** на особливості росту і розвитку огірка *Cucumis sativus* були отримані неодно-

начні результати. Так, за використання цих сполук у концентраціях 0,1–0,0001 % при витримванні насіння протягом 24 год. була відмічена чітка ристінгібуюча дія, яка спричинила повну ембріональну загибель насіння *Cucumis sativus*. Щодо контрольного варіанту, то показник схожості коливався в межах 98,3–100 %, тобто не було виявлено суттєвої статистичної різниці між варіантами досліджень (таблиця 1).

Аналіз результатів досліджень у розрізі відповідних сполук свідчить, що за замочування насіння у розчинах 6-[(3-нітропіридин-4-іл)окси]-2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазину **3a** спостерігається, як зазначалось, повна загибель рослинних організмів. За використання цієї сполуки шляхом обробки насіння також відмічено значний негативний вплив на ріст і розвиток паростків, але відповідно з нижчою інтенсивністю. У даних варіантах значення показника життєздатності коливалось у межах 96,7–100 %. Це свідчить, що інтенсивність впливу в усіх варіантах була практично рівнозначною щодо даного показника. Однак необхідно зазначити, що спостерігалась тенденція до його зниження. Так, за обробки проростків 6-[(3-нітропіридин-4-іл)окси]-2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазином **3a** зафіксовано, що зниження концентрації сприяло зменшення прояву інгібуючого ефекту. Відповідно за використання 0,1 %–0,0001 % концентрацій робочих розчинів показник маси проростка коливався від 0,021 г до 0,034 г та довжини – від 1,71 см до 3,8 см, що відповідно було нижче

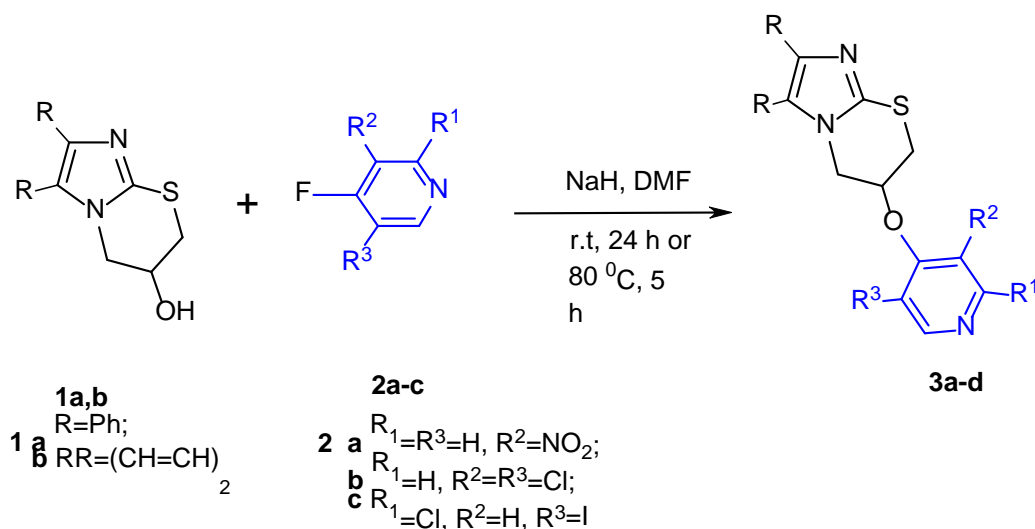


Схема 1. Синтез піридин-4-ілоксизаміщених (бензо)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинів

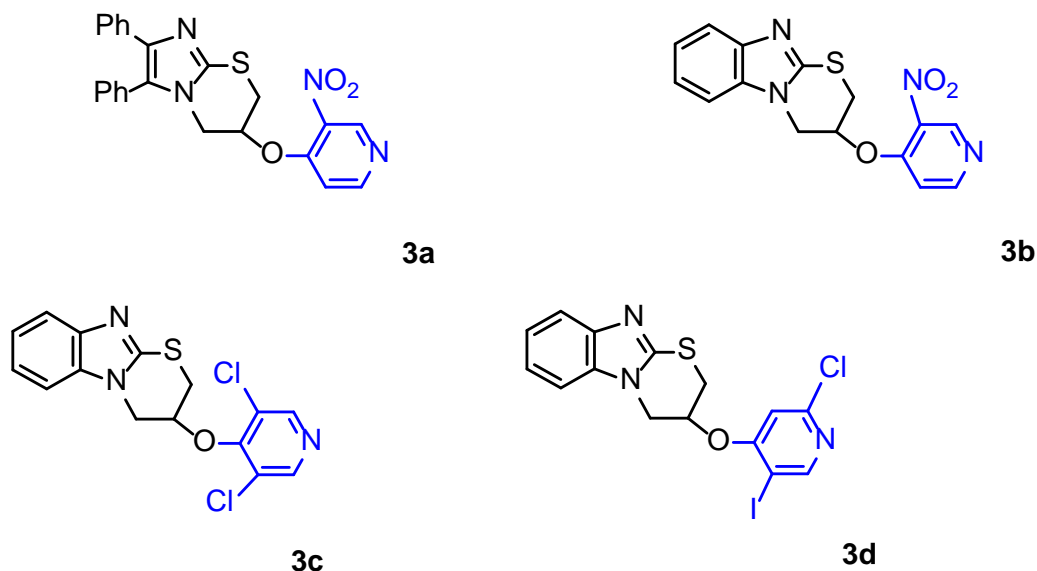


Рис. 2. Сполуки, які досліджувалися на рістінгібуючу активність

контролю на 0,006–0,019 г та 0,05–2,14 см. За обробки проростків дистильованою водою (контроль) показник їх маси становив 0,040 г, довжини – 3,85 см.

Сполука 3-[(3-нітропіридин-4-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]тіазин **3b** за ефективністю впливу на ріст і розвиток *Cucumis sativus* була близькою до похідної імідазотіазину **3a**. Витримування насіння у 0,1–0,001 % розчинах викликало загибель рослинного організму. За дослідження впливу цієї сполуки на біометричні параметри рослинного організму, при використанні її шляхом обробки проростків, зафіксовано певну закономірність їх дії. Зокрема, за обробки 0,1–0,001 % розчинами сполуки **3b** показники маси проростка коливались у межах 0,035–0,055 г, довжини – 3,91–5,78 см. Обробка проростків 0,0001 % розчином сполуки **3b** зафіксовано зниження інтенсивності прояву пригнічуючого ефекту. Це відповідно сприяло формуванню паростків масою 0,055 г та довжиною 5,78 см.

Такий вплив вище зазначених сполук зумовлений взаємозв'язом «структура – рістінгібуюча активність». Тобто особливістю структурної будови сполук **3a,b** є наявність нітрогрупи у піридинільному фрагменті. Перехід від бензімідазольного до 2,3-дифенілімідазольного циклу приводить до зростання інгібуючого ефекту цих сполук у концентрації 0,1 %, а у випадку концентрації 0,01 % – навпаки до спадання.

Оцінка отриманих результатів щодо впливу 3-[(2-хлор-5-йодопіридин-4-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]тіазину **3d**, яка містить бензімідазольний фрагмент, на особливості раннього росту і розвитку *Cucumis sativus* свідчать про прояв ефекту, який є практично ідентичним до ефектності впливу сполуки **3c**. Так, при замочуванні насіння у 0,1–0,0001% робочих розчинах цих сполук була виявлена сильна інгібуєча дія, що спричинила повну ембріональну загибель насіння.

Результати досліджень впливу сполуки **3d** на ріст і розвиток проростків свідчать про стабільний інгібуючий ефект при її використанні у концентраціях 0,1–0,001 %. Так, за обробки 0,1–0,001 % розчинами сполуки **3d** показники маси проростка коливались від 0,047 до 0,068 г, довжини – від 6,13 до 7,12 см. У варіанті за використання сполуки у концентрації 0,0001 %, практично не було зафіксовано інтенсивного прояву пригнічуючої дії сполуки. Відповідно показники маси та довжини проростків характеризувались наближено ідентичними показниками. За умов обробки дистильованою водою (контроль) маса проростків становила 0,087 г, довжина – 8,55 см.

Подібним проявом рістінгібуючої дії характеризується 3-[(3,5-дихлоропіридин-4-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]тіазин **3c**. За обробки проростків *Cucumis sativus* 0,1–0,001 % концентраціями розчинів цієї сполуки показники маси проростка змінювався від

Таблиця 1
Вплив піридин-4-ілоксимодифікованих імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинів на основні параметри *Cisimtis sativus* на ранніх етапах органіогенезу

Спогук	Показник	Варіант досліджу														НР ₀₅
		Оброблення насіння							Оброблення проростка							
		дист. вода	0,1 %	0,01 %	0,001 %	0,0001 %	дист. вода	0,1 %	0,01 %	0,001 %	0,0001 %					
3a	Схожість/Життєздатність, %	100	-	-	-	-	100	98,3	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	2,83	
	Маса одного проростка, г	0,040	-	-	-	-	0,040	0,021	0,026	0,030	0,034	0,034	0,034	0,05		
	Довжина одного проростка, см	3,85	-	-	-	-	3,85	1,71	3,5	3,7	3,8	3,8	3,8	0,28		
3b	Схожість/Життєздатність, %	100	-	-	-	-	100	100	98	100	100	100	98	3,12		
	Маса одного проростка, г	0,056	-	-	-	-	0,056	0,035	0,049	0,054	0,055	0,055	0,02			
	Довжина одного проростка, см	6,35	-	-	-	-	6,35	3,91	4,63	5,54	5,78	5,78	0,21			
3c	Схожість/Життєздатність, %	98,3	-	-	-	-	98,3	96,7	97,3	97,7	98	98	3,15			
	Маса одного проростка, г	0,050	-	-	-	-	0,050	0,042	0,046	0,049	0,049	0,049	0,02			
	Довжина одного проростка, см	5,30	-	-	-	-	5,30	4,33	4,68	4,91	5,28	5,28	0,19			
3d	Схожість/Життєздатність, %	98,3	-	-	-	-	98,3	90,7	97,3	97,3	97,3	97,3	2,71			
	Маса одного проростка, г	0,087	-	-	-	-	0,087	0,047	0,052	0,068	0,085	0,085	0,01			
	Довжина одного проростка, см	8,55	-	-	-	-	8,55	6,13	6,01	7,12	8,55	8,55	0,12			

0,042 до 0,049 г, а довжини – від 4,33 до 4,91 см. Це свідчить, що у всіх варіантах інтенсивність прояву дії досліджуваної сполуки не мала суттєвої та чітко вираженої різниці. У варіанті за використання 3-[(3,5-дихлоропіридин-4-іл)окси]-3,4-дигідро-2H-бензо[4,5]імідазо[2,1-b][1,3]тіазин **3c** у концентрації 0,0001 % зафіксовано формування проростків маса яких була близькою до показника маси проростка у контрольному варіанті. Це свідчить про суттєво послаблення негативного впливу сполуки на ріст і розвиток рослинного організму. На нашу думку, такий ефект обумовлений будовою піридинового фрагмента, який містить 3,5-дихлорний замісник.

В цілому аналіз ефективності прояву рістінгуючої активності сполук **3a-d** свідчить, що найвищою пригнічуючою дією характеризується гібридна структура із 3-нітропіридинового та 2,3-дифенілімідазо[2,1-b][1,3]тіазинового циклів **3a**. Найсильніший прояв її інгібуючої дії характеризується зниженням показника маси проростка на 0,019 г (47,5 %) та довжини на 2,14 см (55,6 %) в порівнянні з контролем.

Отже, підсумовуючі вищенаведені результати досліджень, можна зробити висновок, що ефективність прояву рістінгуючого впливу (4-піридинілокси)модифікованих імідазо[2,1-b][1,3]тіазинів **3a-d** на ранніх етапах органогенезу рослинного організму залежить від будови сполуки, дози та способу її застосування (замочування, обробка). Залежно від інтенсивності та характеру впливу на протікання фізіологічних процесів у рослинах *Cucumis sativus*, досліджувані сполуки можна розмістити у наступний ряд за збільшенням пригнічуючого ефекту: **3c < 3d < 3b < 3a**. Оскільки синтезовані (піридин-4-іл)оксидімідазо[2,1-b][1,3]тіазини характеризуються сильним і відносно стабільним пригнічуючим впливом у концентраціях від 0,1 до 0,001 %, тому вони є перспективними для подальшого вивчення як складників «досходових» гербіцидів у боротьбі із дводольними рослинами.

Експериментальна частина

Культура експерименту – *Cucumis sativus*, що належить до дводольних рослин. Дослід проводився у триразовій повторності.

Вивчення особливостей впливу синтезованих сполук піридин-4-ілоксидіамічених (бензо)імідазо[2,1-b][1,3]тіазинів на початкових ста-

діях розвитку рослинних організмів проводили за наступними схемами:

Схема 1. Контроль (насіння витримували у дистильованій воді); насіння витримували у 0,1 %, 0,01 %, 0,001 % та 0,0001 % розчині досліджуваної сполуки. Тривалість витримання – 24 год.

Схожість насіння визначали відповідно до Державного стандарту України 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [10]. Розрахунок показника проводився у відносних одиницях – відсотках від загальної кількості насіння, що була використана для проростання, як середнє між трьома пробами (варіантами).

Схожість насіння визначали наступним чином. Спочатку із чистого насіння відбирали три проби у кількості по 50 насінин відповідно на кожен варіант досліду. У подальшому насіння витримували протягом 24 год у дистильованій воді (контроль) та відповідних концентраціях досліджуваних розчинів синтезованих сполук піридин-4-ілоксидіамічених (бензо)імідазо[2,1-b][1,3]тіазинів. Приготування розчинів сполук проводили шляхом їх додавання у наступних дозах: 1000 мг/л (0,1%), 100 мг/л (0,01%), 10 мг/л (0,001%), 1 мг/л (0,0001%).

Через 24 години витримання насіння у дистильованій воді та досліджуваних розчинах насіння поміщали у чашках Петрі на фільтрувальний папері. Чашки Петрі поміщали у термостати, де підтримували температуру близько 25°C протягом 7 днів. На сьомий день експерименту відповідно до ДСТУ 4138-2002 проводили визначення схожості. Даний показник виражали відсотковим відношенням кількості насіння, що проросло, до загальної кількості висіяного.

Схема 2. Контроль (обробка проростків дистильованою водою); обробка проростків у 0,1 %, 0,01 %, 0,001 % та 0,0001 % розчинах синтезованих сполук піридин-4-ілоксидіамічених (бензо)імідазо[2,1-b][1,3]тіазинів.

Перед початком експерименту проростки вирощували на дистильованій воді за дотриманням умов ДСТУ 4138-2002 (наведені вище, схема № 1). На 7-й день розвитку проростків розпочинали закладку досліду. На першому етапі відбирали три проби по 50 шт. непошкоджених та практично однакових по біометричним параметрам (відхилення у рості не більше

10 %) проростків на кожен варіант досліду. На наступному етапі проростки обробляли дистильованою водою (контроль) та розчинами досліджуваних сполук відповідних концентрацій. Приготування розчинів сполук проводили шляхом їх додавання у наступних дозах: 1000 мг/л (0,1%), 100 мг/л (0,01%), 10 мг/л (0,001%), 1 мг/л (0,0001%).

Показник життєздатності проростків виражали відсотковим відношенням кількості проростків, що активно ростуть та розвиваються до загальної кількості, яку було використано під час закладки досліду (50 шт.).

З метою оцінки впливу досліджуваних сполук на біометричні параметри сформованих пророс-

тків, на 7-й (схема № 1) та 14-й день (схема № 2) проводили визначення середньої маси ваговим методом, та довжини – вимірюванням. Ці показники визначали шляхом аналізу по 30 проростків з кожного варіанту досліду.

Досліджувані схеми дозволяють провести оцінку впливу різних концентрацій досліджуваних сполук на фізіологічні процеси рослинного організму на початкових стадіях розвитку рослинного організму – проростання насіння та формування проростка.

Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали методом дисперсійного аналізу за прописом, з використанням комп'ютерної програми Alfa.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Wehtje, G.R. Synergism of Dicamba with Diflufenzopyr with Respect to Turfgrass Weed Control. *Weed Technology*. 2008. 22(4). 679- 684.
2. Armbruster, B.L.; Molin, W.T.; Bugg M.W. Effects of the herbicide dithiopyr on cell division in wheat root tips. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 1991. 39(2). 110-120.
3. Wang, Q. M.; Sun, H. K.; Cao, H. Y.; Cheng, M. R.; Huang, R. Q. Synthesis and herbicidal activity of 2-cyano-3-substitutedpyridinemethylamino-acrylates. *J. Agric. Food Chem.* 2003. 51. 5030-5035.
4. Obojska, A.; Berlicki, L.; Kafarski, P.; Lejczak, B.; Chicca, M. and Forlani, G. Herbicidal Pyridyl Derivatives of Aminomethylene-bisphosphonic Acid Inhibit Plant Glutamine Synthetase. *J. Agric. Food Chem.* 2004. 52. 3337–3344.
5. Nan, J.-X.; Yang, J.-F.; Lin, H.-Y.; Yan, Y.-C.; Zhou, S.-M.; Wei, X.-F. Chen, Q.; Yang, W.-C.; Qu, R.-Y. and Yang, G.-F. Synthesis and Herbicidal Activity of Triketone-Aminopyridines as Potent p-Hydroxyphenylpyruvate Dioxygenase Inhibitors. *J. Agric. Food Chem.* 2021. 69. 5734-5745.
6. Xie, Y.; Peng, W.; Ding, F.; Liu, S.-J.; Ma, H.-J. and Liu, C.-L. Quantitative structure–activity relationship (QSAR) directed the discovery of 3-(pyridin-2-yl)benzenesulfonamide derivatives as novel herbicidal agents. *Pest Manag Sci* . 2018. 74(1). 189-199.
7. Zhao, L.-X.; Hu, J.-j.; Wang, Z.-x. Yin, M.-l.; Zou, Y.-l.; Gao, S.; Fu, Y., Ye, F. Novel phenoxy-(trifluoromethyl) pyridine-2-pyrrolidinone-based inhibitors of protoporphyrinogen oxidase: Design, synthesis, and herbicidal activity. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2020. 170. 104684.
8. Li, G.; Qian, X.; Cui, J.; Huang, Q.; Zhang, R.; Guan, H. Synthesis and Herbicidal Activity of Novel 3-Aminocarbonyl-2-oxazolidinethione Derivatives Containing a Substituted Pyridine Ring. *J. Agric. Food Chem.* 2006. 54. 125–129.
9. Slyvka N, Saliyeva L., Holota S., Tkachuk V., Vaskevych A., Vaskevych A., Vovk M. Convenient Synthesis of 4-pyridinyloxy-Modified imidazo[2,1-b][1,3]thiazines as Potential Antiinflammatory Agents. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2023, 13, 2, 183.
10. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Державний стандарт України. Вид. офіц. [чинний від 2004-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2003. 173 с. [in Ukrainian].

REFERENCES:

1. Wehtje, G.R. Synergism of Dicamba with Diflufenzopyr with Respect to Turfgrass Weed Control. *Weed Technology*. 2008. 22(4). 679- 684.
2. Armbruster, B.L.; Molin, W.T.; Bugg M.W. Effects of the herbicide dithiopyr on cell division in wheat root tips. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 1991. 39(2). 110-120.
3. Wang, Q. M.; Sun, H. K.; Cao, H. Y.; Cheng, M. R.; Huang, R. Q. Synthesis and herbicidal activity of 2-cyano-3-substitutedpyridinemethylamino-acrylates. *J. Agric. Food Chem.* 2003. 51. 5030-5035.
4. Obojska, A.; Berlicki, L.; Kafarski, P.; Lejczak, B.; Chicca, M. and Forlani, G. Herbicidal Pyridyl Derivatives of Aminomethylene-bisphosphonic Acid Inhibit Plant Glutamine Synthetase. *J. Agric. Food Chem.* 2004. 52. 3337–3344.
5. Nan, J.-X.; Yang, J.-F.; Lin, H.-Y.; Yan, Y.-C.; Zhou, S.-M.; Wei, X.-F. Chen, Q.; Yang, W.-C.; Qu, R.-Y. and Yang, G.-F. Synthesis and Herbicidal Activity of Triketone-Aminopyridines as Potent p-Hydroxyphenylpyruvate Dioxygenase Inhibitors. *J. Agric. Food Chem.* 2021. 69. 5734-5745.

6. Xie, Y.; Peng, W.; Ding, F.; Liu, S.-J.; Ma, H.-J. and Liu, C.-L. Quantitative structure–activity relationship (QSAR) directed the discovery of 3-(pyridin-2-yl)benzenesulfonamide derivatives as novel herbicidal agents. *Pest Manag Sci* . 2018. 74(1). 189-199.
7. Zhao, L.-X.; Hu, J.-j.; Wang, Z.-x. Yin, M.-l.; Zou, Y.-l.; Gao, S.; Fu, Y., Ye, F. Novel phenoxy-(trifluoromethyl) pyridine-2-pyrrolidinone-based inhibitors of protoporphyrinogen oxidase: Design, synthesis, and herbicidal activity. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2020. 170. 104684.
8. Li, G.; Qian, X.; Cui, J.; Huang, Q.; Zhang, R.; Guan, H. Synthesis and Herbicidal Activity of Novel 3-Aminocarbonyl-2-oxazolidinethione Derivatives Containing a Substituted Pyridine Ring. *J. Agric. Food Chem*. 2006. 54. 125–129.
9. Slyvka N, Saliyeva L., Holota S., Tkachuk V., Vaskevych A., Vaskevych A., Vovk M. Convenient Synthesis of 4-pyridinyloxy-Modified imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazines as Potential Antiinflammatory Agents. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2023, 13, 2, 183.
10. DSTU 4138-2002 Nasinnya sil's'kogospodars'kih kul'tur. Metodi viznachennya yakosti. Derzhavnij standart Ukraïni. Vid. ofic. [chinnij vid 2004-01-01]. Kiïv: DP «UkrNDNC», 2003. 173s. [in Ukrainian].

ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.4.062.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-6>

Оксана АЛПАТОВА

кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0000-0003-0803-9850

Наталія БОРДЮГ

доктор педагогічних наук, професор, директор комунального закладу позашкільної освіти «Обласний еколого-натуралістичний центр» Житомирської обласної ради, проїзд академіка Тутковського, 10, м. Житомир, Україна, 10024
ORCID: 0000-0002-3489-4669

Олена ГЕРАСИМЧУК

кандидат педагогічних наук, завідувачка кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0000-0002-1279-1888

Тетяна КУРБЕТ

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0000-0001-7820-4263

Бібліографічний опис статті: Алпатова, О., Бордюг, Н., Герасимчук, О., Курбет, Т. (2023). Аналіз шляхів удосконалення інтегрованого підходу управління водними ресурсами в контексті забезпечення сталого водокористування. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 41–48, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-6>

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО ПІДХОДУ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ

Водні ресурси являють собою стратегічний, життєво важливий природний ресурс, що має особливе значення. Збереження водних ресурсів прісної води та її якості є невід'ємною частиною стратегії сталого водокористування. Стан водних ресурсів на сучасному етапі розвитку безпосередньо залежить від якості управління ними, екологічної політики держави, визначення її ролі в системі управлінськи правовідносин у сфері охорони довкілля. Сучасним інтегрованим підходом до управління водними ресурсами є басейновий принцип управління поверхневими водними об'єктами, як вагомий чинник сталого розвитку суспільства та біосфери.

Метою дослідження є аналіз шляхів удосконалення інтегрованого підходу управління водними ресурсами в контексті забезпечення сталого водокористування.

Стаття присвячена актуальним питанням формування системи управління водними ресурсами у рамках інтеграції до Європейського Союзу. Проведено аналіз проблем щодо управління водними ресурсами, які необхідно враховувати при зміні існуючої системи управління в галузі водного господарства на користь сталого розвитку та імплементації вимог Водно-рамкової угоди. Обґрунтовано пріоритетні завдання водної політики щодо формування системи інтегрованого управління водними ресурсами з урахуванням євроінтегративного вектора розвитку України. Класифіковано основні механізми реалізації планів управління річковими басейнами. Запропоновано напрямки удосконалення системи управління водними ресурсами на сучасному етапі трансформації господарських систем.

Впровадження інтегрованої системи управління водними ресурсами в Україні за басейновим принципом, дозволить врахувати інтереси усіх суб'єктів-водокористувачів: держави, бізнесу та суспільства, що в свою чергу забезпечить досягнення економічного, соціального та економічного ефекту, в контексті забезпечення сталого водокористування.

Ключові слова: водні ресурси, басейновий принцип управління, стале водокористування, екологічна безпека.

Oksana ALPATOVA

PhD of Biology Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0003-0803-9850

Natalia BORDIUG

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, director of the municipal extracurricular education institution "Regional Ecological and Naturalistic Center" of the Zhytomyr Regional Council, academician Tutkovskyyi passage, 10, Zhytomyr, Ukraine, 10024

ORCID: 0000-0002-3489-4669

Olena HERASYMCHUK

PhD of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Earth Sciences, Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-1279-1888

Tetiana KURBET

PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0001-7820-4263

To cite this article: Alpatova, O., Bordiug, N., Herasymchuk, O., Kurbet, T. (2023). Analiz shliakhiv udoskonalennia intehrovano hopidkholdu upravlinnia vodny my resursamy v kontekstizabezpechennia staloho vodokorystuvannia [Analysis of ways to improve the integrated approach of water resources management in the context of ensuring sustainable water use]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 41–48, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-6>

ANALYSIS OF WAYS TO IMPROVE THE INTEGRATED APPROACH OF WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF ENSURING SUSTAINABLE WATER USE

Water resources are a strategic, vital natural resource of special importance. Conservation of fresh water resources and its quality is an integral part of a sustainable water use strategy. The state of water resources at the current stage of development directly depends on the quality of their management, the environmental policy of the state, and the determination of its role in the management system of legal relations in the field of environmental protection. A modern integrated approach to the management of water resources is the basin principle of management of surface water bodies, as an important factor in the sustainable development of society and the biosphere.

The purpose of the study is to analyze ways to improve the integrated approach to water resources management in the context of ensuring sustainable water use.

The article is devoted to topical issues of the formation of the water resources management system within the framework of integration into the European Union. An analysis of the problems related to water resources management, which must be taken into account when changing the existing management system in the field of water management for the benefit of sustainable development and implementation of the requirements of the Water Framework Agreement, was carried out. The priority tasks of water policy regarding the formation of a system of integrated management of water resources, taking into account the European integration vector of Ukraine's development, are substantiated. The main mechanisms for implementing river basin management plans are classified. Directions for improving the water resources management system at the current stage of transformation of economic systems are proposed.

The introduction of an integrated system of water resources management in Ukraine based on the basin principle will allow taking into account the interests of all water user entities: the state, business and society, which in turn will ensure the achievement of an economic, social and economic effect in the context of ensuring sustainable water use.

Key words: water resources, basin management principle, sustainable water use, environmental safety.

Актуальність проблеми. Проблема збереження та раціонального використання водних ресурсів стає все гострішою для України та інших країн світу, що обрали шлях сталого

розвитку. У багатьох регіонах водні ресурси стали лімітуючим фактором подальшого соціально-економічного розвитку, задоволення потреб населення. Забезпечення належного

екологічного стану водно-ресурсного потенціалу є актуальним для всіх регіонів країни, в яких водогосподарські і гідроекологічні проблеми поглиблюються природним дефіцитом водних ресурсів, їх нерівномірним розподілом. У сучасних умовах, що характеризуються підвищенням антропогенного навантаження на природне середовище, погіршенням екологічного стану та якості водних ресурсів, важливою умовою забезпечення екологічної безпеки в національній системі є реформування управлінських систем водокористування та охорони водних ресурсів на основі удосконалення організаційних структур та оптимізації управлінських функцій водному господарстві (Широков, 2017).

Недостатньо ефективного водокористування, незадовільний стан об'єктів водного господарства та природних водойм, низька якість забезпечення населення водою свідчать про те, що існуюча ситуація в системі організації та управління водокористуванням в населених пунктах нашої країни, призводить до погіршення стану водних об'єктів та до екстенсивного водокористування, виснаження водних ресурсів, загрози екологічної безпеки держави (Телора, 2020).

Система управління водними ресурсами України тривалий час була і морально, і технічно застаріла, адже впровадження реформ дуже складний і ресурсозатратний процес, який завжди зіштовхується з опором змін як зі сторони суспільства, так і з сторони інституцій. Сьогодні в нашій державі продовжується період реформування системи управління. Із запровадженням в Україні принципів інтегрованого управління та управління за річковими басейнами, які є головними у Водній Рамковій Директиві ЄС, і які взято за основу в державних законодавчо-нормативних актах в Україні щодо розвитку водного господарства, зокрема у Водному кодексі України, законах і урядових постановках, актуальним стає аналіз та пошук шляхів удосконалення організаційних механізмів державного управління водними ресурсами за європейськими вимогами (Боровицька, 2016).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням побудови ефективної системи управління водними ресурсами приділяють багато уваги вітчизняні вчені, зокрема В. Мандзик (2016), О. Климчик, Т. Пінкіна, А. Пінкін (2018), Л. Левковська, В. Мандзик (2018),

М. Хвесик, Л. Левковська А. Зубко (2023). Аналіз системи управління водогосподарським комплексом України та пошук шляхів щодо її вдосконалення здійснювали В. Зацерковний, Л. Плічко (2017); М. Широков (2017) досліджував напрямки удосконалення менеджменту водних ресурсів у контексті забезпечення продовольчої безпеки.

Водночас у контексті національної політики розвитку системи інтегрованого управління водними ресурсами подальших досліджень потребують уваги питання управління більше в контексті екологічних проблем.

Метою дослідження є аналіз шляхів удосконалення інтегрованого підходу управління водними ресурсами в контексті забезпечення сталого водокористування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» визначає основні стратегічні цілі й завдання державної екологічної політики щодо охорони водних ресурсів, які полягають у реформуванні системи державного управління в галузі охорони та раціонального використання вод шляхом впровадження інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом; реконструкції існуючих та будівництва нових міських очисних споруд з метою зниження рівня забруднення вод забруднюючими речовинами, а також зменшення скиду недостатньо очищених стічних вод; розроблення та виконання плану заходів щодо зменшення рівня забруднення внутрішніх морських вод і територіального моря з метою запобігання зростанню антропогенного впливу на навколишнє природне середовище та відновлення екосистеми Чорного і Азовського морів.

Водні ресурси являють собою стратегічний, життєво важливий природний ресурс, що має особливе значення. Збереження водних ресурсів прісної води та її якості є невід'ємною частиною стратегії сталого водокористування. В «Порядку денному на XXI століття» визначено загальну мету, а саме: «...забезпечення адекватного постачання якісною водою всього населення планети, зберігаючи гідрологічні, біологічні і хімічні функції екосистем, корегуючи діяльність людини до можливостей природи...» (Програма дій «Порядок денний на XXI століття»). Тому розвиток водогосподар-

ського комплексу України повинен відповідати новим соціально-економічним й екологічним вимогам, які визначаються сьогоднішнім.

До водних ресурсів відносять перш за все обсяги річкового стоку, а також запаси, зосереджені у великих водосховищах, природних озерах і водоймищах, підземній гідросфері та інші води (прісні і солоні), які є джерелами водозабезпечення потреб людини і виробництва. Україна – друга за площею території держава в Європі, що володіє досить обмеженими водними ресурсами, які формуються переважно за рахунок транзитного (75%) та місцевого стоку (відповідно 25%). Середня забезпеченість місцевими ресурсами річок 1 км² території країни становить 86,8 тис. м³.

В Україні запаси прісної води у 8,5 рази менші від світового показника (в перерахунку на 1 мешканця). Природний режим багатьох річок змінений штучними водоймами – водосховищами і ставками. Запаси води в цих об'єктах поряд із природними ресурсами річок мають важливе господарське значення. Вони займають площу майже 12 тис. км² і вміщують 58,6 км³ води. Основна частина їх припадає на економічно розвинені регіони лісостепової і степової зон. В умовах обмеженої кількості річкового стоку в Україні велике значення мають природні озера, ставки і болота. Водний ресурс України, зосереджений у поверхневих водоймах, доповнюють підземні запаси води, які відіграють важливу роль у формуванні річкового стоку і в господарській діяльності, насамперед у питному водозабезпеченні населення (близько 60%). Значні ресурси ґрунтових вод зосереджені на півночі країни в межах Полісся і Придніпровської низовини.

У XXI століття більшість держав світу, зокрема Україна, увійшли із значним комплексом регіональних і національних проблем, серед яких найбільш загрозливими вважаються глобальне порушення екологічної рівноваги в навколишньому природному середовищі, виснаження і погіршення якості водних ресурсів – джерела питної води й основи людської життєдіяльності на планеті (Valerko R., Herasymchuk L., Hurskyi Y., Pavlenko A. (2021); Черкашина, 2020). Інтеграція України до Європейського Економічного Співробітництва (ЄЕС) і Світової організації торгівлі (СОТ) передбачає формування та реалізацію збалан-

сованої політики переходу України до сталого розвитку. Україна має узгодити свою національну стратегію розвитку з вимогами ЄЕС, СОТ і міжнародними зобов'язаннями зі сталого розвитку загалом та водними зокрема.

На сучасному етапі виникла необхідність формування і здійснення державної політики сталого водокористування, яка дасть змогу вирішити комплекс нагальних проблем. З одного боку, як і раніше, слід забезпечувати задоволення життєво важливих потреб галузей економіки і населення у водних ресурсах, з іншого – ці потреби повинні відповідати можливостям природи. Крім того, державна політика покликана сприяти скоординованій та узгодженій діяльності всіх учасників водних відносин (державних органів, органів місцевого самоврядування, підприємств-водокористувачів та ін.) у розв'язанні проблем водоресурсної сфери, у тому числі реформування і розвитку водогосподарського комплексу.

Серед основних факторів неефективного використання водних ресурсів вирізняють наступні: застарілість, зношеність водоемних виробничих технологій; недосконале транспортування води; недостатній ступінь оснащення водозабірних споруд системами обліку; відсутність важелів, що мотивують користувачів води до застосування водозберігаючих технологій виробництва та скорочення непродуктивних втрат води.

Стан водних ресурсів безпосередньо залежить від якості управління ними, екологічної політики держави, визначення її ролі в системі управлінськи правовідносин у сфері охорони довкілля. Сучасним інтегрованим підходом до управління водними ресурсами є басейновий принцип управління поверхневими водними об'єктами, як вагомий чинник сталого розвитку суспільства та біосфери (Маджд, 2019). При реалізації басейнового принципу управління річкові басейни виступають, як цілісні системи, що складаються із взаємопов'язаних екологічних, економічних та соціальних підсистем, що дозволяє реалізувати інтегровані механізми управління на різних ієрархічних рівнях. Функціонування басейнових рад, що створені відповідно до басейнового принципу управління, дозволить реалізувати функції інтеграції інтересів усіх суб'єктів-водокористувачів, включаючи інтереси влади, бізнесу та суспільства, що

в свою чергу забезпечить досягнення екологічного, соціального та економічного ефекту.

Відповідно до міжнародних пріоритетів в системі управління та реалізації стратегії державної водоохоронної політики в Україні в нашій державі розробляються сучасні механізми (Зацерковний, 2017).

Водно-господарському комплексі України є складною природо-господарською системою, яка визначається власними засадами функціонування, структурою, особливостями реалізації поставлених завдань та пріоритетами розвитку. Головною інституцією, яка здійснює управління водними ресурсами, є Державне агентство водних ресурсів України, основними напрямками діяльності якого є: моніторинг стану водних ресурсів; паспортизація водних об'єктів і гідротехнічних споруд; державний водний кадастр; нормування граничнодопустимого навантаження на водні об'єкти; виконання правил безпечної експлуатації водогосподарських об'єктів; розроблення та реалізація заходів з захисту територій та населених пунктів від паводків, повеней та підтоплення екологічного оздоровлення річкових басейнів (рис. 1).

В Україні існують такі басейнові управління водних ресурсів (БУВР): Басейнове управління

водних ресурсів середнього Дніпра (БУВР середнього Дніпра), БУВР нижнього Дніпра, Деснянське БУВР, БУВР Прип'яті, Дністровське БУВР, БУВР Південний Буг, Сіверсько-Донецьке БУВР, БУВР Західного Бугу та Сяну, БУВР Тиса, БУВР Пруту та Сірету, БУВР річок Причорномор'я та нижнього Дунаю, БУВР річок Приазов'я (Державне агентство водних ресурсів України).

У межах басейнових управлінь формуються басейнові ради (БР) та басейнові водогосподарські об'єднання. БР генеруються з метою забезпечення загального контролю за станом водних ресурсів конкретної території. У межах рад розробляються загальні принципи реалізації водної політики, рекомендації відносно експлуатації та охорони водних ресурсів.

Об'єктом басейнового принципу управління водними ресурсами виступає річковий басейн, оскільки реалізація моделі інтегрованої системи управління за басейновим принципом, в межах району річкового басейну, дозволяє уникнути небажаних негативних наслідків техногенного впливу для всього басейну річки та дозволить врахувати інтереси усіх суб'єктів-водокористувачів: держави, бізнесу та суспільства, що в свою чергу



Рис. 1. Схема басейнового принципу управління водними ресурсами



Рис. 2. Пріоритетні механізми реалізації планів управління річковими басейнами (За М. Хвесиком, Л. Левковською, 2019)

забезпечить досягнення економічного, соціального та економічного ефекту, в контексті забезпечення сталого водокористування.

Успішність реалізації планів управління річковими басейнами залежить від дієвості та ефективності механізмів досягнення визначених цілей. Ці механізми можна класифікувати за чотирма групами: соціально-політичні, фінансово-економічні, організаційні та юридичні (рис. 2). Перші реалізуються в нормативно-правовому полі держави і передбачають затвердження основних положень водної стратегії та пріоритетів розвитку водного господарства, формування системи інтегрованого управління як основного напрямку розвитку водогосподарських і водоохоронних відносин, залучення до процесу управління водними ресурсами широкого кола зацікавлених сторін шляхом активізації формальних та неформальних організаційних утворень тощо (Хвесик, Левковська, 2019).

На підставі викладеного можна з упевненістю стверджувати, що водні ресурси у системі забезпечення сталого розвитку та національної безпеки України є стратегічним і життєво важливим природним ресурсом.

Щоб наблизити управління водними ресурсами до сталого водокористування необхідно підвищити ефективність управління процесами

водоспоживання за рахунок проведення комплексу заходів щодо здійснення проєктування й управління системою водозабезпечення, покращення нормування, обліку і контролю за водокористуванням.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведений аналіз свідчить про необхідність змін існуючої системи управління водними ресурсами на користь сталого розвитку та імплементації вимог Водно-рамкової угоди. Необхідною умовою ефективної реалізації функцій держави в управлінні водокористуванням є інтеграційний підхід до створення і запровадження у практику концепції формування в Україні системи сталого водокористування, яка б передбачала всебічне розширення, поглиблення та інтенсифікацію процесів освоєння водних ресурсів, збалансованості функціонування водогосподарського виробництва та раціоналізацію водокористування.

Басейновий принцип управління водними ресурсами визначає передумови та напрями створення в Україні сучасного механізму використання, охорони і відтворення вод, який відповідатиме найбільш ефективній міжнародній практиці і надасть змогу реалізувати стратегію державної політики, спрямованої на запобігання виснаженню водних ресурсів та досяг-

нення і підтримання доброї якості води. Таким чином, максимально ефективному державному управлінню в галузі використання й охорони вод та відтворення водних ресурсів сприятиме

перехід від адміністративно-територіальної до басейнової системи управління водними ресурсами, при якій головною одиницею управління буде визначено басейн водного об'єкта.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Боровицька А. Г. Принцип басейнового управління як основа ведення державного водного кадастру. *Право та інновації*. 2016. №3(15). С. 87-93.
2. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи). К.: НААН України, Інститут водних проблем і меліорації. 2015. 46 с.
3. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від № 2697-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>
4. Зацерковний В.І., Плічко Л.В. Аналіз системи управління водогосподарським комплексом України та пошук шляхів щодо її вдосконалення. *Наукоємні технології*. 2017. №4. С. 358–367.
5. Климчик О.М., Пінкіна Т.В., Пінкін А.А. Впровадження системи інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом. *ScienceRise*. №4 (45). 2018. С. 36–40.
6. Ковшун Н. Система сталого водокористування як складова національної економіки. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2017. № 3. С. 61–68.
7. Левковська Л. В., Мандзик В. М., Митрофанова О. К. Теоретичні засади формування системи сталого водозабезпечення в умовах екологічних обмежень. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. 2020. № 7. С. 32–39.
8. Левковська Л.В., Мандзик В.М. Формування моделі інтегрованого управління водними ресурсами в контексті забезпечення сталого водокористування. *Збалансоване природокористування*. 2018. № 2. С. 46–53.
9. Маджд С.М. Розвиток наукових основ басейнового принципу управління екологічною безпекою техногенно трансформованих поверхневих водних об'єктів: дис. на здобуття наук. ступеня доктора. техн. наук: 21.06.01. Київ, 2019. 385 с.
10. Про Основні засади (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 р.: Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради України*, 2019. № 16. стор. 8. ст. 70
11. Програма дій «Порядок денний на ХХІ століття»: Пер. з англ.: ВГО «Україна. Порядок денний на ХХІ століття». К.: Інтелсфера, 2000. 360 с.
12. Сайт Державного агентства водних ресурсів України. URL: <http://www.scwm.gov.ua>.
13. Телюра Н.О. Забезпечення екологічної безпеки евтрофованих водних об'єктів шляхом впровадження пріоритетних технологій водовідведення в населених пунктах України. *Комунальне господарство міст*. 2020.Т.1. Вип. 154. С. 94–99.
14. Хвесик М. А., Левковська Л. В. Управління водними ресурсами: євроінтегративний вектор. *Економіка природокористування і сталий розвиток*. 2019. № 5. С. 6–13.
15. Черкашина М. Водні ресурси у стратегії сталого розвитку та національної безпеки України. *The scientific heritage*. № 55, 2020. С. 21–26.
16. Широков М. А. Напрямки удосконалення менеджменту водних ресурсів у контексті забезпечення продовольчої безпеки. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2017. Вип. 16. С.180–185.
17. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of establishing a framework for Community action in the field of water policy/ OJ L 327, 22.12.01. 2001.
18. Valerko R., Herasymchuk L., Hurskyi Y., Pavlenko A. Assessment of drinking water quality within amalgamated territorial communities. *Environmental Problems*. 2021. Vol. 6 Num.4. P. 201-211. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2021.04.201>.

REFERENCES:

1. Borovitska, A.G. (2016). Pryntsyp baseinovooho upravlinnia yak osnova vedennia derzhavnoho vodnoho kadastru. [The principle of basin management as a basis for maintaining the state water cadastre]. *Pravo ta innovatsii – Law and innovation*, 3(15), 87-93 [in Ukrainian].
2. Vodna stratehiia Ukrainy na period do 2025 roku (naukovi osnovy) [Water strategy of Ukraine for the period up to 2025 (scientific bases)]. (2015). Kyiv: NAAN Ukrainy, Instytut vodnykh problem i melioratsii [in Ukrainian].
3. Zakon Ukrainy «Pro Osnovni zasady (stratehiuu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku» vid № 2697-VIII [Law of Ukraine «On the Basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period until 2030» dated No. 2697-VIII]. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19> [in Ukrainian].

4. Zatserkovnyi, V.I., Plichko, L.V. (2017). Analiz systemy upravlinnia vodohospodarskym kompleksom Ukrainy ta poshuk shliakhiv shchodo yii vdoskonalennia [Analysis of the management system of the water management complex of Ukraine and the search for ways to improve it]. *Naukoiemni tekhnologii – Scientific technologies*, 4, 358-367 [in Ukrainian].
5. Klymchyk, O.M., Pinkina, T.V., Pinkin, A.A. (2018). Vprovadzhennia systemy intehrovanooho upravlinnia vodnymy resursamy za basinovym pryntsypom [Implementation of the system of integrated management of water resources according to the basin principle]. *ScienceRise*, 4 (45), 36-40 [in Ukrainian].
6. Kovshun, N. (2017). Systema staloho vodokorystuvannia yak skladova natsionalnoi ekonomiky [The system of sustainable water use as a component of the national economy.]. *Problemy i perspektyvy ekonomiky ta upravlinnia – Problems and prospects of economics and management*, 3, 61-68 [in Ukrainian].
7. Levkovska, L.V., Mandzyk, V.M., Mytrofanova, O.K. (2020). Teoretychni zasady formuvannia systemy staloho vodozabezpechennia v umovakh ekolohichnykh obmezhen [Theoretical foundations of the formation of a sustainable water supply system in conditions of environmental restrictions]. *Ekonomika pryrodokorystuvannia i stalyy rozvytok - Economics of nature use and sustainable development*, 7, 32-39 [in Ukrainian].
8. Levkovska, L.V., Mandzyk, V.M. (2018). Formuvannia modeli intehrovanooho upravlinnia vodnymy resursamy v konteksti zabezpechennia staloho vodokorystuvannia [Formation of a model of integrated management of water resources in the context of ensuring sustainable water use]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia - Balanced nature management*, 2, 46-53 [in Ukrainian].
9. Madzhd, S.M. (2019). Rozvytok naukovykh osnov basinovoho pryntsypu upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu tekhnohenno transformovanykh poverkhnevyykh vodnykh ob'ektiv [Development of the scientific basis of the basin principle of environmental safety management of technogenically transformed surface water bodies]. *Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
10. Pro Osnovni zasady (strategii) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 r.: Zakon Ukrainy vid 28.02.2019 r. № 2697-VIII [On the Basic principles (strategies) of the state environmental policy of Ukraine for the period until 2030: Law of Ukraine dated February 28, 2019 No. 2697-VIII.]. (2019). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy – Information of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 16 [in Ukrainian].
11. *Prohrama dii «Poriadok denniy na KhKhI stolittia»*: Per. z anhł.: VHO «Ukraina. Poriadok denniy na KhKhI stolittia» [Action program «Agenda for the 21st century»]: Trans. from English: VGO «Ukraine. Agenda for the 21st century»] (2000). Kyiv: Intelsfera [in Ukrainian].
12. Sait Derzhavnoho ahentstva vodnykh resursiv Ukrainy [The website of the State Agency of Water Resources of Ukraine]. *scwm.gov.ua*. Retrieved from: <http://www.scwm.gov.ua/> [in Ukrainian].
13. Teliura, N.O. (2020). Zabezpechennia ekolohichnoi bezpeky evtrofovanykh vodnykh ob'ektiv shliakhom vprovadzhennia priorytetnykh tekhnologii vodovidvedennia v naselenykh punktakh Ukrainy [Ensuring the ecological safety of eutrophic water bodies through the implementation of priority water drainage technologies in populated areas of Ukraine]. *Komunalne hospodarstvo mist - Communal management of cities*, 1, 154, 94-99 [in Ukrainian].
14. Khvesyuk, M.A., Levkovska, L.V. (2019). Upravlinnia vodnymy resursamy: yevrointehratyvnyi vektor [Water resources management: European integrative vector]. *Ekonomika pryrodokorystuvannia i stalyy rozvytok - Economics of nature use and sustainable development*, 5, 6-13 [in Ukrainian].
15. Cherkashyna, M. (2020). Vodni resursy u strategii staloho rozvytku ta natsionalnoi bezpeky Ukrainy [Water resources in the strategy of sustainable development and national security of Ukraine]. *The scientific heritage*, 55, 21-26 [in Ukrainian].
16. Shyrovkov, M.A. (2017). Napriamky udoskonalennia menedzhmentu vodnykh resursiv u konteksti zabezpechennia prodovolchoi bezpeky [Directions for improving water resources management in the context of ensuring food security]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu - Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University*, 16, 180-185 [in Ukrainian].
17. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of establishing a framework for Community action in the field of water policy/ OJ L 327, 22.12.01. 2001.
18. Valerko, R., Herasymchuk, L., Hurskyi, Y., Pavlenko, A. (2021). Assessment of drinking water quality within amalgamated territorial communities. *Environmental Problems*, Vol. 6 Num.4, 201-211. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2021.04.201>.

УДК 504.064.2.001.18

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>

Людмила ГЕРАСИМЧУК

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0000-0002-3166-5588

Руслана ВАЛЕРКО

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0000-0003-4716-0100

Василь РОЗГОН

здобувач освітнього ступеня магістр, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005
ORCID: 0009-0005-0688-6695

Вікторія МАЛІНОВСЬКА

здобувачка освітнього ступеня магістр, Поліський національний університет, бульвар Старий, 7, м. Житомир, Україна, 10008
ORCID: 0009-0000-1209-230X

Бібліографічний опис статті: Герасимчук, Л., Валерко, Р., Розгон, В., Маліновська, В. (2023). Тенденції викидів діоксиду вуглецю як чинника кліматичних змін в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 49–58, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>

ТЕНДЕНЦІЇ ВИКИДІВ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ЯК ЧИННИКА КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ОБСЯГІВ

Метою дослідження є висвітлення та оцінка обсягів викидів діоксиду вуглецю, як чинника кліматичних змін, в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел за період 2005 – 2021 рр., а також прогнозування їх обсягів.

Методологія. Інформаційною базою досліджень стали матеріали Державної служби статистики в Житомирській області. Оцінювали динаміку викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел за період 2005–2021 рр. в цілому по Житомирській області та в розрізі її адміністративно-територіальних одиниць; проводили ранжування регресійних моделей обсягів викидів за величинами достовірності апроксимації та значенням загальної похибки; здійснювали прогноз обсягів викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел.

Наукова новизна полягає у висвітленні регіональних тенденцій викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел та прогнозування їх обсягів.

Висновки. Починаючи з 2005 р. до атмосферного повітря Житомирської області надійшло 11628,7 тис. т діоксиду вуглецю, а його граничні значення відповідали 2005 р. (236,4 тис. т) та 2009 р. (876,2 тис. т). Обсяги викидів діоксиду вуглецю у 2016 – 2021 рр. перевищували рівень 2015 р., а їх відповідні значенням становили від 111% (2016 р.) до 130% (2018 р.), а у 2021 р. – 114,9%. Відмічено нерівномірний розподіл обсягів викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел забруднення в межах адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області: мінімальні значення – 0,1 тис. т – мали місце у Бердичівському (2012 р.), Ємільчинському (2012 – 2014 рр.), Лугинському (2014 р.), Малинському (2016 р.) та Черняхівському (2010 – 2012 рр. та 2014 р.) районах та м. Новоград-Волинський (2014 р.) – 21,6 тис. т, максимальні – 92,9 тис. т – Бердичівському районі (2014 р.) та у м. Житомир (2010 р.) – 359,1 тис. т. Частка районів у загальних обсягах викидів діоксиду вуглецю по області складала 33,2%, міст – 66,8% (у 2021 р. внесок новостворених районів складав 15,2% (Бердичівський), 48% (Житомирський), 20% (Жорстеньський), 16,8% (Новоград-Волинський)). За період 2010 – 2020 рр. перевищення середнього по області обсягу викидів діоксиду вуглецю від 1,3 до 11,2 разів мали місце у всіх містах, за виключен-

ням м. Новоград-Волинський (2014 р. і 2017 р.) та у 1,7 – 3 рази у Новоград-Волинському районі (за виключенням 2010 р.). За здійсненим прогнозом у наступні періоди обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел в атмосферне повітря Житомирської області будуть зменшуватися і становитимуть 574,7 тис. т у 2023 р., 522,5 тис. т у 2024 р. та 493,9 тис. т у 2025 р.

Ключові слова: діоксид вуглецю, зміни клімату, адміністративно-територіальні одиниці, кратність перевищення, внесок до обласного рівня, поліноміальна модель 2-го ступеня, прогнозування, тенденція до зменшення.

Liudmyla HERASYMCHUK

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection Processes of the State University "Zhytomyr Polytechnic", 103, St. Chudnivska, Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Ruslana VALERKO

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection Processes of the State University "Zhytomyr Polytechnic", 103, St. Chudnivska, Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Vasyl ROZGHON

Master's degree holder, State University "Zhytomyr Polytechnic", 103, St. Chudnivska, Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0009-0005-0688-6695

Viktoriia MALINOVSKA

Master's degree holder, Polissya National University, 7 Staryi Boulevard, Zhytomyr, Zhytomyr Region, Ukraine, 10008

ORCID: 0009-0000-1209-230X

To cite this article: Herasymchuk, L., Valerko, R., Rozghon, V., Malinovska, V. (2023). Tendentsii vykydiv dioksydu vuhletsu yak chynnyka klimatychnykh zmin v atmosferne povitria Zhytomyrskoi oblasti vid statsionarnykh dzherel ta prohnozuvannia yikh obsiahiv [Trends of carbon dioxide emissions as a factor of climate change into the atmospheric air of the Zhytomyr region from stationary sources and forecasting their volumes]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 49–58, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-7>

TRENDS OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS AS A FACTOR OF CLIMATE CHANGE INTO THE ATMOSPHERIC AIR OF THE ZHYTOMYR REGION FROM STATIONARY SOURCES AND FORECASTING THEIR VOLUMES

The purpose of the study is to highlight and assess the volume of carbon dioxide emissions, as a factor of climate change, into the atmospheric air of the Zhytomyr region from stationary sources for the period 2005–2021, as well as to forecast their volume.

Methodology. The materials of the State Statistics Service in the Zhytomyr region became the information base of the research. We evaluated the dynamics of carbon dioxide emissions from stationary sources for the period 2005–2021 in Zhytomyr Oblast as a whole and in its administrative-territorial units; ranked the regression models of emission volumes according to the values of the reliability of the approximation and the value of the total error; carried out a forecast of carbon dioxide emissions from stationary sources.

The scientific novelty consists in highlighting the regional trends of emissions of carbon dioxide into the atmospheric air of the Zhytomyr region from stationary sources and forecasting their volumes.

Conclusions. Starting from 2005, 11,628.7 thousand tons of carbon dioxide entered the atmospheric air of the Zhytomyr region, and its limit values corresponded to 2005 (236.4 thousand tons) and 2009 (876.2 thousand tons). The volumes of carbon dioxide emissions in 2016–2021 exceeded the level of 2015, and their corresponding values ranged from 111% (2016) to 130% (2018), and in 2021 – 114.9%. An uneven distribution of carbon dioxide emissions from stationary sources of pollution within the administrative territorial units of Zhytomyr region was noted: the minimum values - 0.1 thousand tons - took place in Berdychivskiyi (2012), Yemilchynskiyi (2012–2014), Luhynskiyi (2014), Malinskyyi (2016) and Chernyakhivskiyi (2010–2012 and 2014) districts and the city of Novograd-Volynskiyi (2014) – 21.6 thousand tons, maximum – 92.9 thousand tons - in the Berdychiv district (2014) and in the city of Zhytomyr (2010) – 359.1 thousand tons. The share of districts in the total volume of carbon dioxide emissions in the region was 33.2%, cities – 66.8% (in

2021, the contribution of newly created districts was 15.2% (Berdychivskiy), 48% (Zhytomyrskiy), 20% (Korostenskiy), 16.8% (Novograd-Volynskiy). During the period 2010-2020, the regional average carbon dioxide emissions exceeded 1.3 to 11.2 times in all cities, with the exception of Novograd-Volynskiy (2014 and 2017) and 1,7 – 3 times in the Novograd-Volyn district (with the exception of 2010). According to the forecast, in the following periods, the volumes of carbon dioxide emissions from stationary sources into the atmospheric air of the Zhytomyr region will decrease and will amount to 574.7 thousand tons in 2023, 522.5 thousand tons in 2024, and 493.9 thousand tons in 2025.

Key words: carbon dioxide, climate change, administrative-territorial units, multiplicity of excess, contribution to the regional level, polynomial model of the 2nd degree, forecasting, tendency to decrease.

Актуальність проблеми. Глобальне потепління – одна із головних загроз, як довкілля, так і здоров'ю населення, глобальній продовольчій безпеці, економічному розвитку, а основною його причиною є збільшення викидів вуглекислого газу (що є основним фактором парникового ефекту) через глобальний попит на енергію та викопне паливо. Багато дослідників протягом тривалого часу вивчали шкідливий вплив парникових газів на навколишнє середовище. Загальний висновок цих досліджень полягає в тому, що CO₂ сприяє глобальному потеплінню.

Сьогодні екологічні проблеми, такі як нездатність контролювати зростання викидів вуглекислого газу, зміна клімату та глобальне потепління, стоять на порядку денному політиків і різних організацій. У Паризькій угоді, підписаній у 2016 році, наголошується на необхідності декарбонізації та важливості скорочення CO₂ для сталого розвитку. Оскільки екологічна політика може мати довгостроковий вплив на змінні, що містять одиничні корені, важливо розуміти стохастичні властивості викидів CO₂.

Боротьба з посиленням «парникового ефекту», в тому числі скорочення викидів діоксиду вуглецю, перехід на шлях низьковуглецевого розвитку відповідно до європейського екологічного законодавства та національних інтересів – це те завдання, яке сьогодні стоїть перед нашою державою, адже однією з вимог, що висуваються в Угоді про асоціацію від 27.06.2014 р., є встановлення процедур моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів від енергетичних установок. Енергетичною стратегією до 2050 р. передбачено досягнення Україною вуглецевої нейтральності енергетичного сектору до 2050 р.

Наявність достовірних регіональних даних щодо обсягів викидів діоксиду вуглецю є важливим фактором для оцінки та моделювання їх майбутньої динаміки, а також зумовлених ними кліматичних змін відповідного масштабу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато дослідників протягом тривалого періоду

часу вивчали викиди діоксиду вуглецю, а саме їх джерела і поглиначі (Choomkong, Sirikunpitak, Darnsawasdi & Yordkayhun, 2017), постійність (Pata & Aydin, 2023), часові ряди викидів для глобальних атмосферних досліджень (EDGAR) з 1970 по 2021 рік (Crippa та ін., 2022), економіко-статистичне моделювання (Горошкова, Хлобистов & Трофимчук, 2019), тимчасове скорочення під час COVID-19 (Quére та ін., 2020; Huang, Saydaliev, Iqbal & Irfan, 2022).

Науковцями досліджувалися і взаємозв'язки викидів CO₂ із споживанням енергії, економічним зростанням, щільністю населення, зовнішньою торгівлею, урбанізацією, людським капіталом, достатком (Dietz & Rosa, 1997; Hossain, 2012; Liu, Kumail, Ali & Sadiq, 2019; García-Sanz-Calcedo, 2019; Zou & Zhang, 2020; Eyuboglu & Uzar, 2020; Uzair, Gong, Ubaid, Asmi & Muhammad, 2020; Anwar, Younis & Ullah, 2020; Mukhlis, 2020; Huang, Saydaliev, Iqbal & Irfan, 2022). Географія вивчення викидів діоксиду вуглецю теж вражає та охоплює всі куточки світу: Тайланд (Choomkong, Sirikunpitak, Darnsawasdi & Yordkayhun, 2017), країни БРИКС (Ghouali, Belmokaddem, Sahraoui & Guellil, 2015) і Великої сімки (США, Великобританія, Японія, Канада, Німеччина, Франція та Італія) (Pata & Aydin, 2023), міські райони США (Fragkias, Lobo, Strumsky & Seto, 2013), 30 провінцій Китаю (Zou & Zhang, 2020), Пакистан (Liu, Kumail, Ali & Sadiq, 2019), Туреччина (Eyuboglu & Uzar, 2020), Китай (Shan та ін., 2018), Індія, Пакистан та Бангладеш (Uzair, Gong, Ubaid, Asmi & Muhammad, 2020), Японія (Hossain, 2012), Індонезія (Mukhlis, 2020), країни Далекої Східної Азії (Anwar, Younis & Ullah, 2020), України (Горошкова, Хлобистов & Трофимчук, 2019).

Науковцями визначено, що з часом зростання споживання енергії призводить до збільшення викидів вуглекислого газу, в результаті чого навколишнє середовище буде більше забрудненим (Hossain, 2012), зростання населення та економічний розвиток посилять викиди

парникових газів (Dietz & Rosa, 1997). Uzair, Gong, Ubaid, Asmi & Muhammad (2020) підтверджено гіпотезу екологічної кривої Кузнеця про U-подібний зв'язок між CO₂ і економічним розвитком, встановлено наявність короткострокових причинно-наслідкових зв'язків з економічним розвитком, щільністю населення та споживанням викопного палива з CO₂; CO₂ має негативний вплив на економічний розвиток, тоді як вплив викопного палива, загального експорту на економічний розвиток у довгостроковій перспективі позитивний; у короткостроковій перспективі CO₂, споживання викопного палива спричиняють економічний розвиток; викиди CO₂ негативно впливають на щільність населення, тоді як економічний розвиток позитивно впливає на щільність населення в довгостроковій перспективі. Результати Zou & Zhang (2020) показують, що економічне зростання може значно зменшити викиди вуглекислого газу, хоча рівень економічного зростання став позитивною рушійною силою викидів вуглекислого газу, проте скорочення викидів істотно не вплине на економічне зростання. Euyuboglu & Uzar (2020) серед причин викидів називають туризм, економічне зростання та споживання енергії. Крім того, викиди, економічне зростання та споживання енергії є причинами розвитку туризму в довгостроковій перспективі (адже туристи звертають увагу на екологічну безпечність країни, якою вони подорожують). Згідно з результатами дослідження Huang, Saydaliev, Iqbal & Irfan (2022) монетарні інструменти зростання посилюють несприятливий вплив викидів, а через посилення монетарної політики – шкідливий вплив викидів був знижений (двонаправлена причинність між грошово-кредитною політикою та рівнями викидів).

Проте питання висвітлення обсягів викидів діоксиду вуглецю на регіональному рівні, зокрема й на території Житомирської області, не знайшло свого відображення в аналізованих літературних джерелах.

Мета дослідження – висвітлення та оцінка обсягів викидів діоксиду вуглецю, як чинника кліматичних змін, в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел за період 2005 – 2021 рр., а також прогнозування їх обсягів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Починаючи з 2005 р. до атмосферного повітря Житомирської області надійшло 11628,7 тис. т

діоксиду вуглецю. Мінімальні кількості викидів – 236,4 тис. т – спостерігалися у 2005 р., максимальні – 876,2 тис. т – у 2009 р. Нарощення обсягів викидів діоксиду вуглецю характерне саме для періоду 2005 – 2009 рр. (у 3,7 рази), а також 2015 – 2018 рр. (у 1,3 рази). Відмічається зменшення обсягів викидів у 1,2 рази у період з 2009 р. по 2011 р., у 1,4 рази – з 2012 р. по 2015 р. та у 1,1 рази починаючи з 2018 р. (рис. 1). Відмітимо, що обсяги викидів діоксиду вуглецю у 2016 – 2021 рр. перевищували рівень 2015 р., а їх відповідні значенням становили від 111% (2016 р.) до 130% (2018 р.), а у 2021 р. – 114,9% рівня 2015 р.

Викиди діоксиду вуглецю є одним з головних чинників змін клімату (Herasymchuk & Valerko, 2020; Пацева, Алпатова, Рибак, Циганенко-Дзюбенко & Медвідь О., 2022). Так, попередніми нашими дослідженнями визначено, що на території м. Житомир за період 2000 – 2022 рр. років температура повітря збільшилася на 1,9°C порівняно з кліматичною нормою (за період 2000 – 2010 років підвищення температури повітря склало 1,7°C (Herasymchuk & Valerko, 2020), а за 2011 – 2020 років – 3,5°C), а відхилення від кліматичної норми (6,9°C) становило від 0,9 (2004 р.) до 3,5 (2020 р.)°C. За період 2004–2014 рр. середньорічна температура по місту Коростень підвищилася з 7,6 до 9,0°C (Валерко, 2015), м. Звягель за період 2000 – 2017 рр. – на 1,5 °C відносно норми (Герасимчук, Валерко & Мартенюк, 2018).

Обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел забруднення не рівномірно розподілялися в межах адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області (рис. 2, 3). Мінімальні обсяги викидів діоксиду вуглецю за період спостережень – 0,1 тис. т – мали місце у Бердичівському (2012 р.), Ємільчинському (2012 – 2014 рр.), Лугинському (2014р.), Малинському (2016р.) та Черняхівському (2010–2012 рр. та 2014р.) районах, максимальні – 92,9 тис. т – Бердичівському районі (2014 р.) (рис. 3). Що стосується міст, то мінімальні обсяги викидів були характерні для м. Новоград-Волинський у 2014 р., максимальні – 359,1 тис. т – для м. Житомир у 2010 р. (рис. 2).

В цілому за період 2010 – 2020 рр. частка районів у загальних обсягах викидів діоксиду вуглецю по області складала 33,2%, міст – 66,8%. В розрізі років частка районів у загальних обсягах викидів

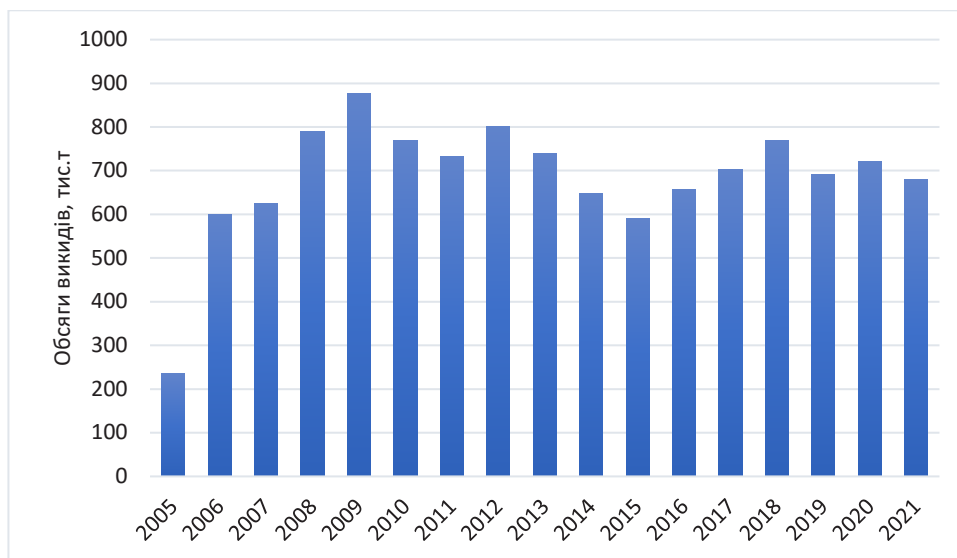


Рис. 1. Обсяги викидів діоксиду вуглецю в атмосферне повітря Житомирської області від стаціонарних джерел, 2010–2021 рр.

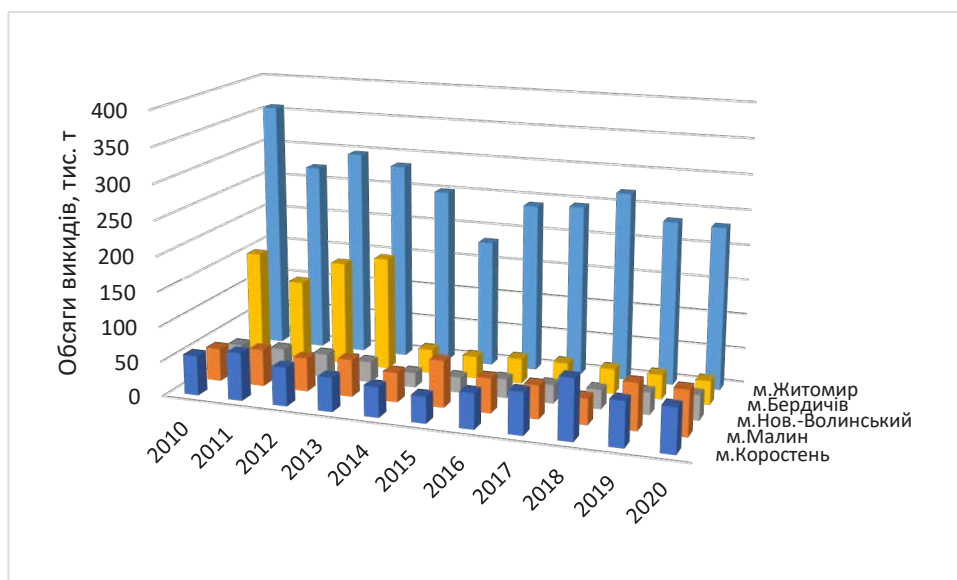


Рис. 2. Обсяги викидів діоксиду вуглецю в розрізі міст Житомирської області, 2010 – 2020 рр.

діоксиду вуглецю по області варіювала від 15,3% (2010 р.) до 41,9% (2015 р.), міст – від 58,1% (2015 р.) до 84,7% (2010 р.). У 2020 р. райони привносили 39,8% обсягів діоксиду вуглецю по загальних по області, міста – 60,2% (рис. 4).

В розрізі окремих років від 35,7% (2019 р.) до 60,7% (2013 р.) адміністративно-територіальних одиниць області привносили менше 1% до загальних обсягів викидів діоксиду вуглецю по області, від 7,1% (2013 р. і 2016 р.) до 25% (2018 р. і 2020 р.) АТО – 1,01 – 2% до загальних обсягів викидів по області, від 3,6% (2012 р.

і 2014 р.) до 17,9% (2019 р.) АТО – 2,01 – 3% до загальних обсягів викидів по області, від 3,6% до 10,7% АТО – 3,01 – 4%, 4,01 – 5%, 6,01 – 7%, 7,01 – 8%, 9,01 – 10% і більше 10,1% до загальних обсягів викидів по області.

У 2021 р. до атмосферного повітря новоствореного Бердичівського району надійшло 103551 т викидів діоксиду вуглецю, Житомирського – 325708 т, Коростенського – 135915 т, Новоград-Волинського – 114042 т, що становило 15,2%, 48%, 20% і 16,8% обласного рівня відповідно (рис. 5).

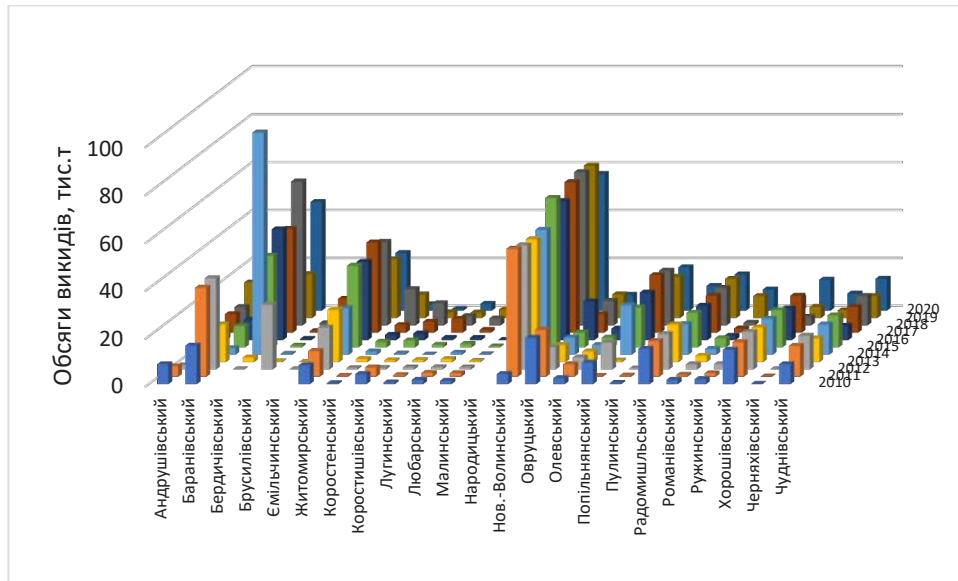


Рис. 3. Обсяги викидів діоксиду вуглецю в розрізі районів Житомирської області, 2010 – 2020 рр.

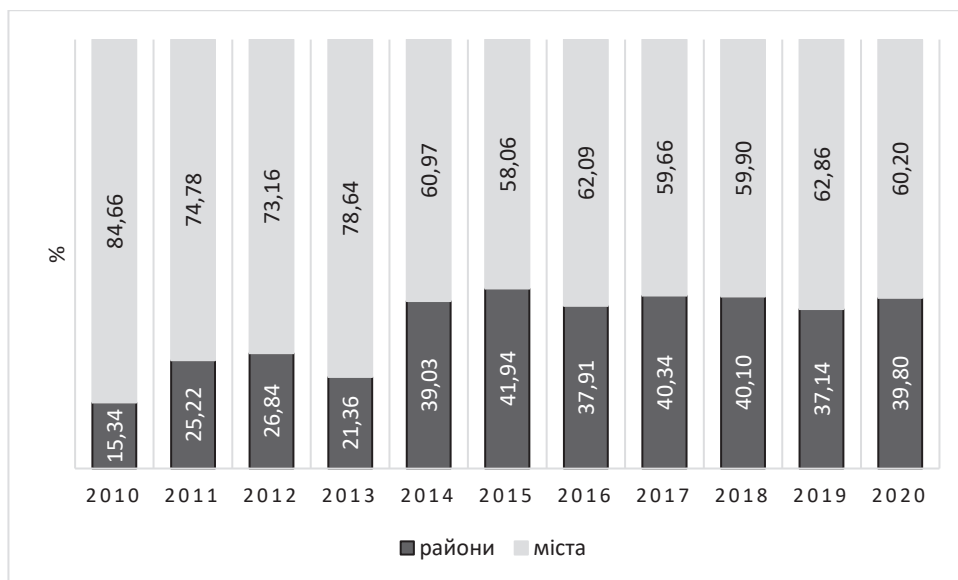


Рис. 4. Внесок міста та районів до загальних обсягів викидів діоксиду вуглецю по області, 2010–2020 рр.

Важливим для оцінки динаміки обсягів викидів діоксиду вуглецю є й перевищення середнього по області рівня останніх. Визначено, що за період 2010 – 2020 рр. перевищення середнього по області рівня викидів діоксиду вуглецю від 1,3 до 11,2 разів мали місце у всіх містах (м. Житомир – від 8,7 до 11,2 разів, м. Бердичів – від 1,3 до 5,5 разів, м. Коростень – від 1,7 до 3,1 разів, м. Малин – від 1,3 до 3,2 разів, м. Новоград-Волинський – від 0,9 до 1,4 рази), за виключенням м. Новоград-Волинський (2014 р. і 2017 р.)

та у 1,7 – 3 рази у Новоград-Волинському районі (за виключенням 2010 р.). Також перевищення середнього по області рівня викидів діоксиду вуглецю спостерігалося у Баранівському – у 1,3 рази (2011 р., 2012 р.), Бердичівському – у 1,7 – 3,7 рази (2014–2018 рр. і 2020 р.) та Житомирському районах – у 1,2 – 1,6 разів (2015 – 2018 рр.).

Наступним етапом досліджень стало побудова точкових діаграм з 6-ма видами апроксимаційної залежності (лінійна, поліноміальна

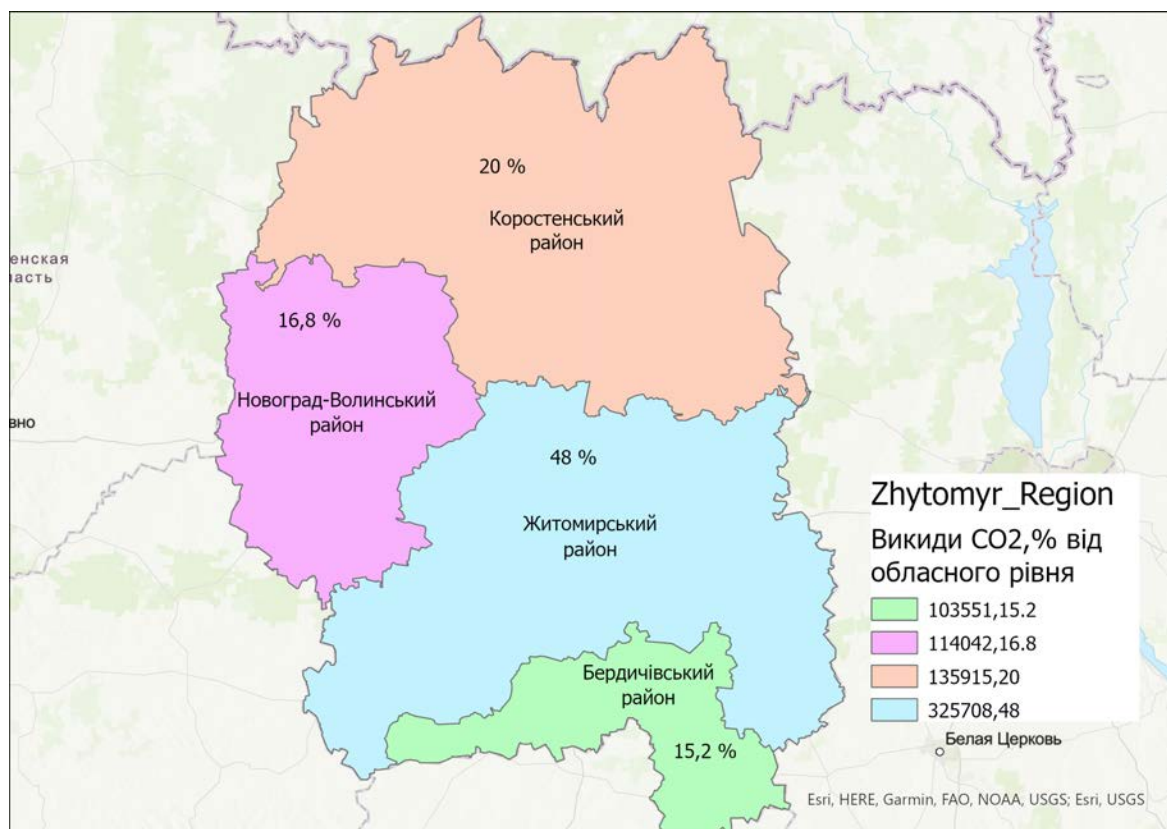


Рис. 5. Обсяги викидів діоксиду вуглецю та внесок районів до загальних обсягів по Житомирській області, 2021 р.

Таблиця 1

Результат ранжування регресійних моделей за значенням R^2

Вид апроксимації	Рівняння регресійної моделі	Значення R^2	Ранг	Значення похибки	Ранг	Сума рангів
Лінійна	$y = 7,8863x + 613,06$	0,0832	6	13,19	3	9
Поліноміальна 2-го ступеня	$y = -3,1637x^2 + 64,833x + 432,73$	0,3375	3	12,13	1	4
Поліноміальна 3-го ступеня	$y = 0,9046x^3 - 27,589x^2 + 245,76x + 123,35$	0,7118	1	387,75	6	7
Експонентна	$y = 553,86e^{0,0201x}$	0,1257	5	14,92	4	9
Степенева	$y = 431,35x^{0,2187}$	0,3689	2	15,71	5	7
Логарифмічна	$y = 93,916\ln(x) + 498,94$	0,2929	4	13,08	2	6

2-го та 3-го ступеня, експонентна, логарифмічна та степенева) з величинами достовірності (R^2), перевірка достовірності проведених розрахунків за побудованими моделями, розрахунок загальної похибки та ранжування побудованих моделей (табл. 1).

Перший ранг отримала поліноміальна модель 3-го ступеню з рівнянням $y = 0,9046x^3 - 27,589x^2 + 245,76x + 123,35$, оскільки її значення R^2 виявилось максимальним серед всіх інших і становило 0,7118; та поліноміальна модель 2-го ступеню з рівнянням $y = -3,1637x^2 + 64,833x + 432,73$, оскільки має найменшу похибку – 12,13.

Для остаточного результату щодо доцільності використання однієї з побудованих моделей для прогнозування на основі даних щодо рангів за значенням R^2 та загальної похибки проведене зведене ранжування, за результатами якого по дві моделі (поліноміальна 2-го ступеня і степенева та лінійна і експонентна) отримали однакові суми рангів – 7 та 9 відповідно, логарифмічна модель отримала 6 ранг, найменша сума рангів – 4 – у поліноміальній моделі 2-го ступеня, тому для прогнозування будемо використовувати саме її. Отриманий графік прогнозу обсягів викидів діоксиду вуглецю представлено на рис. 6.

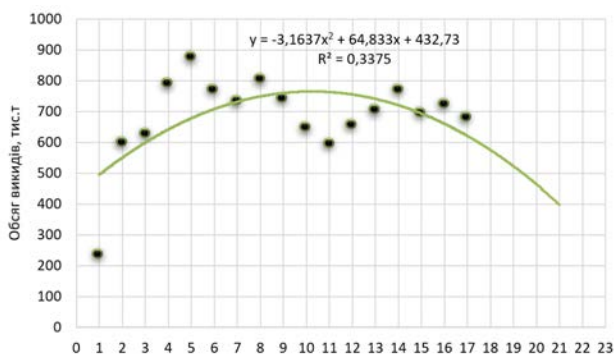


Рис. 6. Прогноз обсягів викидів діоксиду вуглецю на чотири періоди вперед

За здійсненим прогнозом у наступні періоди обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел в атмосферне повітря Житомирської області будуть зменшуватися і становитимуть 574,7 тис. т у 2023 р., 522,5 тис. т у 2024 р. та 493,9 тис. т у 2025 р.

Проте, варто відмітити, що досліджувалися лише викиди від стаціонарних джерел забруднення, не враховуючи пересувних та обсягів викидів, зумовлених військовими діями російської федерації.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Починаючи з 2005 р. до атмосферного повітря Житомирської області надійшло 11628,7 тис. т діоксиду вуглецю, а його граничні значення відповідали 2005 р. (236,4 тис. т) та 2009 р. (876,2 тис. т). Обсяги викидів діоксиду вуглецю у 2016 – 2021 рр. перевищували рівень 2015 р., а їх відповідні значенням становили від 111% (2016 р.) до

130% (2018 р.), а у 2021 р. – 114,9%. Відмічено нерівномірний розподіл обсягів викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел забруднення в межах адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області: мінімальні значення – 0,1 тис. т – мали місце у Бердичівському (2012 р.), Ємільчинському (2012 – 2014 рр.), Лугинському (2014 р.), Малинському (2016 р.) та Черняхівському (2010 – 2012 рр. та 2014 р.) районах та м. Новоград-Волинський (2014 р.) – 21,6 тис. т, максимальні – 92,9 тис. т – Бердичівському районі (2014 р.) та у м. Житомир (2010 р.) – 359,1 тис. т. Частка районів у загальних обсягах викидів діоксиду вуглецю по області складала 33,2%, міст – 66,8% (у 2021 р. внесок новостворених районів склав 15,2% (Бердичівський), 48% (Житомирський), 20% (Коростенський), 16,8% (Новоград-Волинський)). За період 2010 – 2020 рр. перевищення середнього по області рівня викидів діоксиду вуглецю від 1,3 до 11,2 разів мали місце у всіх містах, за виключенням м. Новоград-Волинський (2014 р. і 2017 р.) та у 1,7 – 3 рази у Новоград-Волинському районі (за виключенням 2010 р.). За здійсненим прогнозом у наступні періоди обсяги викидів діоксиду вуглецю від стаціонарних джерел в атмосферне повітря Житомирської області будуть зменшуватися і становитимуть 574,7 тис. т у 2023 р., 522,5 тис. т у 2024 р. та 493,9 тис. т у 2025 р.

У перспективі подальших досліджень – оцінка обсягів викидів діоксиду вуглецю від пересувних джерел забруднення та зумовлених військовим вторгненням рф.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Anwar A., Younis M., Ullah I. Impact of Urbanization and Economic Growth on CO₂ Emission: A Case of Far East Asian Countries. *Int J Environ Res Public Health*. 2020. 17(7):2531. DOI: 10.3390/ijerph17072531.
2. Choomkong A., Sirikunpitak S., Darnsawasdi R., Yordkayhun S. A study of CO₂ Emission Sources and Sinks in Thailand. *Energy Procedia*. 2017. 138. P. 452–457. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.198.
3. Crippa M., Guizzardi D., Banja M., Solazzo E., Muntean M., Schaaf E., Pagani F., Monforti-Ferrario F., Olivier J., Quadrelli R., Risquez Martin A., Taghavi-Moharamli P., Grassi G., Rossi S., Jacome F. O. D., Branco A., San-Miguel-Ayanz J., Vignati E. CO₂ emissions of all world countries. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. DOI: 10.2760/730164.
4. Dietz T., Rosa E.A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *PNAS*. 1997. 94 (1). P. 175–179. DOI: 10.1073/pnas.94.1.175.
5. Eyuboglu K., Uzar U. The impact of tourism on CO₂ emission in Turkey. *Current Issues in Tourism*. 2020. 23(13). P. 1631-1645. DOI: 10.1080/13683500.2019.1636006.
6. Fragkias M., Lobo J., Strumsky D., Seto K.C. Does Size Matter? Scaling of CO₂ Emissions and U.S. Urban Areas. *PLoS ONE*. 2013. 8(6): e64727. DOI: 10.1371/journal.pone.0064727.
7. García-Sanz-Calcedo J. Study of CO₂ emissions from energy consumption in Spanish hospitals. *Vibroengineering PROCEDIA*. 2019. 26. P. 46–51. DOI: 10.21595/vp.2019.20965.

8. Ghouali Y.Z., Belmokaddem M., Sahraoui M.A., Guellil M.S. Factors Affecting CO₂ Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis. *Procedia Economics and Finance*. 2015. 26. P. 114–125. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00890-4.
9. Herasymchuk L.O., Valerko R.A. Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science* : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing, 2020. P. 85–101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.
10. Hossain S. An Econometric Analysis for CO₂ Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Foreign Trade and Urbanization of Japan. *Low Carbon Economy*. 2012. 3(3A). P. 92–105. DOI: 10.4236/lce.2012.323013.
11. Huang W., Saydaliev H.B., Iqbal W., Irfan M. Measuring the Impact of Economic Policies on CO₂ Emissions: Ways To Achieve Green Economic Recovery In the Post-COVID-19 Era. *Climate Change Economics*. 2022. 13(03), 2240010. DOI: 10.1142/S2010007822400103.
12. Liu Y., Kumail T., Ali W., Sadiq F. The dynamic relationship between CO₂ emission, international tourism and energy consumption in Pakistan: a cointegration approach. *Tourism Review*. 2019. 74(4). P. 761–779. DOI: 10.1108/TR-01-2019-0006.
13. Mukhlis M. The Causality between Human Capital, Energy Consumption, CO₂ Emissions, and Economic Growth: Empirical Evidence from Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2020. 9(2). P. 98–104. DOI: 10.2139/ssrn.3626060.
14. Pata U.K., Aydin M. Persistence of CO₂ emissions in G7 countries: a different outlook from wavelet-based linear and nonlinear unit root tests. *Environ Sci Pollut Res*. 2023. 30. P. 15267–15281. DOI: 10.1007/s11356-022-23284-2.
15. Quéré C.L., Jackson R.B., Jones M.W., Smith A.J.P., Abernethy S., Andrew R.M., De-Gol A.J., Willis D.R., Shan Y., Canadell J.G., Friedlingstein P., Creutzig F., Peters G.P. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*. 2020. 10. P. 647–653. DOI: 10.1038/s41558-020-0797-x.
16. Shan Y., Guan D., Zheng H., Ou J., Li Y., Meng J., Mi Z., Liu Z. & Zhanget Q. China CO₂ emission accounts 1997–2015. *Sci Data*. 2018. 5, 170201. DOI: 10.1038/sdata.2017.201.
17. Uzair M.A., Gong Z., Ubaid M.A., Asmi F., Muhammad R. CO₂ emission, economic development, fossil fuel consumption and population density in India, Pakistan and Bangladesh: A panel investigation. *Finance and Economics*. 2020. 27(1). P. 18–31. DOI: 10.1002/ijfe.2134.
18. Zou S., Zhang T. CO₂ Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth Nexus: Evidence from 30 Provinces in China. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020, 8842770. DOI: 10.1155/2020/8842770.
19. Валерко Р.А. Екологічна оцінка змін клімату на території м. Коростень Житомирської області. *Вісник ЖНАЕУ*. 2015. № 2(50), т. 1. С. 46–54. URL: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/3334> (дата звернення 14.10.2023).
20. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Мартенюк Г.М. Тенденції зміни клімату на території м. Новоград-Волинський Житомирської області. *Наукові горизонти*. 2018. 2(65). С. 42–50. URL: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/9497> (дата звернення 14.10.2023).
21. Горошко Л.А., Хлобистов Є.В., Трофимчук, В.О. Економіко-статистичне моделювання детермінант динаміки забруднення довкілля України. *Економіка і організація управління*. 2019. 2(34). С. 46–55. DOI: 10.31558/2307-2318.2019.2.5.
22. Пацева І., Алпатова О., Рибак О., Циганенко-Дзюбенко І., Медвідь О. Озеленення даху як захід по адаптації зміни клімату на прикладі м. Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. 3. С. 67–74. DOI: 10.32782/pcsd-2022-3-9.

REFERENCES:

1. Anwar, A., Younis, M., & Ullah, I. (2020). Impact of Urbanization and Economic Growth on CO₂ Emission: A Case of Far East Asian Countries. *Int J Environ Res Public Health*, 17(7):2531. DOI: 10.3390/ijerph17072531.
2. Choomkong, A., Sirikunpitak, S., Darnsawasdi, R., & Yordkayhun, S. (2017). A study of CO₂ Emission Sources and Sinks in Thailand. *Energy Procedia*, 138, 452–457. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.198.
3. Crippa, M., Guizzardi, D., Banja, M., Solazzo, E., Muntean, M., Schaaf, E. et al. (2022). CO₂ emissions of all world countries. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. DOI: 10.2760/730164.
4. Dietz, T., & Rosa, E.A. (1997). Effects of population and affluence on CO₂ emissions. *PNAS*, 94 (1), 175–179. DOI: 10.1073/pnas.94.1.175.
5. Eyuboglu, K., & Uzar, U. (2020). The impact of tourism on CO₂ emission in Turkey. *Current Issues in Tourism*, 23(13), 1631–1645. DOI: 10.1080/13683500.2019.1636006.
6. Fragkias, M., Lobo, J., Strumsky, D., & Seto, K.C. (2013). Does Size Matter? Scaling of CO₂ Emissions and U.S. Urban Areas. *PLoS ONE*, 8(6): e64727. DOI: 10.1371/journal.pone.0064727.
7. García-Sanz-Calcedo, J. (2019). Study of CO₂ emissions from energy consumption in Spanish hospitals. *Vibroengineering PROCEDIA*, 26, 46–51. DOI: 10.21595/vp.2019.20965.

8. Ghouali, Y.Z., Belmokaddem, M., Sahraoui, M.A., & Guellil, M.S. (2015). Factors Affecting CO₂ Emissions in the BRICS Countries: A Panel Data Analysis. *Procedia Economics and Finance*, 26, 114–125. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00890-4.
9. Herasymchuk, L.O. & Valerko, R.A. (2020). Coverage of climate change trends in Zhytomyr over a 19-year period. *Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural science* : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing. 85-101. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/1.6>.
10. Hossain, S. (2012). An Econometric Analysis for CO₂ Emissions, Energy Consumption, Economic Growth, Foreign Trade and Urbanization of Japan. *Low Carbon Economy*, 3(3A), 92–105. DOI: 0.4236/lce.2012.323013.
11. Huang, W., Saydaliev, H.B., Iqbal, W., & Irfan, M. (2022). Measuring the Impact of Economic Policies on CO₂ Emissions: Ways To Achieve Green Economic Recovery In the Post-COVID-19 Era. *Climate Change Economics*, 13(03), 2240010. DOI: 10.1142/S2010007822400103.
12. Liu, Y., Kumail, T., Ali, W., & Sadiq, F. (2019). The dynamic relationship between CO₂ emission, international tourism and energy consumption in Pakistan: a cointegration approach. *Tourism Review*, 74(4), 761–779. DOI: 10.1108/TR-01-2019-0006.
13. Mukhlis, M. (2020). The Causality between Human Capital, Energy Consumption, CO₂ Emissions, and Economic Growth: Empirical Evidence from Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), 98-104. DOI: 10.2139/ssrn.3626060.
14. Pata, U.K., & Aydin, M. (2023). Persistence of CO₂ emissions in G7 countries: a different outlook from wavelet-based linear and nonlinear unit root tests. *Environ Sci Pollut Res*, 30, 15267–15281. DOI: /10.1007/s11356-022-23284-2.
15. Quéré, C.L., Jackson, R.B., Jones, M.W., Smith, A.J.P., Abernethy, S., Andrew, R.M. et al. (2020). Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 10, 647-653. DOI: 10.1038/s41558-020-0797-x.
16. Shan, Y., Guan, D., Zheng, H., Ou, J., Li, Y., Meng, J. et al. (2018). China CO₂ emission accounts 1997–2015. *Sci Data*, 5, 170201. DOI: 10.1038/sdata.2017.201.
17. Uzair, M.A., Gong, Z., Ubaid, M.A., Asmi, F., & Muhammad, R. (2020). CO₂ emission, economic development, fossil fuel consumption and population density in India, Pakistan and Bangladesh: A panel investigation. *Finance and Economics*, 27(1), 18–31. DOI: 10.1002/ijfe.2134.
18. Zou, S., & Zhang, T. (2020). CO₂ Emissions, Energy Consumption, and Economic Growth Nexus: Evidence from 30 Provinces in China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 8842770. DOI: 10.1155/2020/8842770.
19. Valerko, R.A. (2015). Ekolohichna otsinka zmin klimatu na terytorii m. Korosten Zhytomyrskoi oblasti [The ecological assessment of climate changes on the territory of the city of Korosten of Zhytomyr region]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroeklohichnoho universytetu - Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University*, 2(50), 46–54. Retrieved from <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/3334> [in Ukrainian].
20. Herasymchuk, L.O., Valerko, R.A. & Marteniuk, H.M. (2018). Tendentsii zminy klimatu na terytorii m. Novohrad-Volynskiy Zhytomyrskoi oblasti [Climate change tendencies on the territory of the city of Novohrad-Volynskiy in Zhytomyr region]. *Naukovi horyzonty - Scientific Horizons*, 2(65), 42–50. Retrieved from <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/9497> [in Ukrainian].
21. Horoshkova, L.A., Khlobystov, Ye.V., & Trofymchuk, V.O. (2019). Ekonomiko-statystychni modeliuvannia determinant dynamiky zabrudnennia dokillia Ukrainy [Economic-statistical modeling of determinant of dynamics of pollution in an environment of Ukraine]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia – Economics and Organization of Management*, 2(34), 46–55. DOI: 10.31558/2307-2318.2019.2.5 [in Ukrainian].
22. Patseva I., Alpatova O., Rybak O., Tsyhanenko-Dziubenko I., & Medvid O. (2022). Ozelenennia dakhu yak zakhid po adaptatsii zminy klimatu na prykladi m. Zhytomyr . Problemy khimii ta staloho rozvytku [Rooftop gardening as an adaption measure of the climate changes a case study of Zhytomyr]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku - Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 67–74. DOI: 10.32782/pcsd-2022-3-9.

УДК 630.96

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-8>

Ірина ПАЦЕВА

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Scopus Author ID: 57219049758

Олена БАРАБАШ

доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010

ORCID: 0000-0001-5206-2922

Scopus Author ID: 57219050446

Вікторія МЕЛЬНИК-ШАМРАЙ

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0002-3551-5085

Scopus Author ID: 57207858684

Ігор ПАЦЕВ

аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного транспортного університету, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010

ORCID: 0009-0001-4541-2223

Бібліографічний опис статті: Пацева, І., Барабаш, О., Мельник-Шамрай, В., Пацев, І. (2023). Екологічна оцінка впливу пожеж у природних екосистемах на стан екологічної безпеки Житомирської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 59–65, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-8>

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ НА СТАН ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Лісові пожежі – це небезпечна подія, яка негативно впливає на всі складові довкілля та спричиняє негативні наслідки для здоров'я людини. В Україні в середньому щорічно виникає близько 3,5 тис. лісових пожеж, в результаті яких вигорає понад 5 тис. га лісу. У статті розглядаються основні причини виникнення лісових пожеж та їх вплив на компоненти довкілля. Результати досліджень свідчать, що в 2022 році кількість пожеж в Україні була в 1,5 разів більше порівняно з 2021 роком, а збитки становили – 438,9 млн. грн. В понад 200 випадках площа пожеж займала більше ніж 5 га. Основними причинами пожеж, що виникають на території України, де проходять бойові дії є загоряння в насадженнях через активні бойові дії, обстріли крилатими ракетами та снарядами, наявність вибухонебезпечних предметів. Проте, зараз не можна оцінити прямі та непрямі збитки, які завдані лісовими пожежами, адже частина території, де відбулися пожежі, наразі перебуває під контролем окупаційних сил або ведуться бойові дії. Лише після завершення військових дій зможемо провести інструментальні дослідження на території лісів, що постраждали від пожеж та здійснити розрахунок економічних та екологічних збитків, що були завдані лісовому господарству України. Аналіз статистичних матеріалів свідчить, що основними причинами пожеж в Житомирській області є випалювання лісів, торфовищ, сільськогосподарських угідь та сухої трави. Варто зазначити, що основним рушійним фактором виникнення лісових пожеж є антропогенна діяльність. Найбільшу небезпеки для людей та довкілля становлять пожежі в лісах на радіоактивно забруднених територіях. Для запобігання лісовим пожежам лісгосподарські підприємства будують протипожежні та мінеральні смуги, бар'єри, встановлюють протипожежні банери, панно, плакати та проводять інформаційну роботу через засоби масової інформації.

Ключові слова: лісові екосистеми, воєнні дії, лісові пожежі, ушкодження ґрунтів, забруднення, інвентаризація лісів, лісовідновлення.

Iryna PATSEVA

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Scopus Author ID: 57219049758

Olena BARABASH

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies National Transport University, 1, Mykhaila Omelianovycha, Pavlenka Str., Kyiv, Ukraine, 01010

ORCID: 0000-0001-5206-2922

Scopus Author ID: 57219050446

Viktoriia MELNYK-SHAMRAI

PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of Ecology and Environmental Technologies Department of Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-3551-5085

Scopus Author ID: 57207858684

Igor PATSEV

PhD student (Ecology) at the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies National Transport University, 1, Mykhaila Omelianovycha, Pavlenka Str. Kyiv, Ukraine, 01010

ORCID: 0009-0001-4541-2223

To cite this article: Patseva, I., Barabash, O., Melnyk-Shamrai, V., Patsev I. (2023). Ekolohichna otsinka vplyvu pozhezh u pryrodnykh ekosystemakh na stan ekolohichnoi bezpeky Zhytomyrskoi oblasti. [Ecological assessment of the impact of fires in natural ecosystems on the state of environmental safety in Zhytomyr region]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 59–65, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-8>

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FIRES IN NATURAL ECOSYSTEMS ON THE STATE OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE ZHYTOMYR REGION

Forest fires are a dangerous event that negatively affects all components of the environment and causes negative consequences for human health. In Ukraine, on average, about 3,500 forest fires occur annually, as a result of which more than 5,000 hectares of forest are burned. The article examines the main causes of forest fires and their impact on environmental components. Research results show that in 2022, the number of fires in Ukraine was 1.5 times higher than in 2021, and the losses amounted to UAH 438.9 million. In more than 200 cases, the area of fires occupied more than 5 hectares. The main causes of fires occurring on the territory of Ukraine, where military operations are taking place, are fires in plantations due to active hostilities, shelling by cruise missiles and shells, and the presence of explosive objects. However, it is currently not possible to assess the direct and indirect damage caused by the forest fires, because part of the territory where the fires occurred is currently under the control of the occupying forces or hostilities are underway. Only after the end of the hostilities will we be able to carry out instrumental research on the territories of the forests affected by the fires and calculate the economic and ecological losses that have been caused to the forestry industry of Ukraine. The analysis of statistical materials shows that the main causes of fires in the Zhytomyr region are the burning of forests, peatlands, agricultural lands and dry grass. It is worth noting that the main driving factor for the occurrence of forest fires is anthropogenic activity. Forest fires in radioactively contaminated areas pose the greatest danger to people and the environment. To prevent forest fires, forestry enterprises build fire and mineral strips, barriers, install fire prevention banners, panels, posters and carry out information work through mass media.

Key words: forest ecosystems, military actions, forest fires, soil damage, pollution, forest inventory, forest restoration.

Актуальність. Ліси відіграють важливу роль для суспільства. Так, в річкових басейнах вони підтримують водний потік, зменшують водну

ерозію та запобігають забрудненню води. На пасовищах ліси затримують поверхневий стік, зменшують швидкість вітру, уповільнюють

випаровування ґрунтової вологи, захищають поля від посухи та пилових бур. Важливою функцією лісів є укріплення та захист ґрунту. У гірських районах ліси запобігають зсувам. Санітарно-гігієнічні, оздоровчі та рекреаційні функції лісів неможливо переоцінити.

Лісові пожежі – одна з найважливіших екологічних проблем, яка потребує постійного та ефективного вирішення. Це природне явище, яке загрожує не лише лісам, а й людині, та існує у світі протягом століть. Зростаючий антропогенний вплив на ліси та постійне освоєння нових лісових територій призвели до значного збільшення їх кількості та площі. Глобальне потепління та більш сухий клімат постійно підвищують загрозу збільшення кількості та масштабів лісових пожеж. Сьогодні в усьому світі активно впроваджуються сучасні методи прогнозування та супутникові системи виявлення лісових пожеж, але масштаби збитків від лісових пожеж все ще залишаються дуже великими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Виникнення лісових пожеж негативно впливає на всі компоненти довкілля. Найбільше шкоди від пожеж зазнає живе надґрунтове покриття. Так, знищується рослинний покрив, пошкоджуються деревні насадження, зменшується біологічне різноманіття, поширюються шкідники та хвороби. Вплив на ґрунти проявляється в наступному: зниження вологості ґрунту та рівня рН, зміна його структури, вигорання гумусу, зростання мінералізації ґрунтів – це все може призвести до ерозії ґрунтів. Вплив на водні ресурси – це порушення водного балансу екосистеми, зниження рівня ґрунтових вод, заболочування, погіршення стану водойм за рахунок гниття обгорілих частин дерева. Пожежі в природних екосистемах негативно впливають на атмосферу за рахунок забруднення повітря шкідливими продуктами горіння та здійснюють теплове забруднення атмосфери (Кузик та ін., 2019). У статті (Діденко та ін., 2019) розглядають ряд факторів, які призводять до виникнення лісових пожеж – клімат, рельєф, тип лісу та антропогенний вплив. Саме через виникнення лісових пожеж відбувається зменшення санітарно-гігієнічної, кліматичної, природоохоронної, ґрунтозахисної, водорегулюючої, та протиерозійної функцій лісу. Також автори зазначають, що найбільш небезпечні лісові пожежі на територіях, забруднених радіо-

нуклідами. У роботі (Davydova et al., 2019) досліджено вплив лісових пожеж на зміну вертикального перерозподілу концентрації питомої активності ^{137}Cs у лісових ґрунтах. Так, було встановлено, що лісові пожежі та горіння підстилки посилюють мінералізацію поживних речовин лісової підстилки та збільшують вміст радіонуклідів у верхніх шарах мінеральної частини ґрунту. У публікації (Пацева та ін., 2022) відмічено, що після відходу армії РФ з зони відчуження залишилася значна кількість мін і дрітків, які можуть детонувати та спричинити лісові пожежі. Крім величезної шкоди рослинному та тваринному світу, такі пожежі є великим ризиком для підвищення радіаційного фону. Використання сучасних космічних систем дистанційного зондування та GPS-навігації (Бондар та ін., 2022) при оцінці впливу на довкілля військових дій є досить актуальним та дає можливість виявляти пошкодженні пожежами території лісів та інших територій. У статті (Климчик, 2020) розглядаються особливості виникнення пожеж на торфовищах та оцінено їх вплив на довкілля. Крім того, авторами розглянуто можливість застосування сучасних БПЛА та засобів візуального спостереження для моніторингу торфовищ із метою виявлення можливих осередків їх загоряння. Також дослідниками (Паляничко та ін., 2021) розглядається вплив обсягів пожеж на економічні результати лісгосподарського землекористування, що дає можливість моделювання та удосконалення економічних інструментів забезпечення збалансованого використання природних ресурсів.

На сьогодні лісгосподарська галузь потребує розроблення нових основ екологічного лісочористування. Таке, лісочористування має враховувати цільове та різнопланове використання лісів, що сприятиме підвищенню їх стійкості та посиленню еколого-захисних функцій. Крім того, це дасть поштовх щодо дієвого впровадження міжнародних принципів сталого управління лісами. Саме тому, екологічна оцінка впливу пожеж у природних екосистемах на стан екологічної безпеки окремих регіонів є актуальною та важливою.

Метою дослідження є здійснення оцінки впливу пожеж у природних екосистемах на стан екологічної безпеки Житомирської області. У процесі виконання дослідження було використано загальнонаукові та спеціальні методи

досліджень: аналітичний, порівняльно-розрахунковий та статистичний.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Лісистість України становить 15,9 %. Однак, незважаючи на відносно низьку лісистість, Україна посідає дев'яте місце в Європі за площею лісів і сьоме – за запасами деревини. Умови для ведення лісового господарства в Україні вкрай нерівномірні (рис. 1), а ліси нерівномірно розподілені по території країни (Аналітичний огляд, 2020).

Збройна агресія російської федерації проти України мала і продовжує мати значний вплив на лісовий сектор України: з урахуванням лісів Автономної Республіки Крим, Луганської та Донецької областей, окупованих до 2022 року, близько 1 мільйона гектарів лісів наразі перебувають під окупацією або в зоні активних бойових дій постраждали від активних бойових дій. Детальний аналіз пошкодження лісів та втрат лісового господарства буде проведено після повної деокупації та розмінування території. Забруднення лісів вибухонебезпечними предметами наразі є найбільшою проблемою в лісовому господарстві. Наразі 690 тис. га потребують розмінування, і ця цифра щодня зростає не лише через деокупацію території, а й через подальше мінування території на кордонах України та білорусі. Ще однією великою проблемою є знищення та пошкодження об'єктів

лісового господарства. Навіть якщо деякі з окупованих підприємств не були зруйновані, російські війська вивезли все обладнання та техніку. Найбільш значними руйнуваннями для лісового сектору стали пошкодження Укрдержліспроекту, який відповідає за планування лісів, та насінневого сортувального центру в Лимані Донецької області, який був відкритий лише в грудні 2021 року і мав забезпечувати підприємства на сході посадковим матеріалом із закритими кореневими системами. Крім того, необхідно враховувати кількість обладнання, яке буде мобілізовано у 2022 році, та питання електропостачання (Національна доповідь, 2022).

На додаток до щорічного зростання ризику лісових пожеж через глобальне потепління, у 2022 році лісові пожежі, спричинені бойовими діями, артилерійськими обстрілами та замінованими територіями зі значною кількістю вибухонебезпечних предметів, унеможливили своєчасне виявлення та реагування.

У 2022 році було ліквідовано 1009 лісових пожеж на площі 15,5 тис. га, що в 1,5 рази більше за кількість пожеж та в 53 рази за площу попереднього року. Середня площа однієї пожежі була в 35 разів більшою – 15,4 га, а збитки склали 438,9 млн грн; у 27 % випадків ДСНС відповідали за гасіння пожеж (Національна доповідь, 2022).

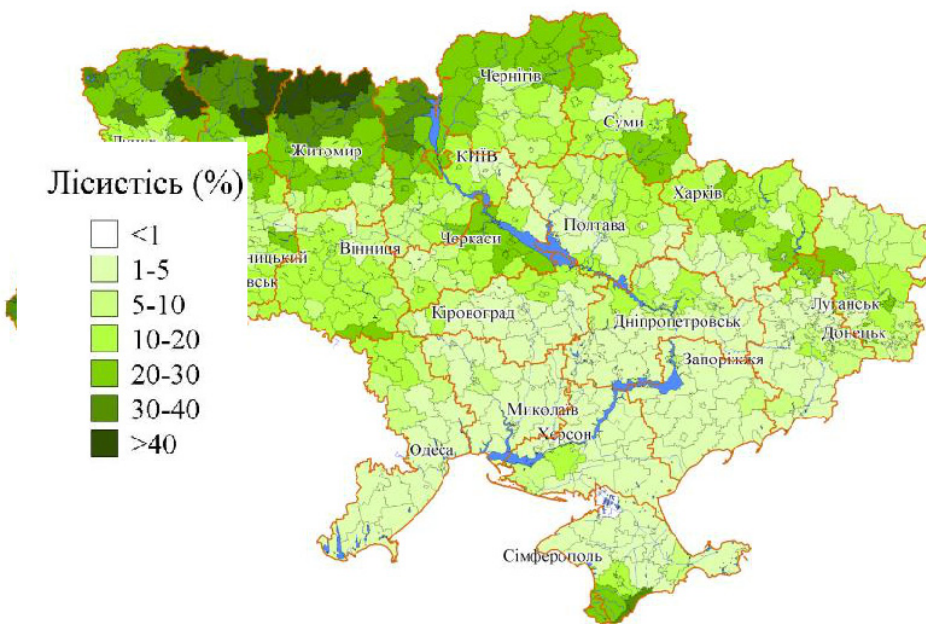


Рис. 1. Лісистість України

У 202 випадках площа пожеж перевищувала 5 га. Загальна площа великих пожеж з початку року склала 14,4 тис. га, з них 1,2 тис. га – лісові пожежі (Аналітичний огляд, 2022; Національна доповідь, 2022).

Слід зазначити, що облік пожеж не враховує значну частину лісів, де велися бойові дії (зокрема, в Запорізькій, Луганській, Миколаївській, Донецькій та Херсонській областях), а частина території в цих областях наразі перебуває під контролем окупаційних сил. Оцінити прямі та непрямі збитки, завдані лісовими пожежами, а також провести інструментальні обстеження територій, що постраждали від пожеж, неможливо.

До речі, у 2021 році було ліквідовано лише одну велику пожежу, тоді як у 2020 році було ліквідовано 95 пожеж. Загальна площа великих пожеж збільшилася у 2–3 рази порівняно з минулим роком і зменшилася у 5 разів порівняно з 2020 роком (Зібцев та ін., 2019).

Основними причинами пожеж (62 %) є загоряння в насадженнях через активні бойові дії, обстріли крилатими ракетами та снарядами, наявність вибухонебезпечних предметів.

Для запобігання лісовим пожежам лісогосподарські підприємства побудували близько 12 км протипожежних смуг і бар'єрів, 36,2 тис. км мінеральних смуг і підтримують 164 тис. км (Регіональна доповідь, 2021).

В лісах та місцях масового відпочинку населення вздовж доріг загального користування понад 13 тис. протипожежних банерів,

панно та плакатів. У засобах масової інформації було опубліковано 2,3 тис. статей, організовано 911 радіопередач та 185 телевізійних трансляцій, проведено 11,6 тис. заходів. Лекції та бесіди щодо дотримання вимог пожежної безпеки в лісах; 12,5 тис. позапланових перекриттів доріг. Проведено 16,5 тис. рейдів щодо дотримання вимог законодавства України у сфері пожежної безпеки в лісах, оштрафовано 161 порушника на загальну суму 265 тис. грн. (Регіональна доповідь, 2021).

Зважаючи на те, що на планеті щорічно виникає близько 7 млн пожеж, мінімізація проблеми пожеж та їх наслідків є глобальним викликом. В Україні в середньому щорічно виникає близько 3,5 тис. лісових пожеж, в результаті яких вигорає понад 5 тис. га лісу.

Найбільшому ризику піддаються північні та східні регіони України, на які припадає в середньому 37 % та 40 % лісових пожеж на рік відповідно; за перше півріччя 2020 року кількість лісових пожеж в Україні потроїлася, а площа збільшилася в 40 разів порівняно з попереднім роком.

За даними Управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Житомирській області, у 2015–2022 роках в області виникали пожежі в природних екосистемах (рис. 2). Ці пожежі виникали під час випалювання лісів, торфовищ, сільськогосподарських угідь та сухої трави.

Аналіз динаміки пожеж показує, що кількість пожеж постійно зростає. З точки зору

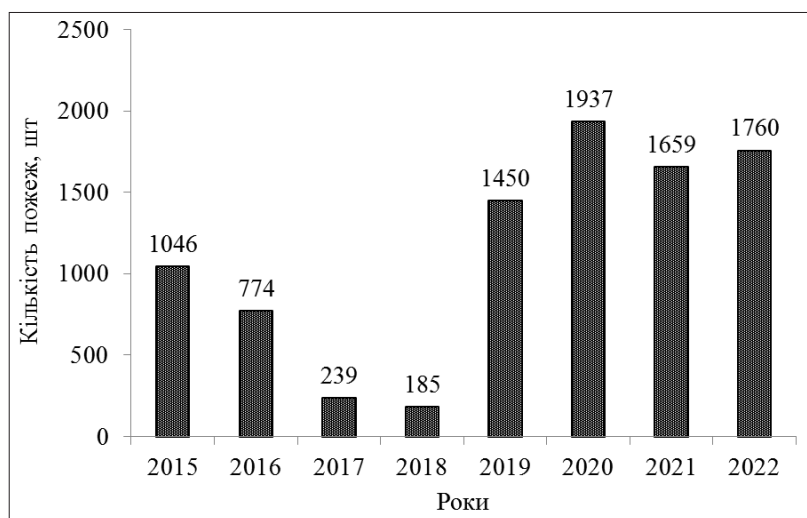


Рис. 2. Динаміка лісових пожеж в Житомирській області у 2015–2022 роках

розподілу за локалізацією пожеж, найбільша кількість пожеж виникає при спалюванні сухої трави. Друге місце за поширенням пожеж у природній екосистемі Житомирської області займають лісові пожежі, найбільша кількість яких зафіксована навесні 2020 року: у квітні 2020 року відома велика лісова пожежа в Народицькому, Базарському та Кришівському лісництвах державного підприємства «Народицьке лісове господарство» в Народицькому районі. Сильний вітер (15–20 м/год.) погіршив ситуацію, спричинивши поширення та збільшення площі пожеж. За даними Національного агентства лісового господарства, основною причиною лісових пожеж (85 %) є антропогенні фактори. Оскільки лісова підстилка та трав'яно-чагарникова рослинність надзвичайно сухі, а волога в лісі взагалі відсутня, один сірник або недопалок може спричинити велику пожежу з руйнівними наслідками для екосистеми (Національна доповідь, 2022).

Небезпечними для довкілля залишаються також торф'яні пожежі, найбільша кількість яких була зафіксована у 2015 році. Ці пожежі спричинені загорянням сухого торфу, часто охоплюють великі площі і важко піддаються гасінню. Торф'яні пожежі є негативним екологічним фактором, що впливає на атмосферу, літосферу та біорізноманіття. Торф'яні пожежі змінюють екологію болота, змінюючи склад і температуру ґрунту (Зібцев, 2019).

Аналіз статистичних даних управління ДСНС України щодо кількості та видів пожеж, які виникли на території області

у 2015–2022 роках, свідчить, що основними причинами виникнення пожеж у природних екосистемах є (Аналітичний огляд, 2022):

- недотримання правил пожежної безпеки в лісах;
- випалювання сухої рослинності;
- недотримання заходів пожежної безпеки під час проведення сільськогосподарських робіт.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Розвиток техногенної бази, збільшення антропогенного навантаження на територію, хронічне недофінансування превентивних заходів та зростання кількості надзвичайних ситуацій логічно зумовлюють необхідність удосконалення системи запобігання та ліквідації надзвичайних ситуацій. В умовах нинішньої економічної та соціальної кризи ця проблема ще більше загострюється і вимагає невідкладних рішень. У цьому контексті єдиним реалістичним способом адекватного реагування на погіршення загальної ситуації є підвищення рівня готовності до надзвичайних ситуацій та заходів реагування на них. Лісгосподарським підприємствам необхідно розробити комплекс заходів: для можливості отримання належного інформаційного забезпечення щодо виникнення та поширення лісових пожеж з використанням сучасних геоінформаційних систем моніторингу довкілля; покращити шляхом ефективної організації систему протипожежної охорони в лісах; здійснювати рід просвітницьких заходів щодо попередження виникнення лісових пожеж.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кузик А.Д., Лагно Д.В. Екологічні проблеми пожеж у природних екосистемах. Сучасний стан і перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садовопаркового господарства, урбоєкології та фітомеліорації : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 4-5 квітня 2019 р.). Львів, НЛТУ України, 2019. С. 254–256.
2. Діденко П. В., Устименко В. І., Бакай Б. Я. Лісові пожежі на Поліссі та їх вплив на довкілля. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. 2019. Вип. 45. С. 138–145. <https://doi.org/10.36930/42194518>
3. Davydova I., Korbut M., Kreitseva H., Panasyk A., Melnyk V. Vertical distribution of ¹³⁷Cs in forest soil after the ground fires. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(3). P. 231–240.
4. Пацева І.Г., Алпатова О.М., Демчук Л.І., Кірейцева Г.В., Левицький В.Г. Сучасний стан навколишнього природного середовища в умовах впливу війни. *Екологічні науки : науково-практичний журнал*. 2022. Вип. 4 (43). С.19-22. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.3>
5. Бондар О.І., Фінін Г.С., Шевченко Р.Ю. Екологічні виклики воєнного часу: оцінка впливу на довкілля космічними системами дистанційного зондування та GPS-навігації. *Екологічні науки*. 2022. № 4(43). С. 40–49. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.7>
6. Климчик О.М. Застосування засобів оперативного спостереження для запобігання пожежам на торфовищах. *Екологічні науки*. 2020. № 2 (29). С. 101–105. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.6>
7. Паляничко Н. І., Данькевич С. М. Лісгосподарське землекористування: економічний аспект впливу лісових пожеж. *Економіка та держава*. 2021. № 4. С. 28–36.

8. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2022 рік. URL : <https://www.dsns.gov.ua> (дата звернення: 20.10.2023 р.)
9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2022 році. URL: <http://www.dsns.gov.ua/.../Nacionalna-dopovid-pro-stan-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bez> (дата звернення: 20.10.2023 р.)
10. Зібцев С. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Корень В. А. Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні. *Ukrainian journal of forest and wood science*. 2019. Vol. 10. № 3. С. 27-40.
11. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища у Житомирській області. URL: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovidj%202021.pdf> (дата звернення: 22.10.2023 р.)

REFERENCES:

1. Kuzyk, A.D., Lahno, D.V. (2019). Ekolohichni problemy pozhezh u pryrodnykh ekosystemakh [Ecological problems of wildfires]. Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku landshaftnoi arkhitektury, sadovoparkovoho hospodarstva, urboekolohii ta fitomelioratsii : Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. Lviv, NLTU Ukrainy. (pp. 254–256) [in Ukrainian].
2. Didenko, P. V., Ustyanko, V. I., Bakai, B. Ya. (2019) Lisovi pozhezh na Polissi ta yikh vplyv na dokillia [Forest fires in the Polissia and their impact on the environment]. *Lisove hospodarstvo, lisova, papirna i derevoobrobna promyslovisť – Forestry, forest, paper and woodworking industry*. 45, 138–145 [in Ukrainian].
3. Davydova I., Korbut M., Kreitseva H., Panasyk A., Melnyk V. Vertical distribution of ¹³⁷Cs in forest soil after the ground fires. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(3). P. 231–240. [in English].
4. Patseva I.H., Alpatova O.M., Demchuk L.I., Kireitseva H.V., Levytskyi V.H. (2022) Suchasnyi stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v umovakh vplyvu viiny [The current state of the natural environment under the influence of war]. *Ekolohichni nauky : naukovo-praktychnyi zhurnal – Ecological sciences: a scientific and practical journal*. 4 (43), 19–22 [in Ukrainian].
5. Bondar O.I., Finin H.S., Shevchenko R.Iu. (2002) Ekolohichni vyklyky voiennoho chasu: otsinka vplyvu na dokillia kosmichnyimi systemami dystantsiinoho zonduvannya ta GPS-navihatsii [Environmental challenges of wartime: environmental impact assessment by Space Remote Sensing Systems and GPS navigation]. *Ekolohichni nauky – Ecological sciences*. 4(43), 40–49 [in Ukrainian].
6. Klymchyk O.M. (2020). Zastosuvannya zasobiv operatyvnoho sposterezhennia dlia zapobihannia pozhezh na torfovyshchakh [Application of operational observation means for peat fields fire prevention]. *Ekolohichni nauky – Ecological sciences*. (29), 101–105 [in Ukrainian].
7. Palianychko N. I., Dankevych S. M. (2021). Lisohospodarske zemlekorystuvannya: ekonomichni aspekt vplyvu lisovykh pozhezh [Forestry land use: the economic aspect of the impact of forest fires]. *Ekonomika ta derzhava – Economy and the state*. 4, 28–36 [in Ukrainian].
8. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2022 рік [Analytical review of the state of man-made and natural safety in Ukraine for 2022]. Available at: <https://www.dsns.gov.ua> (accessed October 20, 2023) [in Ukrainian].
9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2022 році [National report on the state of man-made and natural safety in Ukraine in 2022]. Available at: <http://www.dsns.gov.ua/.../Nacionalna-dopovid-pro-stan-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bez> (accessed October 20, 2023) [in Ukrainian].
10. Зібцев С. В., Сошенський О. М., Гуменюк В. В., Корень В. А. (2019) Багаторічна динаміка лісових пожеж в Україні [Long term dynamic of forest fires in Ukraine]. *Ukrainian journal of forest and wood science – Ukrainian journal of forest and wood science*. 10 (3), 27-40 [in Ukrainian].
11. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища у Житомирській області [Regional reports on the state of the natural environment in the Zhytomyr region]. Available at: <https://eprdep.zht.gov.ua/Regionalna%20dopovidj%202021.pdf> (accessed October 22, 2023) [in Ukrainian].

УДК 551.581.2-044.332(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-9>

Ірина ПАЦЕВА

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Scopus Author ID: 57219049758

Анастасія КАГУКІНА

аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, асистент кафедри наук про Землю, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0001-8932-1211

Бібліографічний опис статті: Пацева, І., Кагукіна, А. (2023). Адаптація до зміни клімату міста Житомир. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 66–72, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-9>

АДАПТАЦІЯ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ МІСТА ЖИТОМИР

В кліматичній системі міста Житомир відбуваються зміни, які несуть за собою наслідки для всіх галузей життєзабезпечення. За останні роки, відбулися події, які можуть стати причиною низки негативних ефектів, для людства та рослинного й тваринного світу. Зміни клімату, посилюють військові дії на території України. Наслідки війни, будуть відчутними не лише на українських територіях, але й в інших країнах світу. Внаслідок пожеж та вибухів збільшуються викиди парникових газів, які є основною причиною виникнення кліматичних змін. Що стосується населення урбанізованих територій, слід зазначити, що процеси, які відбуваються призводять до змін клімату, можуть бути плачевними та понесуть за собою ряд змін, які спричинять незворотні зміни в екосистемах. Всі зміни, які стосуються навколишнього природного середовища мають наслідки. Вони можуть бути, як позитивними, так і негативними. На жаль, якими б не були позитивні наслідки, негативні наслідки завжди будуть переважати. Зміни в умовах існування призводять до появи та розвитку адаптаційних процесів в живих організмах. Але, при наявності патологій в живих організмах екосистем, можливе пригнічення процесів адаптації та поява летальних наслідків. Таким чином, можна стверджувати, що адаптацію до нових умов існування не зможуть пережити більшість живих організмів. Негативізм наслідків буде яскраво вираженим, в умовах близького сьогодення. Хоча Україна і не належить до країн, які є найбільш вразливими до змін клімату в бік потепління, зміни клімату все ж відбуваються. На сьогоднішній день вони не є сильно вираженими, однак показники вказують на початок кліматичних змін. Оскільки, основною причиною змін клімату, є сама людина, зміни в кліматичній системі, які впливають на екосистеми є причиною діяльності людини. В таких умовах, слід пропагувати екологічне та свідоме мислення, для введення в дію звичок, які будуть корисними для навколишнього природного середовища. Дотримуючись правил екологічної свідомості, можна покращити стан проблеми зміни клімату.

Ключові слова: зміна клімату, екологічна безпека, кліматична система, адаптація, екологічна свідомість.

Ірина PATSEVA

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0001-6271-7355

Scopus Author ID: 57219049758

Anastasiia KAHUKINA

Postgraduate student at the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, Lecturer at the Department of Earth Sciences, Zhytomyr Polytechnic State University, 103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0001-8932-1211

To cite this article: Patseva, I., Kahukina, A. (2023). Adaptatsiia do zminy klimatu mista Zhytomyr [Adaptation to climate change in the city of Zhytomyr]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 66–72, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-9>

ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE CITY OF ZHYTOMYR

Changes are taking place in the climatic system of Zhytomyr, which hold implications for all aspects of life support. In recent times there have occurred events that can cause a number of negative effects for humanity as well as for the flora and fauna. Climate changes are intensified by the military actions on the territory of Ukraine. The war aftermaths will extend beyond Ukrainian borders to other nations across the globe. Incidents such as fires and explosions escalate greenhouse gas emissions, which serve as the primary catalyst of climate change. Concerning urban populations, it is noteworthy that climate change processes can be deplorable and will entail a series of changes resulting in irreversible ecosystems alterations. All changes affecting the natural environment have their consequences which can be either favorable or unfavorable. Unfortunately, whatever the positive consequences, the negative effects tend to prevail. Changes in living conditions trigger the emergence and development of adaptation processes in living organisms. However, in the presence of pathologies within an organism's ecosystem, it is possible for adaptive processes to be suppressed and lethal consequences to arise. Thus, it can be argued that most living organisms will not be able to survive adapting to new living conditions due to such negativism of impacts being pronounced in the near future. While Ukraine may not presently rank among the countries most vulnerable to climate change with regard to warming trends, climatic changes are still occurring albeit at a relatively slow rate according to current indicators. As human activity is the primary cause of climate change, alterations to the climate system that affect ecosystems are a direct result of human activity. Therefore, it is imperative that we promote ecological and conscious thinking in order to adopt habits that will be beneficial for the natural environment. By adhering to environmental awareness, we can effectively mitigate the issue of climate change.

Key words: climate change, environmental safety, climate system, adaptation, environmental awareness.

Актуальність проблеми. Зміна клімату спричинить економічні проблеми, загрози для екосистем та підвищить ризики для життя і здоров'я людей. Підвищення температури навколишнього середовища створить проблеми з питною водою, продовольчою та енергетичною безпекою. Те, що зміна клімату – це не лише природне явище, підтверджує той факт, що темпи потепління прискорюються в десятки разів. Основною причиною цих змін є антропогенний вплив на навколишнє середовище. Швидке збільшення концентрації парникових газів, тобто вуглекислого газу, метану, оксидів азоту, озону та водяної пари, призвело до посилення парникового ефекту. Хоча парниковий ефект є цілком природним явищем, збільшення концентрації парникових газів призводить до незворотних змін, які з часом лише посилюються.

В українських містах наслідки урбанізації та зміни кліматичної системи становлять пряму загрозу економічній, соціальній та екологічній стабільності. Оскільки, процес урбанізації в містах створює вразливість до зміни клімату (Шевченко, Сніжко, 2019, с.11), процес адаптації до зміни клімату в сільській місцевості відбувається легше, ніж у містах. Все це, призводить до виникнення низки проблем, з якими стикається людство.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зростання середньої температури повітря, призводить до перебудови процесів перерозподілу тепла та вологи (Бондарчук, 2011; Герасимчук,

Прокопова & Лозко 2017; Вовк, Щербань 2014). Аналізуючи дані науковців (Валерко, 2015; Осадчий, Косовець & Бабіченко 2010; Герасимчук, Валерко & Мартенюк, 2018), можна дійти до висновку, що умови існування з часом будуть змінюватися, а швидкість змін, щороку пришвидшуватися. Урбанізація в містах України має вплив на зміну температурних показників (Гребенюк, 2004, с. 153). Таким чином, збільшується ризик виникнення стихійних явищ, як в Україні так і по всьому світу.

Мета дослідження оцінити зміни клімату, які відбуваються в місті Житомир. Оскільки, проблема глобального потепління розповсюджена по всьому світу, постало питання розглянути, які зміни відбуваються в місті Житомир. Антропогенна діяльність людини, початок повномасштабного вторгнення на територію України може, посилювати зміни в кліматі. Таким чином, основним завданням, є дослідити зміни в кліматі, для складання плану подальших дій мінімізації змін та наслідків.

Виклад основного матеріалу дослідження. Клімат Житомирської області помірно-континентальний з м'якою зимою і вологим літом.

Дані в Таблиці 1 показують, що за останні три роки мінімальні температури в січні лютому та максимальні температури в червні змінилися в розподілі, відмінному від розподілу інших літніх місяців. Ці зміни, наразі, не є різкими, але вказують на певний зсув у перерозподілі температурних показників.

Таблиця 1
Мінімальна та максимальна температура повітря за місяцями у м. Житомир у період 2014–2022 рр.

Рік	Мінімальна		Максимальна	
	Місяць	Температура, °С	Місяць	Температура, °С
2022	II	-11,9°	VI	+33,5°
2021	II	-21,6°	VI	+33,8°
2020	II	-8,1°	VI	+32,5°
2019	I	-12,5°	VIII	+33,6°
2018	II	-19,4°	VIII	+30,8°
2017	II	-21,8°	VIII	+33,6°
2016	I	-20,2°	VII	+33,2°
2015	I	-18,5°	IX	+35,2°
2014	I	-22,6°	VIII	+33,8°

На рис. 1 показано, що існує тенденція до зростання середніх температур у січні, лютому, березні та жовтні. Це найбільш помітно в перший місяць року; також спостерігається тенденція до зростання середньорічних температур у липні та серпні, в межах від 1 до 1,5°С. У червні, листопаді та травні не спостерігається значних і систематичних температурних змін, але температурні показники не відповідають кліматичній нормі, яка сформована в період 1961–1990 рр. (Кліматичний кадастр України, 2006).

Згідно рис. 2 продовж досліджуваних років спостерігається зменшення висоти снігового покриву. Максимальна висота снігу в лютому 2023 року зменшилась втричі, порівняно з 2017 роком, однак в 2021 році висота сні-

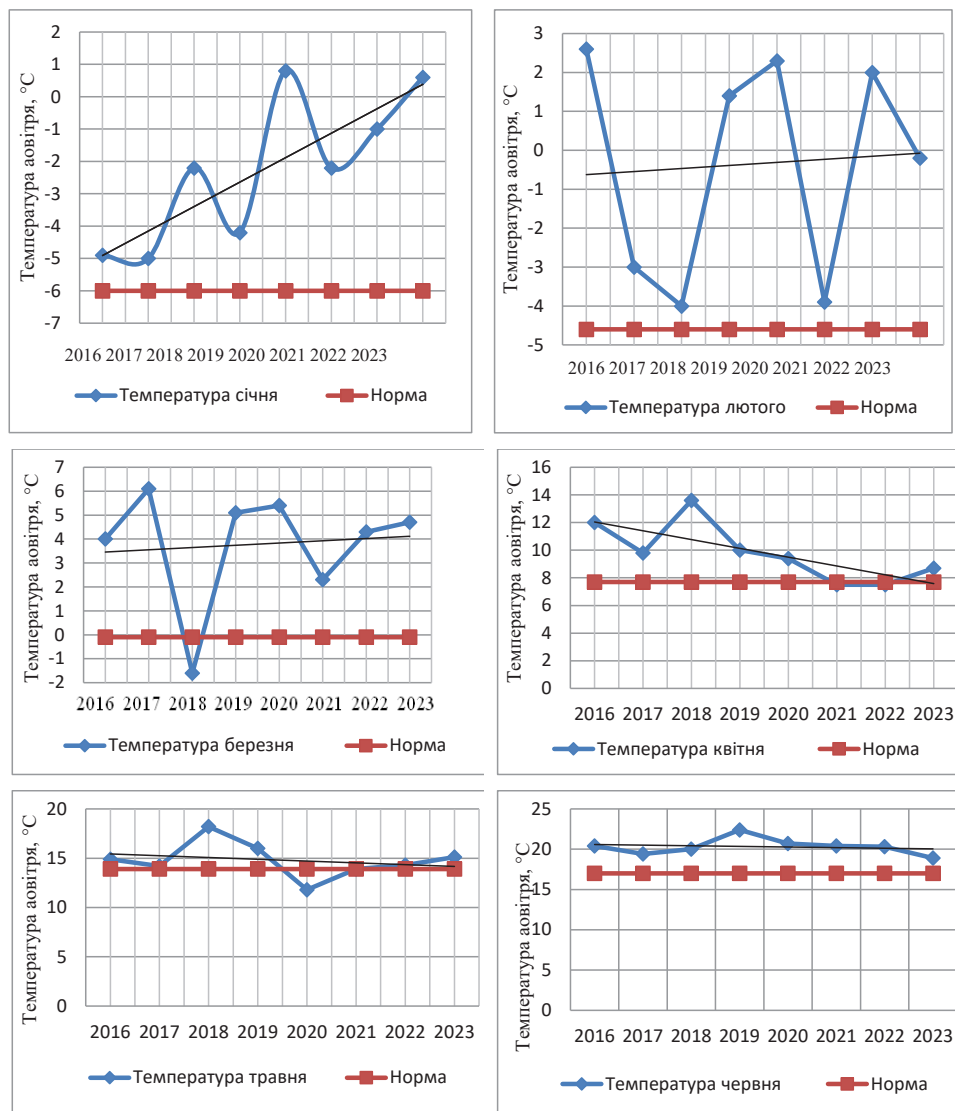


Рис. 1. Відхилення середньої температури повітря на території м. Житомир в розрізі місяців відносно норми впродовж 2016–2023 рр.

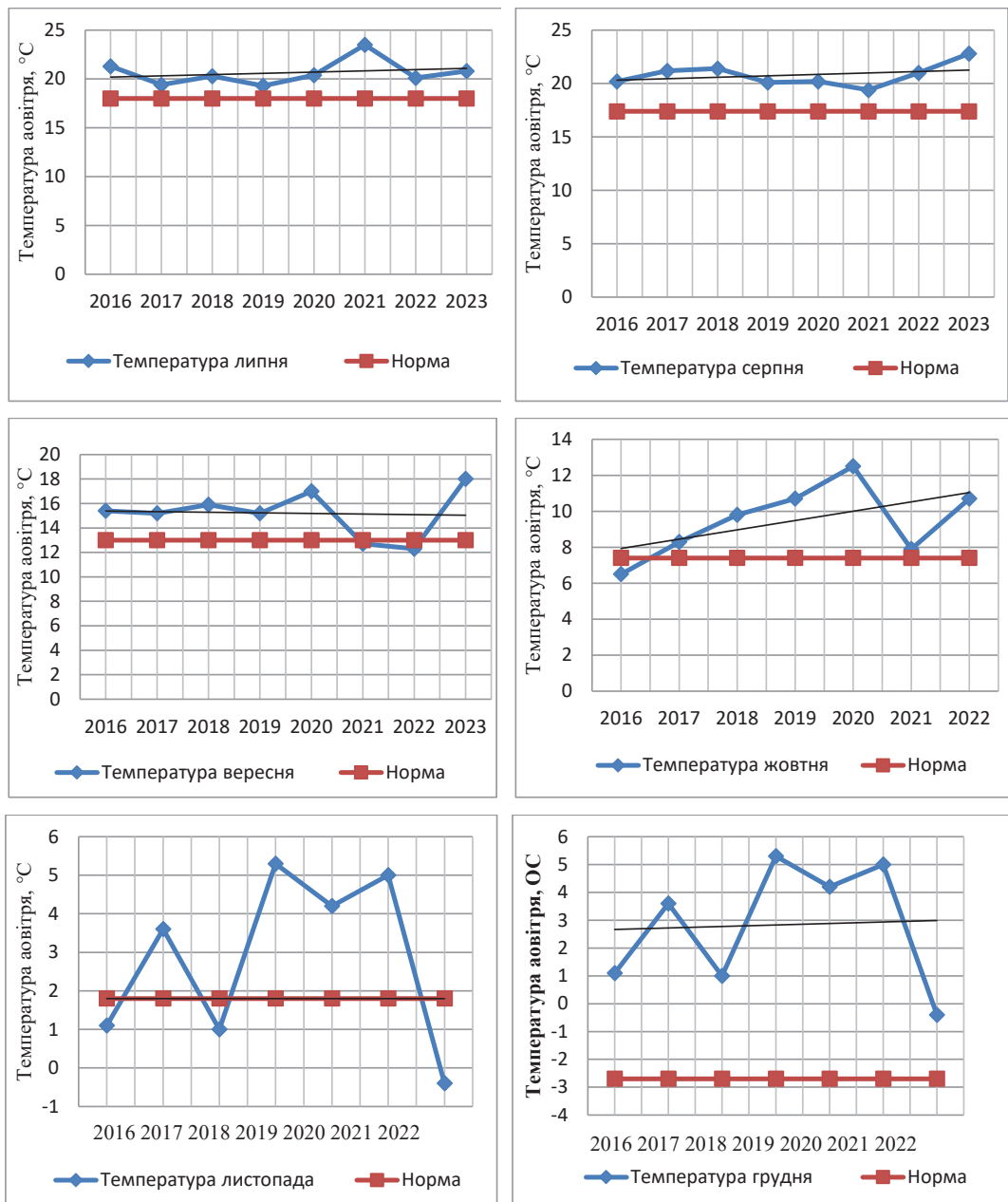


Рис. 1. Відхилення середньої температури повітря на території м. Житомир в розрізі місяців відносно норми впродовж 2016–2023 рр.

гового покриву відповідала 2017 року з різницею в один сантиметр. В листопаді місяці 2020–2022 рр. сніг не спостерігався, однак починаючи з 2022–2023 рр. в квітні місяці спостерігається поява снігу.

Відповідно рис. 3. опади випадали нерівномірно у часі за представленими роками. Добре зволуженими є весняний, літній та осінній періоди. Однак, в показниках місцями є відхилення від норми.

В останні роки місто Житомир зазнає змін, які можуть мати різні негативні наслідки для людства. Оскільки основною причиною зміни

клімату є сама людина, то зміни в кліматичній системі, які впливають на людство, є наслідком людської діяльності. У цьому контексті необхідно пропагувати екологічне та свідоме мислення, щоб розвивати звички, які є корисними для довкілля. Першим важливим кроком є скорочення викидів парникових газів. Будь-яка людська поведінка, що збільшує парниковий ефект, є шкідливою не лише для довкілля, але й для людей.

Збільшення та збереження зелених насаджень відіграє важливу роль в уповільненні процесу потепління і є новим кроком на шляху до адаптації

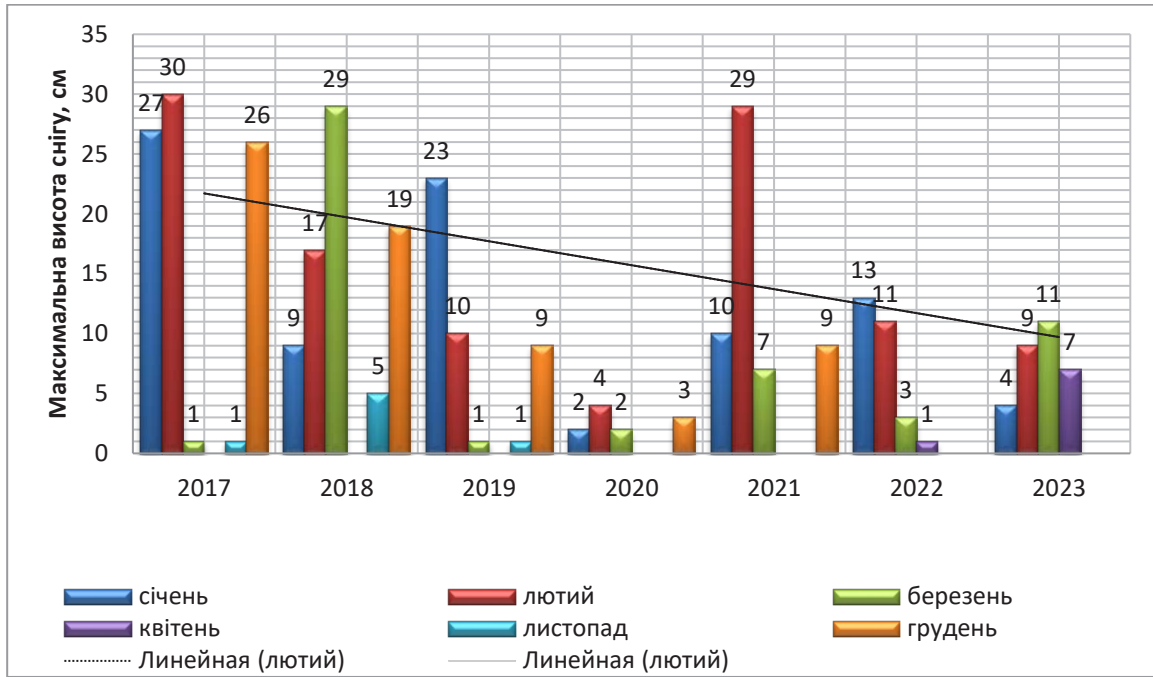


Рис. 2. Максимальна висота снігового покриву в розрізі місяців за 2017–2023 роки в м. Житомир

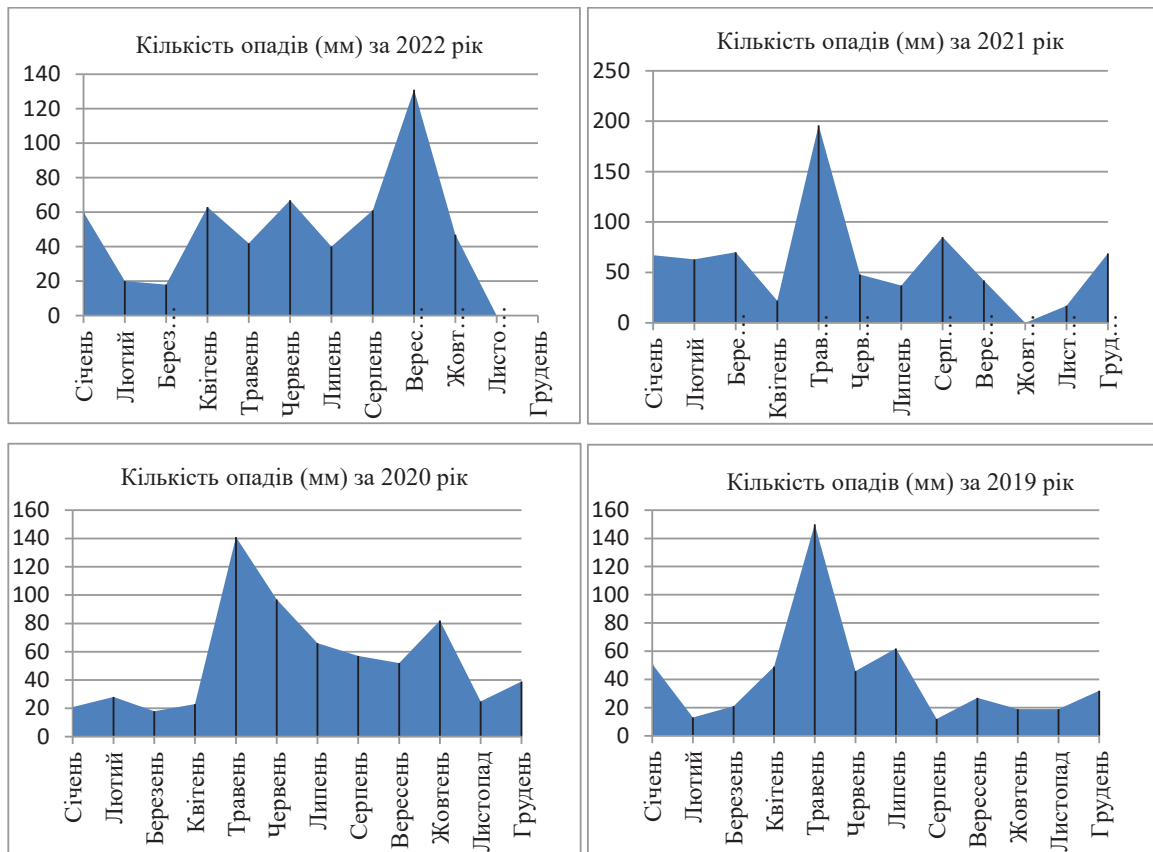


Рис. 3. Кількість опадів в м. Житомир за 2015–2022 рр.

зміни клімату. У Житомирській області здійснюється державний нагляд у сфері охорони, захисту, використання та відтворення лісів (Герасимчук,

2023, с. 38–47). Таким чином, екологічна безпека забезпечується дотриманням заходів державного нагляду. У зв'язку зі зміною клімату всі дії, які спря-

мовані на збереження лісових насаджень, є одними з основних заходів, спрямованих на мінімізацію негативних наслідків зміни клімату.

Запобігання та переробка утворених відходів людиною, є потужною стратегією, щодо зменшення парникових газів. Є необхідність в оптимізації управління відходами (Коцюба, 2016, с. 306; Коцюба, Лико & Анпілова, 2018).

Внаслідок військової діяльності в навколишнє середовище поширюються забруднюючі речовини, що також має вплив на клімат. Зростає кількість лісових пожеж й, відповідно, викиди парникових газів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Житомирська область переживає зміни

в кліматичній системі відповідно до глобальних тенденцій зміни клімату. Військові дії на території України активізують зміни клімату. Її наслідки відчуваються не лише на території України, а й в усьому світі. Пожежі та вибухи збільшують викиди парникових газів, які є основною причиною глобального потепління.

На жаль, радикальних заходів, які б зупинили зміну клімату, не існує. Однак, ситуацію можна покращити, мінімізувавши антропогенний вплив на навколишнє середовище, що є основною причиною зміни клімату. Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні впливу клімату на екосистеми з метою мінімізації негативних наслідків зміни клімату.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шевченко О., Сніжко С. Зміна клімату та українські міста: прояви та проєкції до кінця XXI століття на основі RCP-сценаріїв. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Географія*. 2019. Т. 2(75). С. 11–18.
2. Бондарчук А. С. Кореляційно-регресійний аналіз впливу кліматичних змін регіону на навантаження одеських електричних мереж і доквілля. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2011. №2. С. 73–75.
3. Герасимчук Л. О., Прокопова Т. М., Лозко К. М. Тенденції зміни кількості атмосферних опадів за останню 30 років на прикладі м. Житомир. *В Науці. Молод. Екологія: матеріали III Всеукр. наук.-практ. конф., студентів, аспірантів та молодих вчених. м. Житомир ЖДУ ім. І. Франка 2017 р.* С. 120–122.
4. Вовк І. І., Щербань І. М. (2014). Особливості режиму екстремальних температур повітря на сході України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2014. №4. С. 125–133.
5. Валерко Р. А. Екологічна оцінка зміни клімату на території м. Екологічна оцінка змін клімату на території міста Коростень Житомирської області. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2015. №2 (50). С. 46–54.
6. Осадчий В. І., Косовець О. О., Бабіченко В. М. Клімат Києва. Київ: Ніка-Центр. 2010. С. 319.
7. Герасимчук Л., Валерко Р., Мартенюк Г. Тенденції зміни клімату на території Новоград-Волинського Житомирської області. *Наукові обрії*. 2018. № 2(65), 42–50.
8. Гребенюк Н.П. Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004. Вип. 253. С. 148–154.
9. Кліматичний кадастр України [Електронний ресурс]. – К.: Державна Гідрометеорологічна служба, УкрНДГМІ, ЦГО, 2006.
10. Герасимчук Л., Медведовський С., Валерко Р. Державний нагляд (контроль) у сфері охорони, захисту, використання та відтворення лісів на території Житомирської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. (4), С. 38–47. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-4>
11. Коцюба І. Г., Дослідження сезонної зміни морфологічного складу твердих побутових відходів міста Житомира. *Вісник НУВГП Серія «Технічні науки»*. 2016. Вип. 3(75). С. 300–307.
12. Коцюба І., Лико С., Лук'янова В., Анпілова Ю. Розрахункова динаміка утворення побутових відходів у м. Житомирі. *Екологічна безпека та природні ресурси*. 2018. 25 (1), 33–43. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2018.1.33-43>

REFERENCES:

1. Shevchenko O., Snizhko S. (2019). Zmina klimatu ta ukrainiski mista: proiavy ta proektsii do kintsia KhKhI stolittia na osnovi RCP-stsenariiv. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka: Neohrafiia*. T. 2(75), p.p. 11–18 [in Ukrainian].
2. Bondarchuk, A. S. (2011). Koreliatsiino rehresiinyi analiz vplyvu rehionalnoi zminy klimatu na navantazhennia odeskykh elektrychnykh merezh i dokillia [Cross-correlation-regressive analysis of the impact of regional climate change on the load of Odessa electrical networks and the environment]. *Elektrotekhnichni ta kompiuterni system*, 2, 73–75 [in Ukrainian].

3. Herasymchuk, L. O., Prokopova, T. M., & Lozko, K. M. (2017). Tendentsii zminy kilkosti atmosfernykh opadiv za ostanni 30 rokiv na prykladi m. Zhytomyr [Trends in changes in the amount of atmospheric precipitation over the past 30 years on the example of Zhytomyr]. In Nauka. Molod. Ekolohiia: materialy III Vseukr. nauk.-prakt. konf. studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh (pp. 120–122). Zhytomyr: ZhDU im. I. Franka [in Ukrainian].
4. Vovk, I. I., & Shcherban, I. M. (2014). Osoblyvosti rezhymu ekstremalnykh temperatur povitria na skhodi Ukrainy [Mode features extreme air temperatures in the East of Ukraine]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia*, 4, 125–133 [in Ukrainian].
5. Valerko, R. A. (2015). Ekolohichna otsinka zmin klimatu na terytorii m. Korosten Zhytomyrskoi oblasti [The ecological assessment of climate changes on the territory of the city of Korosten of Zhytomyr region]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu*, 2 (50), 46–54 [in Ukrainian].
6. Osadchyi, V. I., Kosovets, O. O., & Babichenko, V. M. (2010). Klimat Kyieva [The climate of Kiev]. Kyiv: Nika-Center [in Ukrainian].
7. Herasymchuk, L., Valerko, R., & Marteniuk, G. (2018). Tendentsiyi zminy klimatu na terytorii Novohradvolyns'koho Zhytomyrskoyi oblasti [Climate change tendencies on the territory of the city of Novohradvolynskiy in Zhytomyr region]. *Naykovi obrii – Scientific Horizons*, 2(65), 42-50 [in Ukrainian].
8. Hrebenuk N.P. Pro zminy temperatury povitria v mistakh Ukrainy u protsesi urbanizatsii / N.P. Hrebenuk, M.B. Barabash // *Nauk. pratsi UkrNDHMI*. – 2004. – Vyp. 253. – S. 148–154 [in Ukrainian].
9. Klimatuhnyy kadastr Ukrayiny [Climatic cadastre of Ukraine]. (2006) Kyiv Derzhavna hidrometeorolohichna slyzhba UkrNDGMI, TSGO. [in Ukrainian].
10. Gerasimchuk L., Medvedovsky E., Valerko R. (2023). Derzhavnyy nahlyad (kontrol') u sferi okhorony, zakhystu, vykorystannya ta vidtvorennya lisiv na terytoriyi Zhytomyrskoyi oblasti [State supervision (control) in the sphere of protection, protection, use and reproduction of forests in the territory of Zhytomyr region]. *Problemy khimiyi ta staloho rozvytku*. – *Problems of chemistry and sustainable development*. (4), pp. 38–47 [in Ukrainian].
11. Kotsyuba I. G. (2016) Doslidzhennya sezonnoi zminu morfolohichnoho skladu tverduh pobytovuh vidhodiv mista Zhutomyra [Study of seasonal changes in the morphological composition of solid household waste in the city of Zhytomyr]. *Visnyk NYVHP seria «Tehnichni nauky» – Bulletin of the NUVHP Series "Technical Sciences"*. Issue 3(75), 300–307 [in Ukrainian].
12. Kotsiuba, I., Lyko, S., Lukianova, V., Anpilova, Y. (2018). Computational dynamics of municipal wastes generation in Zhytomyr city. *Environmental safety and natural resources*, 25 (1), 33–43. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2018.1.33-43>.

УДК 500.3:504.064.4:658.567

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-10>

Ірина ПАЦЕВА

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0002-6572-681X

Людмила НОНІК

аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005

ORCID: 0000-0003-4234-8948

Бібліографічний опис статті: Пацева, І., Нонік, Л. (2023). Рециклінгу відходів руйнації – крок до зменшення ризиків воєнного екоциду. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 73–81, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-10>

РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ – КРОК ДО ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКІВ ВОЄННОГО ЕКОЦИДУ

Мета дослідження. Україна підписала у 2014 році Угоду про асоціацію з Європейським Союзом. Цим кроком підтвердила свій європейський вибір, у тому числі і у сфері управління відходами. В мирний час в нашій країні найбільша увага приділялася вирішенню проблеми поводження із твердими побутовими відходами. Застосовувалися технології щодо зменшення виробництва відходів, сортування та використання відходів як ресурсів для вироблення енергії. В наш час, через велику кількість руйнувань внаслідок військових дій на території України, дуже гостро постало питання що робити з відходами руйнацій. Суспільство повинне шукати шляхи вирішення проблеми переробки відходів від руйнувань на інші продукти, які можна використовувати в різних сферах життєдіяльності. Важливим завданням є визначення першочергових кроків до реалізації Закону України «Про управління відходами», вирішення проблем перероблення та утилізації відходів руйнацій, які виникають внаслідок військових дій без негативного впливу на довкілля, сприяння залученню інвестицій у створення екологічно дружньої інфраструктури перероблення відходів та вивчення міжнародного досвіду щодо поводження з відходами руйнацій. Зважаючи на сучасні реалії, значним кроком вперед буде застосування технологій рециклінгу, це значно заощадить фінансові витрати на відбудову нашої держави і цим самим дозволить позбутися значної частки відходів руйнацій.

Методологія. Проблема вторинного використання відходів руйнацій є надзвичайно актуальною сьогодні, тому багато науковців-екологів, журналістів та небайдужих громадян приділяють цьому питанню багато уваги. Авторами визначається необхідність застосування технологій рециклінгу задля формування ефективної системи управління відходами руйнацій. Розглядаються основні принципи застосування сучасних підходів стосовно поводження з відходами руйнацій житлової та транспортної інфраструктури. Огляд та аналіз публікацій, щодо управління відходами руйнацій, про негативний вплив таких відходів на довкілля підтверджує актуальність та нагальність питання.

Наукова новизна полягає у обґрунтуванні та розробці організаційно-технічних рішень щодо використання технологій рециклінгу відходів руйнацій, задля зменшення ризиків екологічних збитків в Україні.

Висновки. Зменшення ризиків воєнного екологічного збитку (екоциду) через використання рециклінгу відходів руйнації може бути важливим кроком для збереження навколишнього середовища та попередження погіршення екологічної ситуації під час війни.

Ключові слова: відходи руйнацій, рециклінг, воєнні дії.

Iryna PATSEVA

Doctor of Technical Sciences, professor, head of the department of ecology and environmental technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-6572-681X

Liudmyla NONIK

ph.D.-student (Ecology) assistant professor of the department of ecology and environmental technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0003-4234-8948

To cite this article: Patseva, I., Nonik, L. (2023). Retsyklinhu vidkhodiv ruinatsii – krok do zmenshennia ryzykiv voiennoho ekotsydu [Recycling of destruction waste is a step towards reducing the risks of military ecocide]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 73–81, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-10>

RECYCLING OF DESTRUCTION WASTE IS A STEP TOWARDS REDUCING THE RISKS OF MILITARY ECOCIDE

Objective of the study. In 2014, Ukraine signed the Association Agreement with the European Union. With this step, the country confirmed its European choice, including in the field of waste management. In peacetime, our country paid most attention to solving the problem of solid waste management. Technologies were used to reduce waste production, sort and use waste as a resource for energy generation. Nowadays, due to the large amount of destruction caused by military operations on the territory of Ukraine, the question of what to do with the waste of destruction has become very acute. Society must look for ways to solve the problem of recycling the waste from destruction into other products that can be used in various spheres of life. An important task is to identify the priority steps to implement the Law of Ukraine "On Waste Management", to solve the problems of processing and utilization of demolition waste arising from military operations without adverse environmental impact, to promote investment in the creation of environmentally friendly waste processing infrastructure and to study international experience in demolition waste management. Given the current realities, a significant step forward will be the use of recycling technologies, which will significantly save financial costs for the reconstruction of our country and thus allow us to get rid of a significant share of the waste of destruction.

Methodology. The problem of recycling demolition waste is extremely relevant today, so many environmental scientists, journalists and concerned citizens pay a lot of attention to this issue. The authors determine the need to apply recycling technologies to form an effective system of demolition waste management. The basic principles of applying modern approaches to the management of demolition waste from residential and transport infrastructure are considered. A review and analysis of publications on the management of demolition waste and the negative impact of such waste on the environment confirms the relevance and urgency of the issue.

The scientific novelty lies in the substantiation and development of organizational and technical solutions for the use of recycling technology for demolition waste to reduce the risks of environmental damage in Ukraine.

Conclusions. Reducing the risks of military environmental damage (ecocide) through the use of recycling of demolition waste can be an important step to preserve the environment and prevent the deterioration of the environmental situation during war.

Key words: destruction waste, recycling, military operations.

Актуальність проблеми. В довоєнні роки в нашій країні найбільша увага приділялася вирішенню проблеми поводження із твердими побутовими відходами. В більшості мова йшла про перехід від захоронення відходів до запобігання утворення, зменшення їх утворення та запровадження сортування, переробки, використання твердих побутових відходів як матеріальних і енергетичних ресурсів. Проте, майже не приділялась увага відходам руйнацій, але сьогодні, через велику кількість руйнувань внаслідок військових дій на території України, ця проблема постала дуже гостро.

Тому перед нами стоїть важливе завдання – вже зараз спільнота має аналізувати світовий досвід із вирішення проблеми сталого поводження та повторного використання відходів руйнацій. Україна, підписавши у 2014 році Угоду про асоціацію з Європейським Союзом, зробила європейський вибір, у тому числі і у сфері управління відходами. Тому, свідоме суспільство повинне шукати шляхи вирішення проблеми переробки відходів від руйнувань на інші продукти, які можна використовувати в різних сферах життєдіяльності (Ореханова, Амбросова, 2023).

Зважаючи на сучасні реалії, значним кроком вперед буде застосування технологій рециклінгу, це значно заощадить фінансові витрати на відбудову нашої держави і цим самим дозволить позбутися значної частки відходів руйнацій. За час війни агресори пошкодили та зруйнували майже 60 тис об'єктів, підраховали в Міністерстві захисту довкілля та природних ресурсів. Найбільше постраждала житлова забудова – 48 тис будівель.

Обласні військові державні адміністрації рахують обсяги відходів, які накопичуються внаслідок руйнування майна. На початку літа 2023 року кількість будівельного сміття сягнула 450 тис тонн, повідомили в Міндовккілі (Колесніченко, 2023).

Найбільше сміття внаслідок російського терору накопичилося на Київщині, Житомирщині, Сумщині, Миколаївщині, Херсонщині, Чернігівщині та Харківщині. На Донеччині та Луганщині цей підрахунок ускладнений (Колесніченко, 2023).

Війна в Україні є прямою й непрямою причиною багатьох катастроф, а також залишає небезпечні відходи, які потребують очищення і рекультивациі значних територій, що постраждали від війни. В свою чергу, управління відходами є важливою частиною сталого розвитку та охорони навколишнього середовища. Чим більше розуміємо процеси руйнування та переробки відходів, тим краще можемо зробити наш внесок у збереження планети.

Аналіз останніх джерел та публікацій. Проблема вторинного використання відходів руйнацій є надзвичайно актуальною сьогодні, тому багато науковців-екологів, журналістів та небайдужих громадян приділяють цьому питанню багато уваги.

Так Ю. Орехановою та А. Амбросовою було здійснено аналіз проблеми утилізації та переробки відходів від руйнувань, де авторки приділяють увагу огляду світових практик переробки будівельних відходів; застосуванню відходів від руйнувань як вторинної сировини; аналізуються пілотні проекти, що впроваджуються в Україні; характеризуються Українські компанії, що займаються переробкою будівельних відходів; здійснюється огляд законодавчих змін в системі управління відходами в період війни (Ореханова, Амбросова, 2023).

Журналісти провідних інтернет-видань України в своїх дослідженнях висвітлюють проблему

накопичення відходів руйнацій, та шукають рішення до подолання кризи (Губарева, 2022; Музика, 2023; Козлова, 2023; Вавілов, 2023). Науковці визначають екологічні пріоритети природоохоронної діяльності під час поводження з відходами руйнацій та спираючись на успішний світовий досвід, розробляють кроки щодо впровадження технологій рециклінгу (Сатін, 2022; Kotsiuba, 2023; Нонік, 2023).

Мета дослідження. Зменшення ризиків воєнного екологічного збитку (екоциду) через використання рециклінгу відходів руйнації може бути важливим кроком для збереження навколишнього середовища та попередження погіршення екологічної ситуації під час війни. Для цього необхідно дотримуватися чітких кроків, а саме:

- збір та сортування відходів: під час війни важливо створити ефективну систему збору та сортування відходів, це дозволить виділити матеріали, які можна використовувати для відновлення інфраструктури та ресурсів;

- підвищення обізнаності населення: інформаційні кампанії та навчання можуть допомогти громадянам та військовим розуміти важливість рециклінгу відходів під час воєнного конфлікту і сприяти збору та сортуванню відходів;

- створення інфраструктури для рециклінгу: потрібно створити спеціалізовані центри обробки відходів та заводи, які можуть переробляти матеріали з руйнування та відходів, які утворилися внаслідок військових дій;

- зменшення токсичності викидів: важливо впровадити технології та процеси, які дозволять мінімізувати токсичні викиди в атмосферу, ґрунт і водоймища під час рециклінгу відходів руйнацій;

- міжнародне співробітництво: Міжнародні угоди та співробітництво між країнами можуть сприяти спільним зусиллям щодо зменшення екологічних ризиків під час воєнного конфлікту.

Виклад основного матеріалу. Відходи руйнації – це матеріали, що залишаються після руйнування будівель або інфраструктури. Це можуть бути шматки цеглини, металеві конструкції, скло, пластик та інші матеріали, які видаляються під час демонтажу або реконструкції.

Відходи руйнації складаються з основних та супутніх компонентів. До основних належать частини (уламків, бою) будівельних конструкцій,

заповнень дверних та віконних блоків, інженерних мереж, санітарно-технічних приладів тощо. Серед супутніх компонентів – матеріали, предмети, які були всередині або поряд з об'єктом у момент пошкодження (руйнування) або виконання робіт з його демонтажу, зокрема устаткування, особистих речей, предметів вжитку (меблів, побутової техніки), органічних речовин (Вавілов, 2023).

Один з головних аспектів управління відходами руйнації полягає в переробці цих матеріалів для подальшого використання. Так, наприклад, ще у вересні 2022 року в інтерв'ю міністром захисту довкілля та природних ресурсів Русланом Стрільцем було зазначено, що після звільнення території Київської області Збройними Силами України, перед суспільством постав великий виклик щодо відходів руйнації, було зафіксовано факти вивезення тонн будівельних відходів у лісосмуги та ліс, що є неприпустимим.

Для урегулювання ситуації, що склалася, було повністю проінспектовано Київ і Київську область. Зроблено робочу Google-карту, щоб розуміти, де що знаходиться, кожна локація, фото; проведено відповідні наради з мерами, з головами об'єднаних громад. Обласною адміністрацією вже на той час було створено 50 локацій, куди централізовано почали звозити відходи руйнації. Далі їх сортують, щоб у подальшому переробити. Сміття мають подрібнювати, щоб його можна було повторно використати під час відновлення доріг, будівництва тимчасових переходів, переїздів тощо (Кречеткова, 2022).

Як зазначив Руслан Стрілець, спочатку думали, що для того, аби впоратися з відходами руйнації, потрібна велика кількість бюджетних і грантових коштів. Але з часом стало зрозуміло, що утворені відходи вже беруть і повторно використовують будівельники або ті, кому потрібно.

Також міністр захисту довкілля та природних ресурсів зазначив, що це не вирішує проблему повністю, бо залишаються небезпечні відходи, але їх значно менше, і на них вже точно можна знайти ресурс для того, щоб утилізувати екологічно безпечним методом (Кречеткова, 2022).

Таким чином, замість того, щоб просто викидати відходи руйнації на смітник або забирати на полігон, можна шукати способи викорис-

тання цих матеріалів у будівельних проектах або виробництві нових матеріалів.

Так, наприклад, для реалізації Fast Recovery Plan (План відновлення України, 2022), який було розроблено для швидкої відбудови критично необхідної інфраструктури за дорученням Президента України Володимира Зеленського і до якого включено понад 38 тис. конкретних об'єктів з адресами, за браком коштів наразі здійснюється відновлення коштом державного бюджету лише понад 11 тисяч об'єктів. Тобто ремонтують усього 13% від необхідного. Саме тому, як зазначила Анастасія Скок, екологічна директорка ГО "SaveDnipro", доцільним є повторне використання будівельного сміття у будівництві, при закладанні деяких частин фундаменту, доріг або конструкцій (Міськевич, 2023).

Використання відходів руйнації зможе зменшити використання природних ресурсів для відновлення фактично зруйнованих міст, таких як Ірпінь, Чернігів, Маріуполь, Бахмут, міст на Харківщині та Донеччині (Губарева, 2023).

Також багато деревини, металу і пластику можуть бути перероблені і використані для виготовлення нових матеріалів або конструкцій. Це також допомагає зменшити споживання природних ресурсів та енергії, цим самим зменшує негативний вплив на навколишнє середовище.

Крім того, існують різні методи переробки відходів руйнації, такі як механічна переробка, переробка через сортування та рекуперация енергії. Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження, і їх використовують залежно від типу відходів та регіональних умов.

Україна також дбає про проблему управління відходами руйнації та встановлює вимоги щодо їх обробки та утилізації. Наприклад, існує політика роздільного збору сміття у деяких містах, яка стимулює мешканців до утилізації відходів руйнації за допомогою спеціальних контейнерів та пунктів збору.

Оскільки війна є складним та деструктивним процесом, який часто супроводжується значною кількістю відходів та руйнацією, то точну кількість відходів під час війни важко визначити, оскільки вона залежить від багатьох факторів, таких як тривалість конфлікту, розмір захопленої території, види зброї та використовуваний обладнання. Однак, можна уявити, що війна призводить до значної кількості відходів через руйнацію будівель, інфраструктури та інших об'єктів.

Так від початку повномасштабної збройної агресії російські війська завдали по українських об'єктах майже 5 тисяч ракетних і майже 3,5 тисячі авіаційних ударів. Крім цього, окупанти завдали майже 1,1 тис. ударів із застосуванням безпілотників. Майже третину території України наразі заміновано. Мова йде про звільнені, і про тимчасово окуповані території (Міськевич, 2023).

Так використання такої кількості зброї масового ураження призводить до пошкодження та руйнування будівель, доріг, мостів, заводів, енергетичних споруд та інших об'єктів, що вимагають великого обсягу відновлювальних робіт після закінчення конфлікту. У разі використання зброї масового ураження, такої як ядерна або радіаційна зброя, створюються додаткові проблеми з поводженням з радіоактивними матеріалами та залишками зброї.

Управління відходами під час війни часто є складною задачею, оскільки існуюча інфраструктура для збору, сортування та переробки відходів може бути пошкодженою або зруйнованою. Проте, навіть під час конфлікту існують спроби зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити безпечне поводження з відходами.

Наприклад, гуманітарні організації та уряди можуть працювати разом для організації тимчасових зон переробки відходів, а також для забезпечення допомоги та навчання місцевому населенню з питань управління відходами під час кризових ситуацій.

Сьогодні, серед актуальних питань для громад, які перебувають в зоні активних бойових дій або ж були окупованими та зазнали руйнувань і пошкоджень своєї інфраструктури є: з чого почати, як організувати, звітувати, зберігати та використовувати відходи від руйнувань.

За майже півтора року війни росіяни пошкодили та зруйнували майже 60 тис об'єктів, підрахували в Міністерстві захисту довкілля та природних ресурсів. Найбільше постраждала житлова забудова – 48 тис будівель. Ця цифра є орієнтовною, оскільки точно порахувати кількість житла непридатного для проживання в нинішніх умовах неможливо, і, на жаль, його кількість збільшується з кожним днем (Колесніченко, 2023).

За даними обласних військових адміністрацій, з кінця лютого до середини жовтня 2022 року

на доступних для підрахунку територіях зафіксовано майже 160 тисяч пошкоджених або зруйнованих об'єктів, з яких 60 відсотків зруйновані більш, ніж наполовину. Серед пошкоджених об'єктів нерухомості переважають житлові приміщення – понад 142 тисячі (Організація процесу поводження з відходами від руйнувань в громадах: як правильно здійснити перші кроки, 2022). Київською школою економіки було прораховано прямі збитки нанесені інфраструктурі України за час війни (табл. 1).

Таблиця 1
Втрати економіки України від пошкодження фізичної інфраструктури (у разі повного руйнування об'єктів), з початку воєнних дій
(Звіт Київської школи економіки (KSE Institute) щодо прямих збитків, нанесених інфраструктурі України, 2023)

Об'єкт інфраструктури	Кількість одиниць станом на 24.03.2023	Загальні витрати, млн. дол. США
Дороги	8265	27546
Житлові будинки*	4431	13452
Цивільні аеропорти**	8	6816
Заводи, підприємства	92	2921
Заклади охорони здоров'я	138	2466
Атомні електростанції	1	2,416
Залізнична інфраструктура та рухомий склад**	н/д	2202
Мости та мостові переходи**	260	1452
Порти та портова інфраструктура	2	622
Заклади середньої та вищої освіти	378	601
Адміністративні будівлі	35	574
Військові аеродроми	10	390
Літак АН-225 «МРІЯ»	1	300
Торгово-розважальні центри	11	188
Релігійні споруди	44	150
Культурні споруди	42	144
Дитячі садочки	165	133
Тепло- та гідроелектростанції	7	101
Інше		412
РАЗОМ		62889

* Сума збільшена через зростання кількості зруйнованих / пошкоджених об'єктів, а також через перегляд методології обрахунку

** Сума зменшена через надходження детальної інформації від Мінінфраструктури щодо кількості та вартості пошкоджених об'єктів

Обсяг відходів, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, вже можна порівняти

з кількістю твердих побутових відходів, що в середньому утворюються в країні за рік. А це близько 10–12 млн тонн (Міськевич, 2023).

Відповідно до Постанови КМУ №1073 (Про затвердження Порядку поводження з відходами, 2022) заходи з ліквідації відходів руйнувань включають декілька важливих етапів. По-перше, розчищення території (збирання відходів від руйнувань, зокрема за можливості – сортування окремих компонентів відходів від руйнувань). Далі зібрані уламки транспортують від місця їхнього утворення до об'єктів поводження з відходами або місць тимчасового зберігання. Наступним етапом є їхнє оброблення або перероблення, якщо є така потреба. Існує практика використання відходів руйнації як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів. Якщо такої можливості немає, відходи видаляються або захоронюються у спеціально відведених місцях.

19 червня 2023 року Кабінет Міністрів України затвердив Порядок поводження з побутовими відходами в особливих умовах (Про затвердження Порядку поводження з відходами, 2022), зокрема на територіях де велися або ведуться бойові дії. У цьому ж документі також йдеться про алгоритм дій з твердими побутовими відходами під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного, природного чи воєнного характеру. Так, наприклад, постанова передбачає облаштувати місця тимчасового зберігання побутових відходів з дотриманням вимог екологічної та пожежної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, тощо. Не допускається зберігання побутових відходів поза межами визначених місць або майданчиків тимчасового зберігання (рис. 1, 2).

Механізм працює наступним чином: громади звозять відходи руйнації у місця тимчасового складування, де далі відбувається їх сортування, виокремлюються небезпечні, будівельні відходи тощо. Будівельні відходи подрібнюють для повторного використання.

Із сортуванням та вторинним переробленням поволі управляються на місцях. У Харкові, наприклад, із уламків бетону роблять спеціальну крихту для ремонту доріг і тротуарів. На тимчасових майданчиках в Харкові встановили та експлуатують дробарні установки для відходів. Якщо прилетіло в будинок, розбирають завали

на тему наявності людей і боєприпасів. Потім розсортовують інше. І встановлюють дробарки, які зменшують відходи в 5–8 разів. Це поки найкращий досвід в Україні (Козлова, 2023).

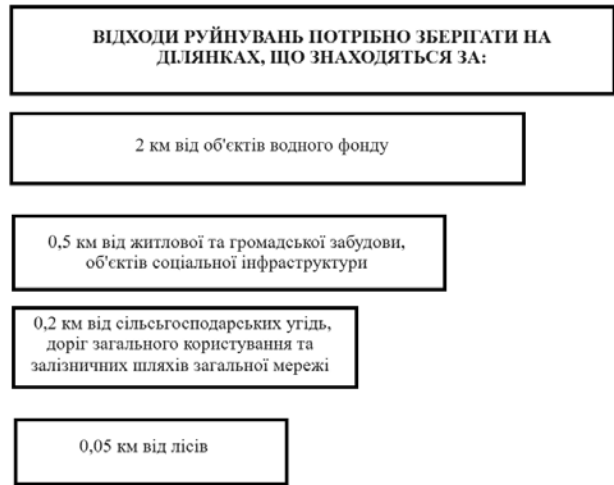


Рис. 1. Схематичне зображення рекомендацій щодо зберігання відходів руйнації (за інформацією Міндовкілля)

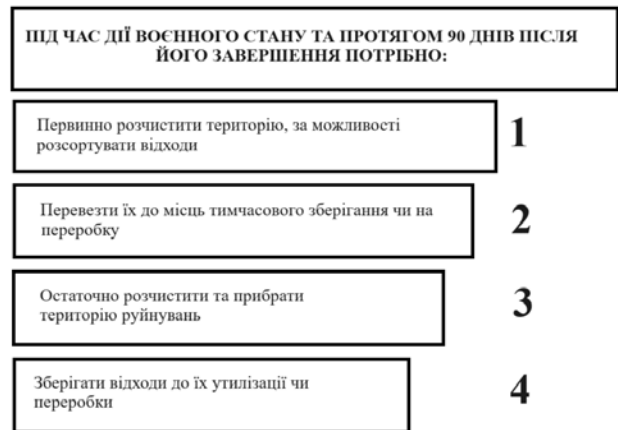


Рис. 2. Схематичне зображення механізму поводження з відходами руйнації (за інформацією Міндовкілля)

Після того як усе відсортовано, має бути проведено лабораторну оцінку, комплекс досліджень, щоб зрозуміти, чи придатний матеріал для повторного використання. Які параметри токсичності в тих чи інших відходів. Наприклад, радіаційно-гігієнічна оцінка. Це виклики, до яких Україна має бути готова. Рік повномасштабної війни змушував би нас рухатися швидше, бо проблема сама по собі не розв'яжеться.

Висновки. Україна продовжує активно займатися проблемою утилізації та переробки

відходів, а також розвитком сталого споживання та виробництва. Державні органи та місцеві самоврядування спрямовують зусилля на впровадження екологічних стратегій та політик з управління відходами, що є надзвичайно важливим в сучасних умовах розвитку нашої держави (Губарева, 2023; Про затвердження Порядку поводження з відходами, 2022; Україна. Швидка оцінка завданої шкоди та потреб на відновлення, 2022; Сайт Державної екологічної інспекції України, 2023; Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, 2020; Про управління відходами, 2022).

Війна в Україні призводить до утворення значної кількості відходів та руйнації, через це суспільство має ще один екологічний виклик: ми повинні навчитися компетентно застосовувати технології рециклінгу задля зменшення накопичення відходів. Застосування технологій вторинного застосування зможе знизити фінансові витрати на відбудову, і саме найголовніше, це допоможе зменшити споживання природних ресурсів та енергії, цим самим зменшивши негативний вплив на навколишнє середовище.

Важливо працювати над відновленням сьогодні та відновленням після війни, а також розробляти стратегії для зменшення негативного впливу відходів на навколишнє середовище.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Kotsiuba I., Herasymchuk O., Shamrai V., Lukianova V., Anpilova Y., Rybak O., Lefter I. A. Strategic Analysis of the Prerequisites for the Implementation of Waste Management at the Regional Level. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. 24 (1). P. 55-66.
2. Вавілов А. Повоєнне прибирання: що робити з будівельним сміттям від зруйнованих росіянами споруд у Запорізькій області. 2023. URL: http://1news.zp.ua/u-zaporizkij-oblasti-pislya-obstriliv-zyavilasya-velichezna-kilkistbudivelnogo-smittya/?fbclid=IwAR0AhKGWEeehBD0_zAaKpu3_ddH0E5KgKIUAIZyKBsdE1j79lolSQk0Rtk
3. Губарева В. Відходи від війни: що це таке та як із ними впоратись? 2022. URL: <https://rubryka.com/article/waste-from-war/?fbclid=IwAR1T-xavtaXFrI3ZdrMCnplRE51CWUxot4ewUNyQQN-rnL7isiDexrWinNM>
4. Губарева В. Екоцид: 10 наслідків війни росії проти України для довкілля/ 2023. URL: <https://rubryka.com/article/naslidky-viiny-dlia-dovkillia/>
5. Звіт Київської школи економіки (KSE Institute) щодо прямих збитків, нанесених інфраструктурі України. Kyiv School of Economics. 2023. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zbitki-naneseni-infrastrukturi-ukrayini-v-hodi-viyni-skladayut-mayzhe-63-mlrd/>
6. Козлова О. Відходи війни: як Україну не перетворити на звалище. 2023. URL: https://www.rfi.fr/uk/%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0/20230519-%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8-%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8-%D1%8F%D0%BA-%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%83-%D0%BD%D0%B5-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%BD%D0%B0-%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B5?fbclid=IwAR02FhzNGC--ImVidp7955gQHgUO_26Isy3SXL_du_l6FWz0Qjw3u7c2kMU
7. Колесніченко О. Проблема на трильйон. Що Україна робитиме із сотнями тисяч тонн сміття, створеного росіянами. 2023. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2023/06/19/701281/>
8. Кречетова Д. Ми втратимо Запорізьку область, якщо вибухне АЕС. Міністр захисту довкілля про наслідки екоциду в Україні. 2022. URL: <https://lifepravda.com.ua/society/2022/09/13/250400/>
9. Міськевич Х. Утилізувати ракету і спалений танк, або що робити з відходами війни. 2023. URL: <https://rubryka.com/article/consequences-of-war/>
10. Музика А. Відходи війни: чи можливо повторне використання, або переробка. 2023. URL: <https://1kr.ua/ua/news-82789.html?fbclid=IwAR1d0qwIL6k1vX1jn1rGIBr7tNepxa0Q8fSNEwYr-l9ZvzMDxxqvbH8WetU>
11. Нонік Л.Ю., Пацева І.Г., Пічкур Т.В. Розроблення стратегії управління відходами руйнацій в умовах воєнного стану. Екологічна безпека та технології захисту довкілля №4. 2023. с. 40-47.
12. Організація процесу поводження з відходами від руйнувань в громадах: як правильно здійснити перші кроки. 2022. URL: <https://decentralization.gov.ua/news/15928>
13. Ореханова Ю., Амбросова А. Аналіз проблеми переробки відходів від руйнувань: воєнний вимір. 2023. URL: Аналіз проблеми (dtkr.com.ua)
14. План відновлення України. 2022. URL: <https://recovery.gov.ua/>
15. Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України. Постанова Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2022 р. № 1073. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text>

16. Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Редакція від 17.09.2020. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>
17. Про управління відходами. Закон України від 20 червня 2022 року № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n802>
18. Сайт Державної екологічної інспекції України. URL: <https://www.dei.gov.ua/>
19. Сатін І. В., Ткаченко Т. М., Волошкіна О. С. Технічні та організаційні особливості поводження з відходами від руйнувань. Дорожня карта реалізації Закону України «Про управління відходами»: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Київ, 24–25 листопада 2022 р.). К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С.72–74.
20. Україна. Швидка оцінка завданої шкоди та потреб на відновлення – серпень 2022 / звіт Світового Банку, Уряду України, Європейської Комісії. К., 269 с. URL: <https://iceg.com.ua/wp-content/uploads/2022/09/SHvidka-otsinka.pdf>

REFERENCES:

1. Kotsiuba I., Herasymchuk O., Shamrai V., Lukianova V., Anpilova Y., Rybak O., Lefter I. A. (2023). Strategic Analysis of the Prerequisites for the Implementation of Waste Management at the Regional Level. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 24 (1). pp. 55-66.
2. Vavilov A. (2023). Povoienne prybyrannia: shcho robyty z budivelnym smittiam vid zruinovanykh rosiianamy sporud u Zaporizkii oblasti [Post-war cleanup: what to do with construction debris from buildings destroyed by the Russians in Zaporizhzhia region]. URL: http://1news.zp.ua/u-zaporizkij-oblasti-pislya-obstriliv-zyavilasya-velichezna-kilkist-budivelnogo-smittya/?fbclid=IwAR0AhKGWEehgBD0_zAaKpu3_ddH0E5KgKIUAIZyKBsdE1j79loISQk0Rtk
3. Hubareva V. (2022). Vidkhody vid viiny: shcho tse take ta yak iz nymy vporatys? [Waste from the war: what is it and how to deal with it?]. URL: <https://rubryka.com/article/waste-from-war/?fbclid=IwAR1T-xavtaXFrI3ZdrMCnplRE5ICWUxot4ewUNyQQN-rnL7isiDexrWinNM>
4. Hubareva V. (2023). Ekotsyd: 10 naslidkiv viiny rosii proty Ukrainy dlia dovkillia [Ecocide: 10 consequences of Russia's war against Ukraine for the environment]. URL: <https://rubryka.com/article/naslidky-viiny-dlia-dovkillia/>
5. Zvit Kyivskoi shkoly ekonomiky (KSE Institute) shchodo priamykh zbytkiv, nanesenykh infrastrukturi Ukrainy. Kyiv School of Economics (2023). [Report by the Kyiv School of Economics (KSE Institute) on direct damage to Ukraine's infrastructure. Kyiv School of Economics]. URL: <https://kse.ua/ua/about-the-school/news/zbitki-naneseni-infrastrukturi-ukrayini-v-hodi-viyni-skladayut-mayzhe-63-mlrd/>
6. Kozlova O. (2023). Vidkhody viiny: yak Ukrainu ne peretvoryty na zvalyshche [The future of Ukraine: how not to turn Ukraine into a state]. URL: https://www.rfi.fr/uk/%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B0/20230519-%D0%B2%D1%96%D0%B4%D1%85%D0%BE%D0%B4%D0%B8-%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8-%D1%8F%D0%BA-%D1%83%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%83-%D0%BD%D0%B5-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8-%D0%BD%D0%B0-%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B5?fbclid=IwAR02FhzNGC--ImVidp7955gQHgUO_26Isy3SXL_du_16FWz0Qjw3u7c2kMU
7. Kolesnichenko O. (2023). Problema na trylion. Shcho Ukraina robytyme iz sotniamy tysiach tonn smittia, stvorenoho rosiianamy [A trillion-dollar problem. What Ukraine will do with hundreds of thousands of tons of garbage created by Russians]. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2023/06/19/701281/>
8. Krechetova D. (2022). My vtratymo Zaporizku oblast, yakshcho vybukhne AES. Ministr zakhystu dovkillia pro naslidky ekotsydu v Ukraini [We will lose Zaporizhzhia region if the nuclear power plant explodes. Minister of Environmental Protection on the consequences of ecocide in Ukraine]. URL: <https://life.pravda.com.ua/society/2022/09/13/250400/>
9. Miskevych Kh. (2023). Utylizuvaty raketu i spalenyi tank, abo shcho robyty z vidkhodamy viiny [Disposal of a missile and a burnt tank, or what to do with the waste of war]. URL: <https://rubryka.com/article/consequences-of-war/>
10. Muzyka A. (2023). Vidkhody viiny: chy mozhlyvo povtorne vykorystannia, abo pererobka. [Waste of war: is reuse or recycling possible]. URL: <https://1kr.ua/ua/news-82789.html?fbclid=IwAR1d0qwIL6k1vX1jn1rGIBr7tNepxa0Q8fSN EwYr-I9ZvzMDxxqvbH8WetU>
11. Nonik L.Iu., Patseva I.H., Pichkur T.V. (2023). Rozroblennia stratehii upravlinnia vidkhodamy ruinatsii v umovakh voiennoho stanu [Developing a strategy for managing demolition waste under martial law]. *Ekolohichna bezpeka ta tekhnologii zakhystu dovkillia* №4. pp. 40-47.
12. Orhanizatsiia protsesu povodzhennia z vidkhodamy vid ruinuvan v hromadakh: yak pravylno zdiisnyty pershi kroky [Organizing the process of waste management from destruction in communities: how to take the first steps] (2022). URL: <https://decentralization.gov.ua/news/15928>
13. Orekhanova Yu., Ambrosova A. (2023). Analiz problemy pererobky vidkhodiv vid ruinuvan: voiennyi vymir [Analysis of the problem of recycling waste from destruction: military dimension]. URL: Аналіз проблеми (dtkr.com.ua)
14. Plan vidnovlennia Ukrainy [Ukraine's recovery plan]. (2022). URL: <https://recovery.gov.ua/>

15. Pro zatverdzhennia Poriadku povodzhennia z vidkhodamy, shcho utvorylys u zviazku z poshkodzhenniam (ruinuvanniam) budivel ta sporud vnaslidok boiovykh dii, terorystychnykh aktiv, dyversii abo provedenniam robit z likvidatsii yikh naslidkiv ta vnesennia zmin do deiakykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 veresnia 2022 r. № 1073. [On Approval of the Procedure for the Management of Waste Generated in Connection with Damage (Destruction) of Buildings and Structures as a Result of Hostilities, Terrorist Acts, Sabotage or Works to Eliminate Their Consequences and Amendments to Certain Resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1073 of September 27]. (2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text>

16. Pro skhvalennia Natsionalnoi stratehii upravlinnia vidkhodamy v Ukrainy do 2030 roku. Redaktsiia vid 17.09.2020. Ofitsiinyi vebportal parlamentu Ukrainy [On approval of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030. Version of 17.09.2020. Ofitsiinyi vebportal parlamentu Ukrainy]. (2020). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p#Text>

17. Pro upravlinnia vidkhodamy. Zakon Ukriany vid 20 chervnia 2022 roku № 2320-IX. URL [On waste management. Law of Ukraine of June 20, 2022, No. 2320-IX]. (2022). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#n802>

18. Sait Derzhavnoi ekolohichnoi inspektsii Ukrainy [Website of the State Ecological Inspection of Ukraine]. (2023). URL: <https://www.dei.gov.ua/>

19. Satin I. V., Tkachenko T. M., Voloshkina O. S. (2022). Tekhnichni ta orhanizatsiini osoblyvosti povodzhennia z vidkhodamy vid ruinuvan. Dorozhnia karta realizatsii Zakonu Ukrainy «Pro upravlinnia vidkhodamy»: zbirka materialiv Natsionalnoho forumu «Povodzhennia z vidkhodamy v Ukraini: zakonodavstvo, ekonomika, tekhnolohii» [Technical and organizational features of demolition waste management. Roadmap for the Implementation of the Law of Ukraine "On Waste Management": a collection of materials from the National Forum "Waste Management in Ukraine: Legislation, Economics, Technology" (Kyiv, November 24-25, 2022)]. *Kyiv: Center for Environmental Education and Information*. pp.72–74.

20. Ukraina. Shvydka otsinka zavdanoi shkody ta potreb na vidnovlennia – serpen 2022 / zvit Cvitovoho Banku, Uriadu Ukrainy, Yevropeiskoi Komisii [Ukraine. Rapid assessment of damage and recovery needs - August 2022. Zvit Cvitovoho Banku, Uriadu Ukrainy, Yevropeiskoi Komisii] URL: <https://iceg.com.ua/wp-content/uploads/2022/09/SHvidka-otsinka.pdf>

УДК 504.054

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-11>

Наталія САМОЙЛЕНКО

кандидат технічних наук, професор, професор кафедри хімічної техніки та промислової екології; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002

ORCID: 0000-0003-0306-8425

Вадим КАТЕНІН

аспірант кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002

ORCID: 0000-0002-6609-2652

Антоніна САКУН

PhD, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002

ORCID: 0000-0002-1079-7856

Бібліографічний опис статті: Самойленко, Н., Катенін, В., Сакун, А. (2023). Особливості операцій управління відходами фотоелектричних панелей в Україні у воєнний період. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 82–88, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-11>

ОСОБЛИВОСТІ ОПЕРАЦІЙ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ФОТОЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ПЕРІОД

Актуальність використання сонячної енергетики в Україні та світовому масштабі визначається як невід’ємна частина переходу до відновлюваних джерел енергії. Стратегічний курс країни на розвиток відновлюваної енергетики сприяли значущому розвитку цього сектора до початку військових дій. Однак, війна спричинила великі втрати в секторі сонячної енергетики, зокрема зруйнування та виведення з ладу значної частини промислових та домашніх сонячних електростанцій. Ця кризова ситуація призвела до виникнення великої кількості відходів від сонячних фотоелектричних панелей (СФЕП), управління якими включає збирання, відновлення та рециклінг як ключові аспекти ефективного вирішення цієї проблеми в умовах триваючого військового конфлікту. Дослідження зосереджується на аналізі утворення та збирання відходів від СФЕП, виготовлених на основі кристалічного кремнію, який відіграє домінуючу роль у виробництві сонячних панелей. Проведено класифікацію відходів панелей, що утворюються у період військових дій. Визначено, що негативний вплив на довкілля ушкоджених та накопичених на ґрунті панелей може включати великі площі. Приведено загальні рекомендації щодо первинних операцій поводження з відходами панелей. Проблематика дослідження також включає питання відсутності в Україні виробничих потужностей по виготовленню СФЕП та інфраструктури переробки відходів СФЕП. Представлено декілька підходів до використання відходів скла з СФЕП у цементній промисловості, що можуть сприяти вирішенню проблеми управління відходами і зменшенню екологічного навантаження в регіоні. Важливість такого рециклінгу панелей визначається можливістю зменшення використання мінеральних ресурсів та зменшення викидів вуглекислого газу у виробництві цементу.

Ключові слова: сонячні фотоелектричні панелі, операції поводження з відходами, рециклінг, цементна промисловість.

Nataliia SAMOILENKO

PhD, Professor, professor of the department of chemical engineering and industrial ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2, Kirpychova Str., Kharkiv, Ukraine, 61002

ORCID: 0000-0003-0306-8425

Vadym KATENIN

post-graduate student of the department of chemical engineering and industrial ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2, Kirpychova Str., Kharkiv, Ukraine, 61002

ORCID: 0000-0002-6609-2652

Antonina SAKUN

PhD., Associate Professor of the department of chemical engineering and industrial ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2, Kirpychova Str., Kharkiv, Ukraine, 61002

ORCID: 0000-0002-1079-7856

To cite this article: Samoilenko, N., Katenin, V., Sakun A. (2023). Osoblyvosti operatsii upravlinnia vidkhodamy fotolektrychnykh panelei v Ukraini u voiennyi period [Specifics of waste management operations for photovoltaic panels in Ukraine during the wartime]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 82–88, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-11>

SPECIFICS OF WASTE MANAGEMENT OPERATIONS FOR PHOTOVOLTAIC PANELS IN UKRAINE DURING THE WARTIME

The relevance of using solar energy in Ukraine and on a global scale is determined as an integral part of transitioning to renewable energy sources. The strategic course of the country towards the development of renewable energy contributed to the significant development of this sector until the onset of military actions. However, the war caused significant losses in the solar energy sector, including destruction and disabling a considerable portion of industrial and domestic solar power stations. This crisis situation led to the emergence of a large amount of waste from solar photovoltaic panels (PV), the management of which includes collection, restoration, and recycling as key aspects of effectively addressing this problem under the conditions of ongoing military conflict. The study focuses on the analysis of the formation and collection of waste from PVs, manufactured based on crystalline silicon, which plays a dominant role in the production of solar panels. A classification of panel waste generated during the period of military actions was conducted. It was determined that the negative impact on the environment of damaged and accumulated on the ground panels could cover large areas. General recommendations regarding primary operations for handling panel waste are provided. The research issue also includes the question of the absence in Ukraine of production capacities for the manufacturing of PVs and the infrastructure for processing PV waste. Several approaches to the use of glass waste from PVs in the cement industry are presented, which can contribute to solving the waste management problem and reducing the environmental burden in the region. The importance of such recycling of panels is determined by the possibility of reducing the use of mineral resources and reducing carbon dioxide emissions in cement production.

Key words: Solar photovoltaic panels, waste management operations, recycling, cement industry.

Актуальність проблеми. На СЕС сьогодні припадає близько 4% виробленої електроенергії з відновлювальних джерел енергії у світі (Держенергоефективності, 2023), а встановлення фотоелектричних систем постійно збільшується (Masson, Bosch, Kaizuka, Jäger, 2022). Кліматичні умови України сприяють використанню сонячної енергетики, яка у останні десять – п'ятнадцять років довоєнного періоду активно розвивалась. Встановлена потужність СЕС складала 6227 МВт, кількість промислових сонячних електростанцій перевищувало 1290 («Зелений» тариф, 2020), а тільки на кінець 2021 р. в Україні налічувалось 44888 сонячних

установок приватних домогосподарств (Українська енергетика, 2022). На території України побудовані великі СЕС, потужність яких коливається від 43 до 246 МВт. Війна значно скоротила виробіток сонячної енергії, зруйнувавши промислові та приватні СЕС. За статистикою 2022 р. українська енергетика під час війни втратила значну частину потужностей: виведено з ладу чи окуповано 30% сонячної генерації (Енергетичний фронт, 2023). За оцінкою до кінця жовтня 2022 року з експлуатації довелось вивести близько 75% вітрових станцій та 45-50% – сонячних (Укрінформ, 2023). СЕС, що знаходяться на окупованій частині країни

не видають електроенергію в Об'єднану енергосистему України.

Руйнування та пошкодження об'єктів сонячної енергетики призводить до утворення величезної кількості відходів, точне визначення яких можливо за розрахунками, що проводяться на місці події. Прогнозні обсяги носять ймовірний характер і залежать від військових чинників. На жаль, війна ще продовжується, а тому кількість відходів СФЕП може збільшуватись. У зв'язку з цим гостро постає питання щодо управління відходами, зокрема операцій збирання, відновлення чи рециклінгу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Стала тенденція розвитку сонячної енергетики закономірно приводить до продукування все більшої кількості відходів СФЕП, управління якими в кожній країні має свої особливості. В розвинених країнах розроблена та давно реалізується інфраструктура щодо логістики та рециклінгу відходів, яка регламентується на державному рівні з додержанням екологічних нормативів (Губанова, Купінець, 2022, Пундєв, Резцов, Суржик, 2022). Аналіз закордонних літературних джерел показує, що основну увагу науковці приділяють операціям утилізації відходів СФЕП, в більшій мірі розглядаючи їх з точки зору удосконалення. Проте проблема відходів СФЕП в Україні має більш широке вираження і стосується і інших операцій управління відходами (Катенін, Самойленко, 2022). У воєнний період особливе значення мають операції збирання і накопичення відходів СФЕП, що утворились в результаті військового руйнування енергетичної структури та будівель житлового і непромислового призначення. Також актуальним є питання рециклінгу відходів, що безпосередньо з цим пов'язується та має суттєве значення для відходів СФЕП, утворених іншим шляхом.

Мета дослідження полягає в аналізі сучасного стану утворення і накопичення відходів СФЕП в Україні та розробці науково-практичних рекомендацій щодо проведення основних операцій поводження з відходами.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Утворення та збирання відходів. Фотоелектрична система на основі кристалічного кремнію (с-Si) є найстарішою і в даний час домінуючою технологією, яка складає приблизно 85 – 90% ринку фотоелектрики (Дер-

женергоефективності, 2023). Характеристика СФЕП з точки зору ресурсної оцінки та впливу на довкілля визначається складом матеріалів панелі. Основними елементами панелі є: алюмінієва рамка з анодованого або порошкового алюмінію; сонячні елементи, що виготовляються з кристалічного кремнію, який в залежності від розміру кристала пластини поділяється на полікристалічний та монокристалічний кремній. Тонкоплівкові сонячні елементи використовують аморфний кремній (1%). Такі за характером елементи можуть виготовлятися з теллуриду кадмію та мідного селеніду індію галію (CIGS), але їх використання, незважаючи на певні технічні переваги, досить обмежено. Цей напівпровідниковий матеріал наноситься на скло, полімер або метал. Матеріалами конструкції панелі є скло, пластикова плівка (EVA), а також мідь. Цей метал застосовується для електричної складової панелі, призначеної для електричного з'єднання елементів в модулі та передачі енергії (дроти, кабелі).

Типи відходів СФЕП за напрямками їх утворення у теперішній час представлені на рис. 1.

Кремнієві СФЕП вважаються найбільш екологічними у порівнянні з іншими. Водночас панелі, вражені військовою зброєю та не видалені з місця їх знаходження після цього, а також відходи, які неналежним чином зберігаються, чинять негативну дію на ґрунти. Авторами даної статті проведені дослідження, які показали, що мідні дроти пошкоджених панелей у цих умовах є джерелом небезпеки забруднення ґрунту важким металом, а саме міддю. Аналіз дернових ґрунтів показав перевищення ГДК міді у 2,74 рази при дослідженні дроту з механічним пошкодженням та у 1,34 рази – дроту з обпаленням ізоляції. Валова ж концентрація міді у ґрунті, що контактував з провідником, зростала до 40 разів. У місці розташування відходів СФЕП на ґрунті останній може змінювати свої властивості; також проходить міграція цього металу у поверхневі води. Опосередковано здійснюється негативний вплив на рослини та на здоров'я людей.

Потенційні обсяги відходів та опосередковано ризиків щодо можливої площі забруднення відходами орієнтовно можливо проаналізувати на основі обсягів встановлених сонячних панелей на промислових СЕС.

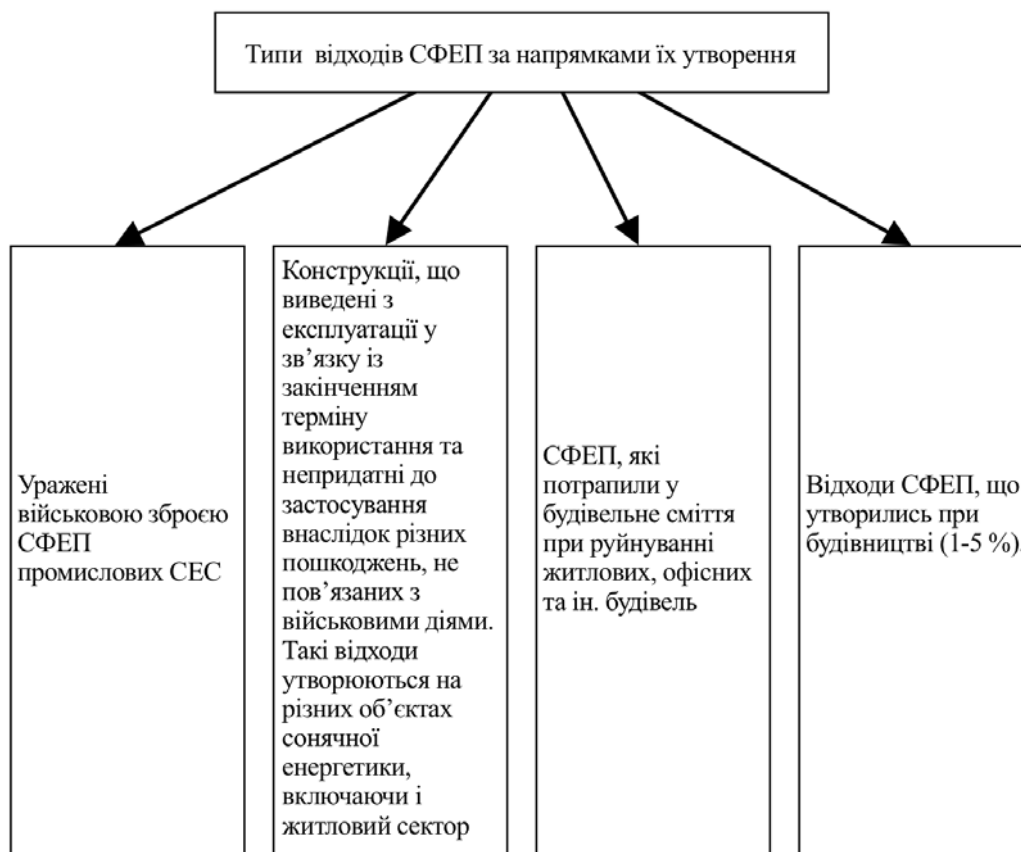


Рис. 1. Типи відходів СФЕП за напрямками їх утворення

На промислових станціях кількість СФЕП та площа, яку вони займають, залежить від багатьох природних та технічних чинників. Найбільші в Україні станції використовують сотні тисяч панелей і розташовуються на великих площах, так як 1 МВт потужності потребує близько 1,5 га землі (рисунок 2). (Укрінформ, 2023).

Площа, що займає одна панель, залежить від потужності і складає 2,44 – 5,33 м². Можно передбачити, що пропорційно цьому буде здійснюватись негативний вплив на довкілля при знаходженні на ґрунті панелі, ураженої військовою зброєю.

Однією з основних складових сонячних панелей є скло, що має товщину біля 3 мм. Враховуючи це, можна обчислити, що вага скла в одній панелі досягає 18 та більше кг. При пошкодженні, наприклад, 100 панелей площа негативної дії на ґрунт може скласти 50 кв. м, а маса скла у відходах СФЕП досягти 1,83 т.

У поточний період немає точних даних щодо кількості зруйнованих сонячних генерацій; інформація з точки зору їх відновлення є вельми актуальною (АСЕУ закликає, 2023).

Дані опитування свідчать, що за типом пошкоджених електростанцій домашні СЕС становлять 64,7%, промислові наземні – 29,4%, промислові дахові – 5,9% (Екополітика, 2022). Відомо, що в Харківській області повністю зруйновані потужності і немає жодної діючої електростанції, частково відновлена робота СЕС «Solar Generation» в Миколаївській області. Під час обстрілів великих пошкоджень зазнала одна з найбільших в Україні СЕС «Токмак Solar Energy», яка знаходиться на тимчасово окупованій території у Запорізькій області. Її потужність складає 50 МВт, а площа, яку вона займає – 96,4 га. Наразі немає офіційної інформації щодо поведінки окупантів з відходами пошкодженого обладнання та інших елементів станції, що у тому числі включають сонячні фотоелектричні панелі (СФЕП). Точні дані можуть бути отримані лише після повної деокупації території.

Загалом по Україні після різкого падіння встановленої потужності, сонячна генерація дещо поступово відновлюється (рис. 3).

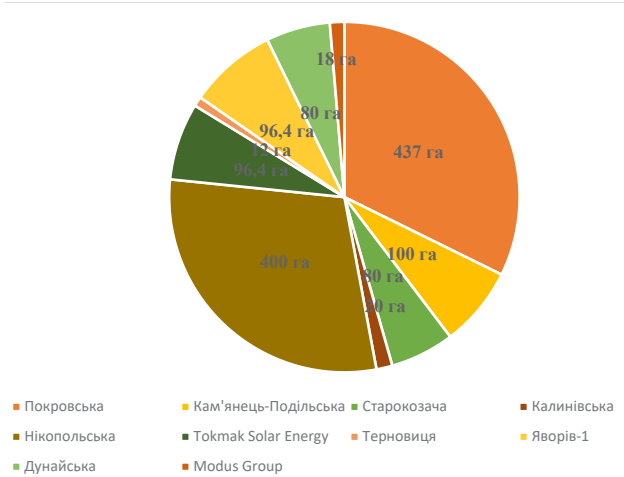


Рис. 2. Площа найбільших СЕС України, га

Відновлення та рециклінг. Збиранню з цілю повторного використання чи рециклінгу підлягають частково чи повністю ушкоджені конструкції СФЕП. Але в останньому випадку розглядається технічна можливість та доцільність використання залишків уражених панелей як ресурсоцінної сировини для основного напрямку переробки панелей. Частина конструкцій, що являють собою суміш дрібних уламків скла, змішаного з ґрунтом, до загальної маси відходів не залучаються.

Сортування відходів передбачає їх механічний розподіл для подальшої обробки та базується на критеріях ушкодження цілісності конструкції. Ідентифікація відходів СФЕП передбачає їх віднесення до певного виду відходів, виходячи з цілісного стану конструкції, технічних можливостей розбирання панелі та технологічних умов відновлення чи рециклінгу її елементів.

Первинний облік відходів здійснюється у відповідності з певними формами облікових документів, де зазначається дата утворення відходів та прийняття їх на облік; кількість відходу у відповідних одиницях, клас небезпеки відходу (частини конструкції). Доцільним також є додаткове зазначення інформації щодо конкретної ділянки (місця) знаходження відходу до початку ліквідаційних робіт, так як з цією інформацією пов'язується питання забруднення ґрунтів.

Підготовчі операції до відновлення та рециклінгу відходів СФЕП можуть включати:

1) збирання частково та повністю ушкоджених відходів, відділення електричної частини;

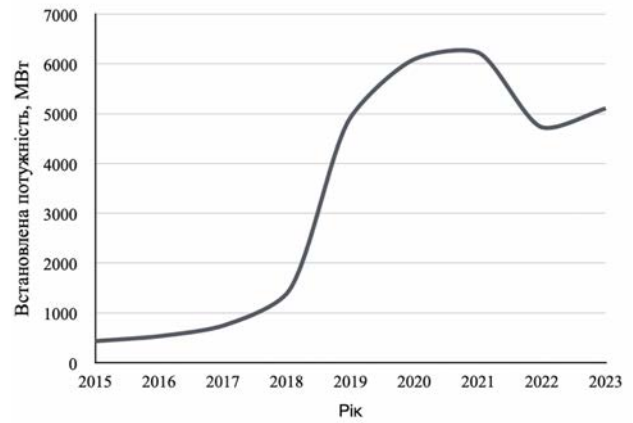


Рис. 3. Динаміка встановленої потужності об'єктів сонячної енергетики

2) сортування відходів за характером порушення цілісності та забруднення;

3) ідентифікація відходів та їх первинний облік;

4) відходи на підготовку до переробки (утилізації компонентів).

Збір та утилізація відходів СФЕП особливо проблематична у випадку ураження військовою зброєю житлових та інших будівель. У цьому випадку відходи панелей змішуються з будівельними та біологічними. Організацію збору таких відходів доцільно проводити із залученням місцевих громад та регулювання процедури уповноваженими державними органами. Операції з поводження з даними відходами розглядаються відповідно Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків (Порядок поводження з відходами, 2023).

З теоретичної точки зору рециклінгу піддаються 95 % відходів СФЕП. Водночас практика показує, що повністю повторно використовується тільки алюмінієві елементи, що складають 20% панелі.

У теперішній час досліджено та запропоновано досить багато способів підготовки фотоелектричних панелей до переробки та утилізації. Груба переробка передбачає вилучення скла, алюмінію, міді, які є основними матеріалами СФЕП. Додаткове проведення більш тонкої переробки дозволяє виділити хімічні речовини,

що характеризуються ресурсною цінністю (кремній) та екологічною небезпекою. В останній час більшість досліджень переробки сонячних панелей зосереджено на вилученні кремнію та переробці рідкісних металів (Ху, Лі, Тан, Peters, Yang, .2018). Водночас у багатьох країнах ці дослідження ще не мають широкого практичного застосування.

В Україні у поточний період немає виробництв, які б виготовляли сонячні фотоелектричні панелі. Також не створена індустрія переробки відходів СФЕП, яка б передбачала рециклінг складових панелей, у тому числі скла, що складає 67 % відходів панелей (традиційно таке скло застосовується для повторного виробництва панелей). Зважаючи на це, у найближчій перспективі доцільно використовувати скло як ресурсоцінний відхід для виготовлення іншої продукції. Існують обгрунтовані пропозиції використання склабою сонячних панелей у цементній промисловості (Шабанова, Коргодська, Шумейко, Катенін, Самойленко, 2023). Відходи скла можуть бути заміною портландцементу та натурального наповнювача у рецептурі бетону, застосовуватись для отримання надміцних бетонів та ін.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

В умовах війни формування основного обсягу відходів СФЕП промислових СЕС та сонячних установок приватних домогосподарств обумовлено ураженням фотоелектричних панелей військовою зброєю. Дані відходи здійснюють нега-

тивний вплив на ґрунти, забруднюючи їх іонами міді, що міститься у електричній частині панелі. Зважаючи на це, важливим є своєчасне видалення уражених СФЕП з місця події. Збирання та накопичення відходів покладається на їх власника, що у випадку промислових СЕС проводиться організовано. Водночас операції збирання відходів СФЕП, утворених при ураженні приватних будівель мають організаційні та технічні проблеми. Для їх вирішення доцільно залучення міських громад та уповноважених державних органів.

Скло, що складає найбільший відсоток у кремнієвих панелях, за світовою практикою звичайно переробляється на нові панелі. Так як в Україні не проводиться виготовлення СФЕП та не створена інфраструктура переробки відходів з цією метою, то доцільним є використання склабою панелей як цінної вторинної сировини у промисловому виробництві. Приблизні розрахунки показують, що обсяги скла, що може бути вилучено з панелі, можуть бути значними. Досліджено та пропонується використання склабою панелей у виробництві цементу. Такий підхід дозволить зменшити використання мінеральної сировини, енергетичних ресурсів та зменшить викиди діоксиду вуглецю у технологічних процесах виробництва цементної продукції.

Подальші дослідження можуть удосконалювати підходи до управління відходами СФЕП та рециклінгу матеріалів панелей, використовуючи їх як ресурсоцінну вторинну сировину для інших галузей української промисловості.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Masson G., Bosch E., Kaizuka I., Jäger-Waldau, Arnulf D. Snapshot of Global PV Markets PVPS, 2022. P. 7-22.
2. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Київ, 2023. URL: <https://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (дата звернення 24.10.2023).
3. Енергетичний фронт. Київ, 2023. URL: <http://surl.li/mmhfhf> (дата звернення 24.10.2023).
4. Губанова О.Р., Купінець Л.Є. Національна стратегія поводження з відходами сонячної енергогенерації. Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2022. С. 25-32.
5. Пундев В. О., Резцов В.Ф., Суржик Т.В Шевчук В. І., Шейко І. О Утилізація фотоелектричних модулів. Проблеми та міжнародний досвід. *Відновлювана енергетика*. 2020. № 3. С. 27-34
6. Катенін В. Д., Самойленко Н.М. Сучасний стан операцій поводження з відходами сонячних фотоелектричних панелей в Україні. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. № 5 (313). С. 89-93.
7. Укрінформ. Київ, 2023. URL: <http://surl.li/mmhng>. (дата звернення 24.10.2023).
8. Асоціація сонячної енергетики України, 2023. URL: <http://surl.li/mmhny>. (дата звернення 24.10.2023).
9. Екополітика. Київ, 2023. URL: <http://surl.li/mmhoh>. (дата звернення 24.10.2023).
10. Порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків. Київ. 2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення 24.10.2023)

11. Xu Y., Li J., Tan Q., Peters A. L., Yang, C. Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste management*. 2018. №75. P. 450-458.
12. Шабанова Г.М., Корогодська А.М., Шумейко В.М., Катенін В.Д., Самойленко Н.М. Використання склобою сонячних панелей у цементній промисловості. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2023*, 17–20 травня 2023 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків : НТУ «ХПІ». С. 623.
13. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф. Київ. 2020. URL: https://sae.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE.pdf. (дата звернення 24.10.2023).
14. Що залишилось від «зеленої» енергетики в Україні. Київ. 2023. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2023/05/24/700431> (дата звернення 24.10.2023).

REFERENCES:

1. Masson, G., Bosch, E., Kaizuka, I., & Jäger-Waldau, A. D. (2022). Snapshot of Global PV Markets. *PVPS*, 7-22.
2. Derzhavne ahentstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy [State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine]. Retrieved from <https://sae.gov.ua/uk/ae/sunenergy> [in Ukrainian].
3. Energetychnyi front [Energy front]. Retrieved from <http://surl.li/mmhfh> [in Ukrainian].
4. Gubanova, O. R., & Kupinets, L. Ye. (2022). Natsionalna strategiia povodzhennia z vidkhodamy soniachnoyi enerhoheneratsiyi [National strategy for the management of waste from solar power generation]. Kyiv: Tsentr ekolohichnoi osvity ta informatsii, pp. 25–32. [in Ukrainian].
5. Pundiev, V. O., Reztsov, V. F., Surzhik, T. V., Shevchuk, V. I., & Sheiko, I. O. (2020). Utilizatsiia fotoelektrychnykh modulei. Problemy ta mizhnarodnyi dosvid [Utilization of photovoltaic modules. Problems and international experience]. *Vidnovlyuvana Energetyka*, (3), (pp. 27-34) [in Ukrainian].
6. Katenin, V. D., & Samoilenko, N. M. (2022). Suchasnyi stan operatsii povodzhennia z vidkhodamy soniachnykh fotoelektrychnykh panelei v Ukraini [The current state of operations dealing with the waste of solar photovoltaic panels in Ukraine]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*, (5) [313], (pp. 89-93) [in Ukrainian].
7. Ukrinform (2023). Retrieved from <http://surl.li/mmhng> [in Ukrainian].
8. Asotsiatsiia soniachnoi enerhetyky Ukrainy [Solar Energy Association of Ukraine]. Retrieved from <http://surl.li/mmhny> [in Ukrainian].
9. Ekopolityka [Ecopolitics]. Retrieved from <http://surl.li/mmhoh> [in Ukrainian].
10. Verkhovna Rada Ukrainy. (2023). Porjadok povodzhennia z vidkhodamy, shcho utvorylys' u zviiazku z poshkodzhenniam (rujnivanniam) budivel ta sporud vnaslidok boiovykh dii, terorystychnykh aktiv, dyversii abo provedennyam robiz z likvidatsii yikh naslidkiv [Procedure for dealing with waste generated in connection with the damage (destruction) of buildings and structures due to hostilities, terrorist acts, sabotage, or the conduct of works to eliminate their consequences]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF> [in Ukrainian].
11. Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste Management*, 75, 450-458.
12. Shabanova, H.M., Korogodska, A.M., Shumeiko, V.M., Katenin, V.D., & Samoilenko, N.M. (2023). Vykorystannia skloboiu soniachnykh panelei u tsementnii promyslovosti [The use of solar panel glass cullet in the cement industry]. In E.I. Sokol (Ed.), *Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorov'ia - Information Technologies: Science, Technique, Technology, Education, Health (MicroCAD-2023)*, (p. 623). Kharkiv: NTU "KhPI". [in Ukrainian].
13. Informatsiia shchodo potuzhnosti ta obsiahiv vyrobnytstva elektroenerhii ob'iektamy vidnovliuvanoi elektroenerhetyky, yakym vstanovleno "zelenyi" taryf [Information on the capacity and volumes of electricity production by renewable energy facilities with a "green" tariff]. Retrieved from https://sae.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE.pdf [in Ukrainian].
14. Shcho zalyshylos' vid "zelenoi" enerhetyky v Ukraini [What remains of "green" energy in Ukraine]. Retrieved from <https://www.epravda.com.ua/publications/2023/05/24/700431> [in Ukrainian].

ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

УДК 378.147

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-12>

Юлія ГОЛОВАЦЬКА

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теорії і практики перекладу, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, вул. Максима Кривоноса, 2, м. Тернопіль, Україна, 46000

ORCID: 0000-0002-7740-9432

Бібліографічний опис статті: Головацька, Ю. (2023). Підготовка майбутніх перекладачів до мовної локалізації як інноваційного виду перекладацької діяльності. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 89–94, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-12>

ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ПЕРЕКЛАДАЧІВ ДО МОВНОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЯК ІННОВАЦІЙНОГО ВИДУ ПЕРЕКЛАДАЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Встановлено, що індустрія локалізації в останнє десятиліття стала найактивнішим та найвпливовішим сегментом на ринку постачальників мовних послуг. Ця тенденція виявляється не лише у збільшенні частки проєктів з локалізації, а й у зміні маркетингових стратегій перекладацьких компаній. Зокрема, терміни «локалізація» та «лінгвіст» поступово витісняють терміни «переклад» та «перекладач». Постачальники послуг перекладу стали приділяти значно більше уваги в маркетинговому дискурсі технічним і технологічним аспектам локалізації, зміщуючи акцент з власне мовної складової проєктів (перекладу у вузькому значенні слова) на такі аспекти локалізації, як робота з кодом, інжиніринг веб-сайтів, пошукова оптимізація (локалізація ключових слів), управління проєктами, оцінка якості тощо.

Розглянуто різновиди мовної локалізації: технічна (забезпечення функціонування продукту в умовах певної лінгвокультурної дієвості); часткова (локалізація текстового вмісту без залучення будь-яких інших елементів); паперова («коробкова» локалізація, перекладу підлягає лише вміст продукту); поверхнева – (додавання інформації про розробника, логотип та знак авторського права, компанії-локалізатора).

Найефективніший шлях інтеграції проблематики, пов'язаної з мовною локалізацією, у програми підготовки майбутніх перекладачів передбачає, з одного боку, розширення спектру теоретичних та прикладних питань перекладознавства, а з іншого – створення міждисциплінарних програм підготовки у тісній взаємодії з фахівцями у галузях комп'ютерної лінгвістики, людино-комп'ютерної взаємодії, веб-інжинірингу та веб-дизайну. Така підготовка передбачає ознайомлення студентів із веб-технологіями, які стосуються локалізації, а також вивчення процесів локалізації з позицій перекладача, керівника проєкту та інженера у галузі локалізації.

Враховуючи тренд, що формується, і попит на локалістів в українському і міжнародному цифровому сегменті, перспективи подальших досліджень вбачаємо у всебічному вивченні специфіки мовної локалізації в межах підготовки майбутніх перекладачів.

Ключові слова: професійна підготовка, майбутні перекладачі, локалізація, мовна локалізація, переклад.

Yuliia HOLOVATSKA

Associate Professor at the Department of Theory and Practice of Translation, Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, 2 Maksyma Kryvonosa St., Ternopil, Ukraine, 46000

ORCID: 0000-0002-7740-9432

To cite this article: Holovatska, Yu. (2023). Training of future translators for language localization as an innovative type of translation activity. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 89–94, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-12>

TRAINING OF FUTURE TRANSLATORS FOR LANGUAGE LOCALIZATION AS AN INNOVATIVE TYPE OF TRANSLATION ACTIVITY

It has been established that the localization industry has become the most active and influential segment in the market of language service providers in the last decade. This trend is manifested not only in the increase in the share of localization

projects, but also in the change of marketing strategies of translation companies. In particular, the terms “localization” and “linguist” are gradually replacing the terms “translation” and “translator”. Translation service providers began to pay much more attention in the marketing discourse to the technical and technological aspects of localization, shifting the emphasis from the actual language component of projects (translation in the narrow sense of the word) to such aspects of localization as working with code, website engineering, search engine optimization (localization keywords), project management, quality assessment, etc.

Types of language localization are considered: technical (ensuring the functioning of the product in the conditions of a certain linguistic and cultural reality); partial (localization of text content without involving any other elements); paper (“box” localization, only the content of the product is subject to translation); superficial – (adding information about the developer, logo and copyright sign, localizer company).

The most effective way to integrate issues related to language localization into training programs for future translators involves, on the one hand, expanding the range of theoretical and applied translation studies, and on the other hand, creating interdisciplinary training programs in close cooperation with specialists in the fields of computer linguistics, human-computer interaction, web engineering and web design. Such training involves familiarizing students with web technologies related to localization, as well as studying localization processes from the positions of a translator, a project manager, and an engineer in the field of localization.

Taking into account the emerging trend and the demand for localizers in the Ukrainian and international digital segment, we see the prospects for further research in a comprehensive study of the specifics of language localization within the framework of training future translators.

Key words: professional training, future translators, localization, language localization, translation.

Актуальність проблеми. Інтенсивне впровадження нових інформаційних технологій в освітній процес лінгвістів-перекладачів сприяло появі нових, актуальних завдань, які вже сьогодні вимагають вирішення. Одним із таких завдань є завдання професійного перекладу на етапі локалізації певного продукту. Проблеми локалізації все більше цікавлять сучасних науковців, які розглядають цей науковий об’єкт з різних аспектів: як важливий інструмент просування бізнесу, засіб автоматизації процесів адаптування певного продукту під цільову локаль, а також у контексті лінгвокультурологічних та прагматичних аспектів перекладу текстового контенту веб-сайтів компаній, університетів, музеїв, бібліотек тощо (Бондаренко, & Бондаренко, 2023). Проблеми міжкультурної та міжмовної локалізації також досліджуються в межах підготовки перекладачів до нових викликів та розвитку у них необхідних компетентностей (Declercq, 2011; Mangiron, & O’Hagan, 2016) у тісній взаємодії з фахівцями у галузях комп’ютерної лінгвістики, людино-комп’ютерної взаємодії, веб-інжинірингу та веб-дизайну.

Відтак, на сучасному етапі ключову роль в процесі адаптації даних відіграють перекладачі, які займаються локалізацією продуктів, тоді як «продуктом» є будь-який товар чи послуга. Варто зазначити, що цей процес є дуже об’ємним і складнішим, ніж власне процес мовного перекладу, оскільки потрібно враховувати культурні, технічні та лінгвістичні

аспекти. Тому проблема підготовки майбутніх перекладачів до мовної локалізації як інноваційного виду перекладацької діяльності видається досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасних наукових пошуках існує значна кількість досліджень, які розкривають специфіку підготовки майбутніх перекладачів, зокрема: розглянуто процес формування перекладацької культури (А. Козак); особливості підготовки технічних перекладачів (С. Панова); питання формування професійної компетентності перекладача засобами інформаційно-комунікаційних технологій (А. Рогульська, А. Янковець); шляхи формування професійного світогляду перекладача (Ж. Таланова); формування професійної спрямованості майбутніх перекладачів у дистанційному навчанні (Т. Бочарникова); формування полікультурної компетентності майбутніх перекладачів з використанням технологій дистанційного навчання (М. Моцар); теорію і методику професійної підготовки майбутніх перекладачів до здійснення усного двостороннього науково-технічного перекладу (І. Сімкова) та ін.

У сучасній педагогічній науці і професійній освіті одним із актуальних напрямів є вивчення поняття «локалізації» в контексті світових бізнес-процесів у сфері ІКТ та лінгвістичних послуг (М. Бернал-Меріно (M. Bernal-Merino) та ін.); локалізації програмного забезпечення (Н. Кожемяченко, Т. Чрділелі, Дж. Рут’єр (J. Roturier) та ін.); перекладу веб-сайтів (Н. Блинова, В. Павленко, Т. Чечур, М. Хіменес-Креспо

(М. Jiménez-Crespo), Л. Паувел (L. Pauwels) та ін.); локалізації відеоігор (А. Красуля, Ф. Косталес (F. Costales), Дж. Медіган (J. Madigan) та ін). Однак недостатньо досліджені питання, що актуалізують необхідність підготовки майбутніх перекладачів до мовної локалізації як інноваційного виду перекладацької діяльності.

Мета статті полягає в обґрунтуванні необхідності підготовки майбутніх перекладачів до мовної локалізації як інноваційного виду перекладацької діяльності та системотвірного чинника формування у них готовності до безпосереднього здійснення локалізації.

Методи дослідження. Для досягнення мети застосовані наукові методи: аналіз психолого-педагогічної літератури на тему дослідження; теоретичний аналіз та систематизація теоретичних даних; абстрагування, систематизація, порівняння та зіставлення, теоретичний аналіз та узагальнення даних науково-методичної літератури щодо вивчення наукового фонду; семантичний, лінгво-прагматичний та лінгвостилістичний аналіз тексту; а також комплексний аналіз локалізації українських продуктів іншомовної цільової аудиторії.

Виклад основного матеріалу. Термін «локалізація» з'явився порівняно нещодавно: наприкінці минулого століття в англomовному професійному співтоваристві почало вживатися поняття «транскреация» (англ. «transcreation»), тобто адаптація мовних елементів бренду, що відображають його зміст, послання цільовій аудиторії для збереження основного змісту, контексту, ідеї бренду під час інтеграції в інший мовний простір (Ardelean, 2014). Нині цей процес прийнято називати локалізацією (Bernal-Merino, 2013, с. 56).

Однак варто відзначити, що загальна ідея локалізації не є чимось новим. Адаптація текстів до культурних, соціальних та інтелектуальних потреб і очікувань цільової аудиторії була звичайною практикою протягом усієї літературної історії (Селіванова, 2012). У широкому розумінні як «адаптація» локалізація охоплює будь-який тип міжмовної або внутрішньомовної переробки або переписування текстів, зокрема культурне приручення, адаптацію п'єс для дітей або романів для трансляції (Рум, 2004, с. 4–5). У перекладознавстві такі попередні спостереження не перетворилися на будь-яку систематичну структуру та застосовуються

за аналогією з «власне» локалізацією, яка традиційно обмежувалася цифровими продуктами, технологіями перекладу та управлінням проектами (Верменич, 2021).

Як зазначає Routledge Encyclopedia of Translation Studies, «важливо підкреслити, чим локалізація відрізняється від попередніх подібних видів діяльності, а саме те, що вона має справу з цифровим матеріалом. Щоб бути адаптованим або локалізованим, цифрові матеріали потребують інструментів і технологій, навичок, процесів і стандартів, які відрізняються від тих, які необхідні для адаптації традиційних матеріалів, таких як паперовий друк або целулоїд» (Schäler, 2009, с. 157). Це обмеження зроблено не просто так.

Локалізація виникла в 1980-х роках в індустрії програмного забезпечення та поступово охопила інші цифрові продукти, зокрема вебсайти, відеоігри, невеликі пристрої тощо. З іншого боку, протягом трьох десятиліть концепція локалізації розширилася й охопила нецифрові та невербальні питання адаптації продукту, які часто розглядаються крізь «допоміжну» термінологію – транскреация, переписування, версії або транс репрезентація (Jiménez-Crespo, 2013, с. 144). Однак видається, що концептуальний потенціал терміну «локалізація» перевищує всі інші варіанти позначення мовних, культурних, соціальних, економічних, політичних, правових аспектів адаптації продукту, і йому все більше віддають перевагу в промисловості, пов'язаних дослідженнях, наукових колах і навіть перекладах (Rebrii, & Demetska, 2020).

У сучасній лінгвістиці поняття «локалізація» трактується як один із процесів, що відображає набір практик і технік адаптації оригінального тексту для відповідності новому лінгвотопу, однак останнім часом локалізацію розглядають як окремий науково-практичний напрямок. Тому можемо констатувати, що нині у світі відбувається зіткнення двох феноменів: з одного боку – це локалізація програмного забезпечення з утиском на технічні навички та технічну складність для перекладачів, а з іншого боку – локалізація контенту з утиском на лінгвістичні навички та технічну простоту для перекладачів.

Оскільки Інтернет все більше поєднує платформу та контент, галузь локалізації повинна адаптувати свої процеси, стандарти якості та

підхід до визначення ресурсів до цих нових вимог (Mazur 2007, с. 340–353). Термін «локалізація» виник з метою позначити те, що не «вписується» в традиційні межі перекладу (заміна тексту однією мовою еквівалентним текстом іншою мовою) (Блинова, & Павленко, 2022). Тобто локалізація – це операція, в якій зазвичай можуть брати участь програмісти та перекладачі. Етапів локалізації багато. Від підтримки мови та національних стандартів за датами, часом, символами валюти, системами заходів та перекладу документації і текстів в інтерфейсі програми на цільову мову, до урахування національного менталітету та особливостей податкового законодавства цільової країни (Ardelean, 2014).

Прикладом фундаментального підходу є діяльність компанії Майкрософт з локалізації своїх продуктів для багатьох країн світу. Мовний портал Майкрософт, присвячений локалізації, містить:

1) понад 100 посібників з локалізації (зведення правил та вимог до стилю для певної мови, рекомендації з локалізації, відомості щодо стилістичних норм та мови технічної документації, інформація щодо регіональних стандартів та специфіки певної мови);

2) термінологічну базу (основний глосарій), яку варто застосовувати для розробки локалізованих версій програм, що інтегруються з продуктами Майкрософт;

3) переклади та глосарії рядків (переклади елементів) інтерфейсу користувача;

4) велику колекцію безкоштовних мовних інструментів та довідкових матеріалів для створення програм різними мовами (Jiménez-Crespo, 2013).

Коли йдеться про локалізації, як правило, заздалегідь відомі потенційні споживачі продукту, їхні культурні та соціальні особливості, такі як менталітет, гумор, діалекти, пріоритети, цінності та, звичайно ж, географічне положення. Головна мета – зробити так, щоб одержувач повірив, що продукт був створений його рідною мовою (Declercq, 2011). Процес здійснення мовної локалізації варто розділити на два етапи – повний переклад вмісту продукту та подальше пристосування результатів роботи згідно з лінгвокультурними та національними особливостями цільової країни (а не лише конкретно взятої області або регіону, тим самим підкреслюючи масштаб, обсяг роботи та рівень

відповідальності з боку компанії-локалізатора). Отже, спершу відбувається переклад продукту з усіма його компонентами, а далі – його адаптація. Таким чином, мовна локалізація є комплексною системою, що поєднує результати обох процесів у сукупності, а не окремо.

З огляду на це, варто звернутися до досліджень, в яких виокремлюються такі різновиди мовної локалізації: *технічна* – забезпечення функціонування продукту в умовах певної лінгвокультурної дійсності; у межах такої локалізації продукт технічно адаптується; *повна* – охоплює всі структурні елементи продукту; *часткова* – локалізація текстового вмісту без залучення будь-яких інших елементів (художніх, аудіовізуальних та інших); *паперова* – також відома як «коробкова» локалізація, перекладу підлягає лише вміст продукту (текст на обкладинці, інструкція, ліцензійна угода тощо; у разі електронної версії продукту перекладається його головна сторінка); *поверхнева* – додавання інформації про розробника, логотип та знак авторського права, компанії-локалізатор (може охоплювати паперову локалізацію) (Mangiron, & O'Hagan, 2016; Smartling, 2021).

Найчастіше процес локалізації, передусім цифрових продуктів, передбачає вирішення таких завдань: переклад керівництва користувача та сценарію, локалізація інтерфейсу користувача та графіки, озвучування, настільні видавничі системи з керівництва користувача, тестування та остаточне забезпечення якості. Тестування локалізованої версії передбачає функціональну перевірку програми та перевірку перекладу (Tomenchuk, & Chechur, 2019). Прийнято виокремлювати три моделі локалізації продуктів:

1) Sim-ship (від англ. simultaneous shipment, безперервна доставка). Унікальність цієї моделі полягає в тому, що локалізація здійснюється одночасно з розробкою продукту;

2) Post-gold є класичним варіантом адаптації готового продукту;

3) «Інтернаціональна» модель або «Final Mix», коли одночасно можуть застосовуватися мова перекладу та оригіналу (Mangiron, & O'Hagan, 2016).

Підсумовуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що мовна локалізація як особливий вид перекладу, сьогодні перебуває на етапі активного розвитку, як на рівні теоретичного

обґрунтування, так і практичного застосування перекладацьких технік. Тому модернізація професійної підготовки майбутніх перекладачів з урахуванням цього набуває особливої актуальності і значущості.

Найефективніший шлях інтеграції проблематики, пов'язаної з мовною локалізацією, у програми підготовки майбутніх перекладачів передбачає, з одного боку, розширення спектру теоретичних та прикладних питань перекладознавства, а з іншого – створення міждисциплінарних програм підготовки у тісній взаємодії з фахівцями у галузях комп'ютерної лінгвістики, людино-комп'ютерної взаємодії, веб-інжинірингу та веб-дизайну. Така підготовка передбачає, передусім, ознайомлення студентів із веб-технологіями, які стосуються локалізації, а також вивчення процесів локалізації з позицій перекладача, керівника проекту та інженера у галузі локалізації.

Висновки. Таким чином, підбиваючи підсумки статті узагальнюємо:

– по-перше, локалізація є об'ємним складним процесом, що охоплює переклад, але не обмежується ним;

– по-друге, вимоги до локалізації та стандарти роботи передбачають обов'язкове володіння базовими знаннями в галузі програмування, а також навичками роботи з інструментами автоматизованого перекладу. Також перекладач повинен бути в курсі основних трендів поп-культури, оцінювати, що подобається і не подобається аудиторії, розуміти цільовий ринок і мати найширші компетентності в галузі лінгвокультурології;

– по-третє, локалізація є мультидисциплінарним процесом, багатовимірність якого безпосередньо залежить від кінцевої мети – повної адаптації продукту (його макет, контент та меседж) до інокультурного споживчого ринку.

Перспективи подальших досліджень у цій галузі зумовлюються тим, що в сучасному динамічному світі локалізація – це нова міжнародна бізнес-стратегія, яка передбачає взаємодію між компаніями та ринками в полікультурному світі. Враховуючи тренд, що формується, і попит на локалістів в українському і міжнародному цифровому сегменті, вважаємо за необхідне всебічне вивчення специфіки мовної локалізації в межах підготовки майбутніх перекладачів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Блинова Н., Павленко В. Локалізація сайту: функціональний та лінгвістичний аспекти. *Communications and Communicative Technologies*. 2022. Вип. 22. С. 15–25.
2. Бондаренко О. С., Бондаренко К. Л. Професійний профіль перекладача-локалізатора в українських програмах підготовки перекладачів. *Наукові записки. Серія: Філологічні науки*. 2023. Вип. 1 (204). С. 13–23.
3. Верменич Я. Глобалізація vs локалізація: діалектика взаємодії у сучасному світі. *Міжнародні зв'язки України: наукові пошуки і знахідки*. 2021. Вип. 30. С. 207–224.
4. Селіванова О. О. Проблема диференціації перекладацьких трансформацій. *Нова філологія*. 2012. Вип. 50. С. 201–208.
5. Ardelean C. *Localization: the new challenge for translators: A course for 1st year Master studies*. Bucuresti: Editura Conspres, 2013. 83 p.
6. Bernal-Merino M. A. *The Localization of Videogames*. PhD Thesis. London: Imperial College, 2013. 256 p.
7. Declercq C. Advertising and localization. In K. Malmkjær and K. Windle (Eds.), *The Oxford Handbook of Translation Studies*. Oxford; New York: Oxford University Press, 2011. P. 262–274.
8. Jiménez-Crespo M. A. *Translation and Web Localization*. London: routledge, 2013. 244 p.
9. Mangiron C., O'Hagan M. Game Localisation: Unleashing Imagination with «Restricted» Translation. *The Journal of Specialised Translation*. 2016. Vol. 6. P. 10–21.
10. Mazur I. The Metalanguage of Localization: Theory and Practice. *Target*. 2007. Vol. 19 (2). P. 340–353.
11. Pym A. *The Moving Text – Localization translation, and distribution*. Amsterdam, Philadelphia P.A.: John Benjamins, 2004. 223 p.
12. Rebrii O., Demetska V. Adaptation, association, and analogy: triple A of the translator's decision-making. *East European Journal of Psycholinguistics*. 2020. Vol. 7 (2). P. 231–242.
13. Schäler R. Localization, In *The Routledge Encyclopaedia of Translation Studies*. [Second edition]. London, New York: Routledge, 2009. P. 157–161.
14. Smartling. Translation vs Localization: How is Translation Different from Localization? 2021. URL: <https://www.smartling.com/resources/101/how-is-translation-different-from-localization/> (accessed 04.10.2023).

15. Tomenchuk M. & Chechur T. Website localization and translation. *Науковий вісник Ужгородського університету: серія: Філологія*. 2019. Vol. 2 (42). P. 96–99.

REFERENCES:

1. Blynova, N., & Pavlenko, V. (2022). Lokalizatsiia сайту: funktsionalnyi ta linhvistychnyi aspekty [Site localization: functional and linguistic aspects]. *Communications and Communicative Technologies*, 22, 15–25 [in Ukrainian].
2. Bondarenko, O. S., & Bondarenko, K. L. (2023). Profesiynyi profil perekladacha-lokalizatora v ukrainskykh prohramakh pidhotovky perekladachiv [Professional profile of a translator-localizer in Ukrainian translator training programs]. *Naukovi zapysky. Serii: Filolohichni nauky – Proceedings. Series: Philological sciences*, 1 (204), 13–23 [in Ukrainian].
3. Vermenych, Ya. (2021). Hlobalizatsiia vs lokalizatsiia: dialektyka vzaiemodii u suchasnomu sviti [Globalization vs localization: the dialectic of interaction in the modern world]. *Mizhnarodni zviazky Ukrainy: naukovi poshuky i znakhidky – International relations of Ukraine: scientific research and findings*, 30, 207–224 [in Ukrainian].
4. Selivanova, O. O. (2012). Problema dyferentsiatsii perekladatskykh transformatsii [The problem of differentiation of translation transformations]. *Nova filolohiia – New philology*, 50, 201–208 [in Ukrainian].
5. Ardelean C. (2014). *Localization: the new challenge for translators*. [A course for 1st year Master studies]. Bucuresti: Editura Conspress, 83 [in English].
6. Bernal-Merino, M. A. (2013). *The Localization of Videogames*. PhD Thesis. London: Imperial College, 256 [in English].
7. Declercq, C. (2011). Advertising and localization. In K. Malmkjær and K. Windle (Eds.), *The Oxford Handbook of Translation Studies* (pp. 262–274). Oxford; New York: Oxford University Press [in English].
8. Jiménez-Crespo, M. A. (2013). *Translation and Web Localization*. London: routledge, 244 [in English].
9. Mangiron, C., & O'Hagan, M. (2016). Game Localisation: Unleashing Imagination with «Restricted» Translation. *The Journal of Specialised Translation*, 6, 10–21 [in English].
10. Mazur, I. (2007). The Metalanguage of Localization: Theory and Practice. *Target*, 19 (2), 340–353 [in English].
11. Pym, A. (2004). *The Moving Text – Localization translation, and distribution*. Amsterdam, Philadelphia P.A.: John Benjamins, 223 [in English].
12. Rebrii, O., & Demetska, V. (2020). Adaptation, association, and analogy: triple A of the translator's decision-making. *East European Journal of Psycholinguistics*, 7 (2), 231–242 [in English].
13. Schäler, R. (2009). Localization, In *The Routledge Encyclopaedia of Translation Studies*. [Second edition]. (157–161). London, New York: Routledge [in English].
14. Smartling, (2021). Translation vs Localization: How is Translation Different from Localization? URL: <https://www.smartling.com/resources/101/how-is-translation-different-from-localization/> (accessed 04.10.2023) [in English].
15. Tomenchuk, M. & Chechur, T. (2019). Website localization and translation. *Scientific bulletin of Uzhhorod University: series: Philology*, 2(42), 96–99 [in English].

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ

УДК 378.147:004

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-13>

Лариса МАРУШКО

кандидат хімічних наук, доцент, декан факультету хімії та екології, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Бібліографічний опис статті: Марушко, Л. (2023). Інформаційне освітнє середовище ЗВО як дієвий інструмент диференціації та індивідуалізації підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 95–101, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-13>

ІНФОРМАЦІЙНЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ЗВО ЯК ДІЄВИЙ ІНСТРУМЕНТ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ТА ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Сучасні тенденції розвитку суспільства та стан сучасної освіти вимагають нових підходів до розвитку освітнього середовища, яке, по суті, є підсистемою соціокультурного середовища та сукупністю спеціально організованих педагогічних умов розвитку особистості. Одним із пріоритетів модернізації української освіти, поряд з диференціацією та індивідуалізацією навчання, розглядається інформатизація як процес забезпечення сфери освіти методологією та практикою розробки, оптимального використання сучасних засобів інформаційно-комунікативних технологій. Основним завданням інформатизації освіти є створення єдиного інформаційного освітнього середовища. Інформаційне освітнє середовище доцільно організовувати як інтегровану багатокomпонентну систему, що охоплює компоненти згідно з освітньою, позанавчальною, дослідно-експериментальною та науково-дослідною видами діяльності, а також діяльності з вимірювання, контролю та оцінки результатів навчання, якості освіти.

Встановлено, що перенесення частини освітнього процесу в інформаційне освітнє середовище змінює структуру лекційних, практичних, лабораторних занять (традиційна передача теоретичних знань, їхнє поглиблення та розширення шляхом використання на аудиторному занятті низки нестандартних диференційованих спеціально розроблених завдань із аналізу, узагальнення, систематизації теоретичних знань, вирішення практичних завдань та проведення міні-досліджень, захисту результатів навчальної діяльності тощо). Підвищення якості підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання у нових умовах пов'язане з правильною організацією взаємодії всіх учасників освітнього процесу.

Ключові слова: заклади вищої освіти, професійна підготовка, майбутні учителі природничих спеціальностей, інформаційне освітнє середовище, інформатизація, диференціація та індивідуалізація навчання.

Larysa MARUSHKO

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Chemistry and Ecology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-8373-6747

ResearcherID Web of Science: I-4607-2018

To cite this article: Marushko, L. (2023). Informatsiine osvitnie seredovishche ZVO yak diievyi instrument dyferentsiatsii ta indyvidualizatsii pidhotovky maibutnikh uchyteliv pryrodnychkykh spetsialnostei do profesiinoi diialnosti [Digital educational environment of higher education institutions as an effective tool of differentiation and individualization of the preparation of future teachers of natural science specialties for professional activity]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 95–101, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-3-13>

DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS AS AN EFFECTIVE TOOL OF DIFFERENTIATION AND INDIVIDUALIZATION OF THE PREPARATION OF FUTURE TEACHERS OF NATURAL SCIENCE SPECIALTIES FOR PROFESSIONAL ACTIVITY

Modern trends in the development of society and the state of modern education require new approaches to the development of the educational environment, which in fact is a subsystem of the socio-cultural environment and a set of specially organized pedagogical conditions for personality development. One of the priorities of the modernization of Ukrainian education, along with the differentiation and individualization of education, is digitalization as the process of providing the field of education with methodology, practice of development, optimal use of modern means of information and communication technologies. The main task of digitalization in education is the creation of a unified digital environment of education. It is expedient to organize the digital environment of education as an integrated multi-component system, which includes components of educational, extra-curricular, experimental research and scientific research activities, as well as activities for measuring, monitoring and evaluating the results of studies and of the quality of education.

It was determined that the transfer of part of the education process to the digital environment changes the structure of lecture, practical, laboratory classes (traditional transfer of theoretical knowledge, its deepening and expansion through the use of a number of non-standard, differentiated, specially developed tasks on analysis, generalization, systematization of theoretical knowledge, solving practical tasks and performing mini-projects, presenting the results of educational activities, etc.) Improving the quality of training of future teachers of natural sciences for professional activity on the basis of differentiation and individualization of learning in new conditions is connected with the correct organization of the interaction of all participants in the educational process.

Key words: higher education institutions, professional training, future teachers of natural sciences, digital educational environment, digitalization, differentiation and individualization of education.

Актуальність проблеми. Соціальні, економічні, політичні, інформаційні та технологічні зміни в Україні та світі на початку XXI століття визначили необхідність розробки соціально-педагогічних теорій, пов'язаних із формуванням освітніх систем, зорієнтованих на підготовку кадрового потенціалу для ринків праці в умовах становлення цифрової економіки (Савіцька, 2022). Розвиток техніки та технологій формує абсолютно нові інноваційні ринки, які надають користувачам та споживачам сучасні послуги та технологічні рішення. Реформування вищої освіти на сучасному етапі пов'язується зі становленням та розвитком багаторівневої освіти (Коренева, 2018), запровадженням компетентнісного підходу (Блашкова, 2019; Соловей, 2018), з інформатизацією (Алексєєва, 2022), з використанням кредитно-модульної системи (Кобернік, & Цуруль, 2010), бально-рейтингових систем оцінки компетентностей (Линник, 2013).

Компетентнісна модель вищої педагогічної освіти вимагає перегляду традиційної методичної системи навчання, спрямованої на засвоєння масивів знань, і створює умови для підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей, здатних усвідомлено сприймати безперервно мінливі умови професійної діяльності, вирішуючи професійні завдання.

Водночас, у сучасній вищій освіті спостерігається загальне скорочення аудиторного наван-

таження, що спричиняє збільшення частки позааудиторної самостійної роботи студентів. Цей факт зумовлює необхідність трансформації освітнього процесу таким чином, щоб найефективніше організувати освітню діяльність студентів, зокрема у напрямі підвищення якості диференційованої та індивідуалізованої позааудиторної самостійної роботи та самоосвітньої діяльності. Відтак, підготовку майбутніх учителів природничих спеціальностей необхідно перетворити на цілісний керований процес самонавчання.

Вирішення цієї проблеми можливе за допомогою впровадження у процес підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей диференційованої системи навчання компетентнісного формату з використанням інноваційних комплексів освітніх технологій змішаного навчання в інформаційному освітньому середовищі ЗВО, що дасть змогу створити умови для індивідуалізації реалізації основних освітніх програм вищої освіти та досягнення нових освітніх результатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасній педагогічній науці і професійній освіті накопичено значний науковий потенціал з проблематики професійної підготовки майбутніх учителів (В. Андрущенко, Н. Бібік, І. Бех, І. Дичківська, О. Дубасенюк, О. Савченко, С. Сисоєва та ін.), досвіду підготовки

майбутніх учителів природничих наук із позиції соціально-професійно зумовлених вимог (О. Біляковська, М. Гриньова, А. Коломієць, Н. Москалюк, Н. Петрова, Г. Тарасенко, О. Ярошенко та ін.), формування компетентнісного фахівця природничої галузі освіти (Л. Барна, Н. Грицай, В. Оніпко, С. Совгіра, О. Тімець, Ю. Шапран та ін.); використання сучасних інформаційних засобів у процесі підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей (А. Гура, Л. Романишина, О. Шквир, Н. Казакова та ін.). Однак недостатньо досліджено питання, що відображають системне впровадження в підготовку майбутніх учителів природничих спеціальностей диференційованого змішаного навчання в умовах інформатизації освіти.

Мета статті полягає в обґрунтуванні необхідності застосування сучасних інтегрованих педагогічних та інформаційних технологій змішаного навчання в інформаційному освітньому середовищі ЗВО як дієвого інструменту диференціації та індивідуалізації підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності.

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. Сучасні зміни, що відбуваються у суспільстві, зумовили необхідність модернізації існуючої системи освіти. У сучасних умовах гостро постає питання підготовки компетентних фахівців (Блашкова, 2019, с. 185). Цільовою спрямованістю є формування професіоналів, які володіють спеціальною інформацією, вміють орієнтуватися в інноваційному просторі, бути мобільними, освоювати нові технології, постійно самовдосконалюватися. У Проєкті Концепції розвитку освіти України на період 2015–2025 років одним із пріоритетних завдань є застосування інноваційного характеру вищої освіти шляхом реалізації компетентнісного підходу, взаємозв'язку академічних знань та практичних умінь.

Компетентнісний підхід, спрямований на підвищення якості професійної освіти за допомогою подолання розриву між теорією та прак-

тикою, створює необхідні умови для гармонійного розвитку особистості фахівця (Соловей, 2018). Стандарти вищої освіти України нового покоління пов'язують модернізацію із впровадженням інформаційних технологій і загалом з інформатизацією сучасної освіти. Тому актуалізується необхідність застосування в освітньому процесі ЗВО інформаційного освітнього середовища, побудови освітнього процесу та організації взаємодії всіх учасників освітнього процесу в інформаційному освітньому середовищі.

Розглядаючи середовище як освітній чинник, необхідно звернутися до наукових пошуків, спрямованих на вивчення освітнього середовища. Так, на думку О. Ярошинської, освітнє середовище є сукупністю умов, у яких розгортається освітній процес і з яким вступають у взаємодію суб'єкти цього процесу; це система впливів та умов формування особистості, а також можливостей для її розвитку, що містяться в соціальному та просторово-предметному оточенні (Ярошинська, 2016, с. 207). Основними атрибутивними властивостями освітнього середовища є здатність до самовдосконалення, адаптивність, ієрархічність, структурність, цілісність, сумісність/несумісність з іншими системами (рис. 1).

Водночас, сучасний розвиток суспільства супроводжується появою в освітньому середовищі нових компонентів, а також наповненням новими значеннями існуючих і досі незатребуваних (Савіцька, 2022). Тому реформування освітньої системи на сучасному етапі пов'язані з процесом її інформатизації. Актуальні проблеми освіти вимагають свого вирішення шляхом застосування комп'ютерних технологій, спрямованих на підвищення ефективності та якості освітнього процесу (Романишина, Шквир, & Казакова, 2021). Стрімкі розробки в сфері інформатизації освітнього середовища, розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (Shunkov, Marushko, Mykhailov, Lutsenko & Teslenko, 2023) спричинили виникнення в педагогічній літературі останніх десятиліть низки термінів, зокрема: «інформаційно-комунікаційне середовище», «інформаційно-освітнє середовище», «електронне інформаційно-освітнє середовище» тощо.

У сучасному освітньому та науковому співтоваристві найпоширенішим є термін

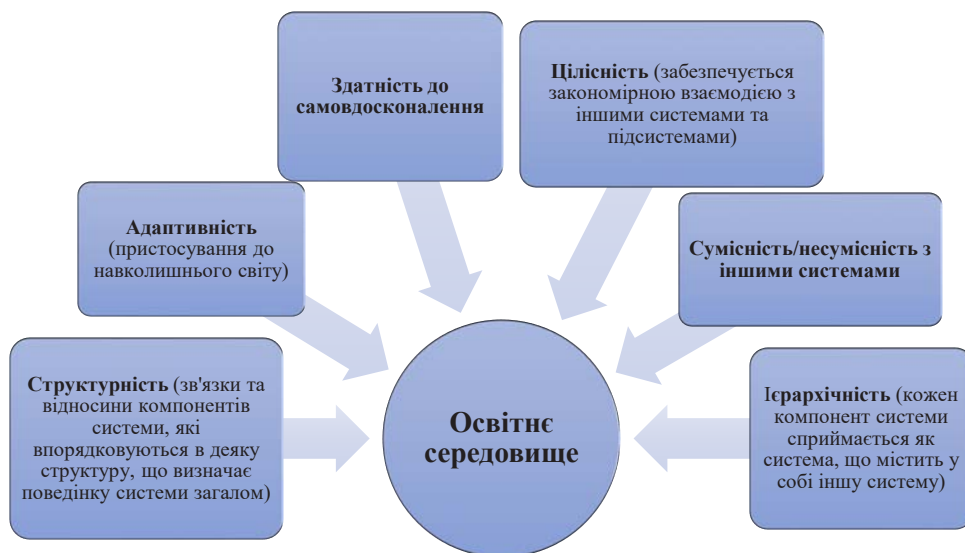


Рис. 1. Основні атрибутивні властивості освітнього середовища

«інформаційне освітнє середовище» (ІОС). Так, І. Безноско розглядає ІОС як єдиний інформаційно-освітній простір, що ґрунтується на інтеграції інформації традиційних та електронних носіїв, комп'ютерно-телекомунікаційних технологій взаємодії (навчально-методичні комплекси, розширений апарат дидактики, віртуальні бібліотеки, розподілені бази даних (Безноско, 2020). На сучасному етапі інформаційне освітнє середовище стає невід'ємною частиною освітнього процесу будь-якого ЗВО, а високотехнологічні засоби інформатизації, які надає ІОС, значна кількість дослідників розглядають як способи вдосконалення та модернізації освітнього процесу шляхом використання «можливостей ІКТ, здатних ефективно організувати індивідуальну роботу студента, колективну діяльність, а також інтегрувати різні форми та стратегії освоєння знань з дисципліни (Гура, 2018).

У межах дослідження особливості такого середовища полягає в тому, що підготовка майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання передбачає самоосвітню навчальну діяльність в інформаційному освітньому середовищі. Відбувається перерозподіл окремих освітніх актів з формування готовності до професійної діяльності між самоосвітньою діяльністю в ІОС, охоплюючи її електронний компонент та освітньою діяльністю в аудиторний час.

Цілісність підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання виявляється у тому, що навчальна позааудиторна діяльність в інформаційному освітньому середовищі стає тотожною освітньому процесу (Савіцька, 2022). Логічність та послідовність усіх етапів освітньої діяльності студента є запорукою успішності функціонування педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання.

Основними критеріями ІОС є задоволення інформаційних потреб чотирьох груп користувачів, які перебувають у взаємодії із цим середовищем: студентів, викладачів, співробітників структурних підрозділів ЗВО, зовнішніх користувачів ІОС (рисунок 2). Основними інформаційними запитами студентів є інформаційні матеріали, які розповсюджуються за допомогою сайту ЗВО, а також електронних інформаційних ресурсів електронної бібліотеки освітньої організації та зовнішньої електронної бібліотечної системи. Все більшого значення для студентів в освітньому процесі набуває використання дистанційних освітніх технологій (Безноско, 2020). З'являється новий елемент ІОС – це створення та ведення портфоліо (Гарбузенко, & Омеляненко, 2021).



Рис. 2. Основні групи користувачів в інформаційному освітньому середовищі ЗВО

Викладач є учасником створення ІОС (електронних матеріалів, програм), а також використовує середовище для ведення освітньої діяльності. Важливим критерієм якості ІОС для співробітників структурних підрозділів ЗВО є наявність системи електронного документообігу, який автоматизує всі основні функціональні операції у ЗВО (Петренко, 2016). Категорія зовнішніх користувачів ІОС охоплює кілька підгруп, що відрізняються за видом інформаційних потреб: потенційні абітурієнти ЗВО; користувачі, що виконують функції контролюючих органів.

Виконуючи функцію джерела знань, ІОС одночасно є засобом організації та контролю пізнавальної діяльності студентів. Компетентно вибудована система бально-рейтингового контролю створює умови для безперервної диференційованої підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності (в аудиторний та позааудиторний час), оскільки оцінюються всі види навчальної діяльності студентів.

Зазначимо, що створення сприятливих умов для самоосвітньої діяльності студентів у ІОС є важливим чинником динамічного функціонування педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання.

Подання навчального матеріалу у вигляді, що полегшує сприйняття інформації, інформативність відеозаписів, структурна доступність ІОС, можливість асинхронної взаємодії учасників освітнього процесу спрямовані на формування інтересу до пізнавальної діяльності та створення успіху у навчальній діяльності студентів (Гура, 2018). Збільшення темпу навчання відбувається у міру засвоєння знань, з допомо-

гою ускладнення навчального матеріалу, різноманітності видів навчальної діяльності, ускладнення контролю.

Таким чином, інформаційне освітнє середовище підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання принципово відрізняється від аналогічних освітніх середовищ у структурному та функціональному аспектах. ІОС є не лише джерелом знань, а й високоорганізованим середовищем для обов'язкової диференційованої самоосвітньої діяльності студентів. Відкритість середовища для всіх учасників освітнього процесу дає змогу розглядати ІОС як відкриту самоорганізовану систему, в якій можлива корекція та доповнення її змісту та структури.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Відтак, сформулюємо низку положень щодо формування та розвитку інформаційного освітнього середовища ЗВО:

1. Створення інформаційного освітнього середовища ЗВО спрямоване на вдосконалення педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання шляхом наповнення новим змістом та новою організацією освітнього процесу.

2. Інформаційне освітнє середовище ЗВО є за змістом та структурою навчального матеріалу інтеграцією середовища – програми організації освітньої діяльності та середовища-конструктора.

3. Формування технологічного блоку інформаційного освітнього середовища відбувається з використанням сукупності сучасних інтегрованих педагогічних та інформаційних технологій змішаного навчання.

4. Позааудиторна самостійна робота студентів в ІОС є невід’ємним етапом освітнього процесу, відбувається зміна рівня організації освітньої діяльності студентів, що носить характер самоосвіти.

5. Інформаційне освітнє середовище охоплює змістовий та технологічний компоненти, які спрямовані на забезпечення освітньої діяльності студентів зі створення внутрішнього (компоненти готовності до професійної діяльності) та зовнішнього (дослідження, проекти) освітнього продукту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Алексеева, С. В. (2022). Актуальні проблеми дидактики в умовах інформатизації освіти: індивідуалізація навчання. *Наука і техніка сьогодні*, 1 (1), 18–26.
2. Безноско, І. (2020). Використання інформаційно-комунікаційних технологій у процесі підготовки фахівців природничо-математичних спеціальностей. *Актуальні питання гуманітарних наук*, 28, 144–148.
3. Блашкова, О. (2019). Ключові компетентності майбутніх вчителів природничих спеціальностей та їх вплив на формування світоглядних орієнтирів сучасної студентської молоді. *Молодь і ринок*, 5 (172), 184–189.
4. Гарбузенко, Л. В., & Омеляненко, С. В. (2021). Рефлексивне портфоліо у професійній підготовці майбутніх фахівців. *Наукові записки Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка: Серія педагогічна*, 192, 48–53.
5. Гура, А. Н. (2018). Інформаційно-комунікаційні технології в підготовці майбутніх учителів природничих спеціальностей. *Молодий вчений*, 7 (59), 64–66.
6. Кобернік, С. Г., & Цуруль, О. А. (2010). Наукове обґрунтування та проектування самостійної роботи студентів з методичних дисциплін природничого профілю в умовах кредитно-модульної системи навчання. *Збірник наукових праць Глухівського національного педагогічного університету ім. О. Довженка. Серія 5. Педагогічні науки*, 15, 333–338.
7. Коренева, І. М. (2018). Концепція підготовки майбутніх вчителів біології до реалізації функцій освіти для сталого розвитку. *Педагогічні науки*, 82 (2), 148–153.
8. Линник, Ю. (2013). Структура та способи оцінки рівня розвитку професійної компетентності вчителів природничих спеціальностей. *Гуманітарний вісник Державного вищого навчального закладу «Переяслав-Хмельницький державний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди»*. *Педагогіка. Психологія. Філософія*, 28 (2), 170–177.
9. Петренко, С. (2016). Самостійна робота студентів фізико-математичного факультету в умовах кредитно-модульної системи навчання. *Наукові записки. Серія: проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*, 5, 47–51.
10. Проект Концепції розвитку освіти України на період 2015–2025 років. Взято з: http://tnpu.edu.ua/EKTS/proekt_koncept.pdf
11. Романишина, Л., Шквир, О., & Казакова, Н. (2021). Інформаційно-комунікаційні технології в підготовці майбутніх учителів природничих спеціальностей. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, 6 (110), 352–360.
12. Савіцька, В. В. (2022). *Теоретико-методологічні основи проектування освітнього процесу у закладах вищої освіти в умовах цифровізації*. Інноваційні технології навчання в умовах модернізації сучасної освіти, Л. Ребуха (ред.) (с. 67–83).
13. Соловей, Л. В. (2018). *Формування ключових компетентностей майбутніх учителів природничих спеціальностей у фаховій підготовці*. (Дис. ... канд. пед. наук зі спеціальності 13.00.04). Класичний приват. ун-тет. Запоріжжя, 306.
14. Ярошинська, О. О. (2016). *Теоретичні і методичні засади проектування освітнього середовища професійної підготовки майбутніх учителів початкової школи*. (Дис. ... д-ра пед. наук зі спеціальності 13.00.04). Уманський держ. пед. ун-тет ім. П. Тичини. Умань, 543.
15. Shunkov, V., Marushko, L., Mykhailov, V., Lutsenko, Y., & Teslenko, S. (2023). Ways of implementing information technologies in professional training of future specialists. *Amazonia Investiga*, 12(62), 140–148.

REFERENCES:

1. Aliksieieva, S. V. (2022). Aktualni problemy dydaktyky v umovakh informatyzatsii osvity: indyvidualizatsiia navchannia [Actual problems of didactics in the conditions of informatization of education: individualization of training]. *Nauka i tekhnika sohodni – Science and technology today*, 1 (1), 18–26 [in Ukrainian].
2. Beznosko, I. (2020). Vykorystannia informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii u protsesi pidhotovky fakhivtsiv pryrodnycho-matematychnykh spetsialnostei [The use of information and communication technologies in the process of training specialists in natural and mathematical specialties.]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk – Current issues of the humanities*, 28, 144–148.

3. Blashkova, O. (2019). Kliuchovi kompetentnosti maibutnikh vchyteliv pryrodnychkykh spetsialnostei ta yikh vplyv na formuvannya svitohliadnykh oriientyriv suchasnoi studentskoi molodi [Key competences of future teachers of natural sciences and their influence on the formation of worldview orientations of modern student youth]. *Molod i rynek – Youth and the market*, 5 (172), 184–189.
4. Harbuzenko, L. V., & Omelianenko, S. V. (2021). Refleksyvne portfolio u profesiinii pidhotovtsi maibutnikh fakhivtsiv [Reflective portfolio in the professional training of future specialists]. *Naukovi zapysky Tsentralnoukrainskoho derzhavnogo pedahohichnogo universytetu imeni Volodymyra Vynnychenka: Serii pedahohichna – Scientific notes of the Central Ukrainian State Pedagogical University named after Volodymyr Vinnichenko: Pedagogical series*, 192, 48–53.
5. Hura, A. N. (2018). Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii v pidhotovtsi maibutnikh uchyteliv pryrodnychkykh spetsialnostei [Information and communication technologies in the training of future teachers of natural sciences]. *Molodyi vchenyi – A young scientist*, 7 (59), 64–66.
6. Kobernik, S. H., & Tsurul, O. A. (2010). Naukove obruntuvannya ta proektuvannya samostiinoi roboty studentiv z metodychnykh dystsyplin pryrodnychoho profilu v umovakh kredytno-modulnoi systemy navchannia [Scientific substantiation and design of independent work of students in methodological disciplines of natural sciences in the conditions of the credit-module system of education]. *Zbirnyk naukovykh prats Hlukhivskoho natsionalnogo pedahohichnogo universytetu im. O. Dovzhenka. Serii 5. Pedahohichni nauky – Collection of scientific papers of the Glukhiv National Pedagogical University named after O. Dovzhenka. Series 5. Pedagogical sciences*, 15, 333–338.
7. Koreneva, I. M. (2018). Kontsepsiia pidhotovky maibutnikh vchyteliv biolohii do realizatsii funktsii osvity dlia staloho rozvytku [The concept of training future biology teachers to implement the functions of education for sustainable development]. *Pedahohichni nauky – Pedagogical sciences*, 82 (2), 148–153.
8. Lynnyk, Yu. (2013). Struktura ta sposoby otsinky rivnia rozvytku profesiinoi kompetentnosti vchyteliv pryrodnychkykh spetsialnostei [The structure and methods of assessing the level of development of professional competence of teachers of natural sciences.]. *Humanitarnyi visnyk Derzhavnogo vyshchoho navchalnogo zakladu «Pereiaslav-Khmelnitskyi derzhavnyi pedahohichni universytet imeni H. S. Skovorody». Pedahohika. Psykholohiia. Filosofiiia. Filozofiiia – Humanitarian Bulletin of the State Higher Educational Institution "Pereiaslav-Khmelnitskyi State Pedagogical University named after H.S. Skovoroda". Pedagogy. Psychology. Philosophy*, 28 (2), 170–177.
9. Petrenko, S. (2016). Samostiina robota studentiv fizyko-matematychnoho fakultetu v umovakh kredytno-modulnoi systemy navchannia [Independent work of students of the Faculty of Physics and Mathematics in the conditions of the credit-module system of education]. *Naukovi zapysky. Serii: problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity – Proceedings. Series: problems of the methodology of physical, mathematical and technological education*, 5, 47–51.
10. Proiekt Kontseptsii rozvytku osvity Ukrainy na period 2015–2025 rokiv [Project of the Concept of Education Development of Ukraine for the period 2015–2025]. Vziato z: http://tnpu.edu.ua/EKTS/proekt_koncepc.pdf
11. Romanyshyna, L., Shkvyr, O., & Kazakova, N. (2021). Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii v pidhotovtsi maibutnikh uchyteliv pryrodnychkykh spetsialnostei [Information and communication technologies in the training of future teachers of natural sciences.]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii – Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies*, 6 (110), 352–360.
12. Savitska, V. V. (2022). Teoretyko-metodolohichni osnovy proektuvannya osvitnoho protsesu u zakladakh vyshchoi osvity v umovakh tsyfrovizatsii [Theoretical and methodological bases of designing the educational process in institutions of higher education in conditions of digitalization]. *Innovatsiini tekhnolohii navchannia v umovakh modernizatsii suchasnoi osvity – Innovative learning technologies in the conditions of modernization of modern education*, L. Rebukha (red.) (s. 67–83).
13. Solovei, L. V. (2018). *Formuvannya kliuchovykh kompetentnostei maibutnikh uchyteliv pryrodnychkykh spetsialnostei u fakhovii pidhotovtsi [Formation of key competencies of future teachers of natural sciences in professional training]*. (Dys. ... kand. ped. nauk zi spetsialnosti 13.00.04). Klasychnyi pryvat. un-tet. Zaporizhzhia, 306.
14. Yaroshynska, O. O. (2016). *Teoretychni i metodychni zasady proektuvannya osvitnoho seredovyschcha profesiinoi pidhotovky maibutnikh uchyteliv pochatkovoii shkoly [Theoretical and methodological principles of designing an educational environment for professional training of future primary school teachers]*. (Dys. ... d-ra ped. nauk zi spetsialnosti 13.00.04). Umanskyi derzh. ped. un-tet im. P. Tychny. Uman, 543.
15. Shunkov, V., Marushko, L., Mykhailov, V., Lutsenko, Y., & Teslenko, S. (2023). Ways of implementing information technologies in professional training of future specialists. *Amazonia Investiga*, 12(62), 140–148.

ЗМІСТ

ХІМІЯ

Орися БЕРЕЗНЮК, Людмила ПІСКАЧ ВЗАЄМОДІЯ В КВАЗІПОТРІЙНІЙ СИСТЕМІ $Cu_2S - Sb_2S_3 - GeS_2$	3
Жолт КОРМОШ, Леонід ГНІТЕЦЬКИЙ, Андрій КОВАЛЬЧУК, Ігор САХАРУК, Олександр ХРИПЛЮК, Вадим ТЕСУНОВ, Анатолій КРОТ, Степан БОРИСЮК, Людмила ПІСКАЧ, Максим КОРМОШ ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕТАКРИНОВОЇ КИСЛОТИ В ЛІКАРСЬКИХ ФОРМАХ ТА БІОРІДИНАХ СПОРТСМЕНІВ.....	14
Жолт КОРМОШ, Микола ШЕВЧУК, Наталія КОРМОШ, Катерина ЛЮШУК, Світлана КОРОЛЬЧУК, Тетяна САВЧУК, Оксана ЮРЧЕНКО, Людмила ПІСКАЧ, Світлана БОРКОВА ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАФАЗОЛІНУ.....	21
Svitlana BORKOVA, Олександр КОХАН, Мирон РУДИШ, Олександр СМІТЮХ, Олег МАРЧУК СИНТЕЗ ТА СТРУКТУРНА ГОМОГЕННІСТЬ ПІРАРГІРИТУ.....	26
Наталія СЛИВКА, Леся САЛІЄВА, Елла КАДИКАЛО, Тетяна БОРТНІК, Валентина ТОЛМАЧОВА, Олена КОВТУН, Михайло ВОВК ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ (ПІРИДИН-4-ІЛ)ОКСИЗАМІЩЕНИХ ІМІДАЗО[2,1- <i>b</i>][1,3]ТІАЗИНІВ ЯК ІНГІБІТОРІВ РОСТУ CUCUMIS SATIVUS.....	32

ЕКОЛОГІЯ

Оксана АЛПАТОВА, Наталія БОРДЮГ, Олена ГЕРАСИМЧУК, Тетяна КУРБЕТ АНАЛІЗ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО ПІДХОДУ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ.....	41
Людмила ГЕРАСИМЧУК, Руслана ВАЛЕРКО, Василь РОЗГОН, Вікторія МАЛІНОВСЬКА ТЕНДЕНЦІЇ ВИКИДІВ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ, ЯК ЧИННИКА КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН, В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВІД СТАЦІОНАРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЇХ ОБСЯГІВ	49
Ірина ПАЦЕВА, Олена БАРАБАШ, Вікторія МЕЛЬНИК-ШАМРАЙ, Ігор ПАЦЕВ ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ НА СТАН ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	59
Ірина ПАЦЕВА, Анастасія КАГУКІНА АДАПТАЦІЯ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ МІСТА ЖИТОМИР.....	66
Ірина ПАЦЕВА, Людмила НОНІК РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ – КРОК ДО ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКІВ ВОЄННОГО ЕКОЦИДУ...73	
Наталія САМОЙЛЕНКО, Вадим КАТЕНІН, Антоніна САКУН ОСОБЛИВОСТІ ОПЕРАЦІЙ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ФОТОЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УКРАЇНІ У ВОЄННИЙ ПЕРІОД.....	82

ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

Юлія ГОЛОВАЦЬКА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ПЕРЕКЛАДАЧІВ ДО МОВНОЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЯК ІННОВАЦІЙНОГО ВИДУ ПЕРЕКЛАДАЦЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ.....	89
--	----

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ

Лариса МАРУШКО ІНФОРМАЦІЙНЕ ОСВІТНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ЗВО ЯК ДІЄВИЙ ІНСТРУМЕНТ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ТА ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ.....	95
---	----

CONTENTS

CHEMISTRY

- Orysia BEREZNYUK, Lyudmyla PISKACH**
INTERACTIONS IN THE QUASI-TERNARY SYSTEM $Cu_2S-Sb_2S_3-GeS_2$3
- Zholt KORMOSH, Leonid HNITETSKII, Andrii KOVALCHUK, Igor SAKHARUK, Oleksandr HRYPLIUK, Vadym TESUNOV, Anatolii KROT, Stepan BORYSIUK, Lyudmyla PISKACH, Maxim KORMOSH**
PHOTOMETRIC DETERMINATION OF ETHACRYNIC ACID IN DOSAGE FORMS AND BIOFLUIDS OF ATHLETES.....14
- Zholt KORMOSH, Mykola SHEVCHUK, Natalia KORMOSH, Kateryna LYUSHUK, Svitlana KOROLCHUK, Tatiana SAVCHUK, Oksana YURCHENKO, Lyudmyla PISKACH**
POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF NAPHAZOLIN.....21
- Oleksandr KOCHAN, Myron RUDYSH, Oleksandr SMITIUKH, Oleh MARCHUK**
SYNTHESIS AND STRUCTURE HOMOGENEITY OF PYRARGYRITE..... 26
- Nataliia SLYVKA, Lesya SALIYEVA, Ella KADIKALO, Tatiana BORTNIK, Valentyna TOLMACHOVA, Olena KOVTUN, Mykhailo VOVK**
EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF (PYRIDIN-4-YL)OXY SUBSTITUTED IMIDAZO[2,1-b][1,3]THIAZINES AS GROWTH INHIBITORS OF CUCUMIS SATIVUS..... 32

ECOLOGY

- Oksana ALPATOVA, Natalia BORDIUG, Olena HERASYMCHUK, Tetiana KURBET**
ANALYSIS OF WAYS TO IMPROVE THE INTEGRATED APPROACH OF WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF ENSURING SUSTAINABLE WATER USE..... 41
- Liudmyla HERASYMCHUK, Ruslana VALERKO, Vasyl ROZGHON, Viktoriia MALINOVSKA**
TRENDS OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS AS A FACTOR OF CLIMATE CHANGE INTO THE ATMOSPHERIC AIR OF THE ZHYTOMYR REGION FROM STATIONARY SOURCES AND FORECASTING THEIR VOLUMES 49
- Iryna PATSEVA, Olena BARABASH, Viktoriia MELNYK-SHAMRAI, Igor PATSEV**
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FIRES IN NATURAL ECOSYSTEMS ON THE STATE OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE ZHYTOMYR REGION.....59
- Iryna PATSEVA, Anastasiia KAHUKINA**
ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE CITY OF ZHYTOMYR..... 66
- Iryna PATSEVA, Liudmyla NONIK**
RECYCLING OF DESTRUCTION WASTE IS A STEP TOWARDS REDUCING THE RISKS OF MILITARY ECOCIDE.....73
- Nataliia SAMOILENKO, Vadym KATENIN, Antonina SAKUN**
SPECIFICS OF WASTE MANAGEMENT OPERATIONS FOR PHOTOVOLTAIC PANELS IN UKRAINE DURING THE WARTIME.....82

VOCATIONAL EDUCATION

- Yuliia HOLOVATSKA**
TRAINING OF FUTURE TRANSLATORS FOR LANGUAGE LOCALIZATION AS AN INNOVATIVE TYPE OF TRANSLATION ACTIVITY.....89

EDUCATIONAL, PEDAGOGICAL SCIENCES

- Larysa MARUSHKO**
DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS AS AN EFFECTIVE TOOL OF DIFFERENTIATION AND INDIVIDUALIZATION OF THE PREPARATION OF FUTURE TEACHERS OF NATURAL SCIENCE SPECIALTIES FOR PROFESSIONAL ACTIVITY.....95

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 3

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнецова

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 12,09. Замов. № 1123/729. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 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.