

Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 4



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Гулай Любомир Дмитрович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища 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;

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

Казаква 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 лаборант кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

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

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

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

Олексєюк Іван Дмитрович – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Піскач Людмила Василівна – кандидат хімічних наук, професор, професор кафедри хімії та технологій 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 (ЕМРА) (Швейцарія);

Салісва Леся Миколаївна – кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри органічної хімії та фармацевції Волинського національного університету імені Лесі Українки;

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

Смітюх Олександр Вікторович – кандидат хімічних наук, старший лаборант кафедри хімії та технологій 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
23 лютого 2023 р., протокол № 3

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 педагогічних наук (спеціальності 011 – Освітні, педагогічні науки; 015 – Професійна освіта (за спеціалізаціями)) відповідно до Наказу МОН України від 23.12.2022 No 1166 (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, 2022

УДК 544.[344+228]:546.[56+57+29+18+81]'22

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-1>**Орися БЕРЕЗНЮК***аспірант кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025, e-mail: bereznuk.orysia@vnu.edu.ua***Олександр СМІТЮХ***кандидат хімічних наук, старший лаборант кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025, e-mail: Smitiukh.Oleksandr@vnu.edu.ua***ORCID:** 0000-0003-1632-5849**Людмила ПІСКАЧ***кандидат хімічних наук, професор кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025, e-mail: piskach.lyudmyla@vnu.edu.ua***ORCID:** 0000-0003-3117-4006

Бібліографічний опис статті: Березнюк, О., Смітюх, О., Піскач, Л. (2022). Взаємодія по перерізах $\text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$. Проблеми хімії та сталого розвитку. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 3–16, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-1>

ВЗАЄМОДІЯ ПО ПЕРЕРІЗАХ $\text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$

Взаємодію по перерізах $\text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6$ у системах $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ та $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ досліджено методами РФА, РСА, МСА та ДТА.

Переріз $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$ при 300 К є квазібінарним і характеризується значними твердими розчинами: до 30 мол. % включно на основі НТ-модифікації Cu_7PS_6 та від ~9 до 32 мол. % $\text{Cu}_8\text{PS}_6 - \text{BTM}$ обох сполук. Розчинність на основі НТМ Cu_8GeS_6 сягає не більше 5 мол. %. Однак в повному досліджуваному температурному інтервалі переріз не є квазібінарною системою через перитектичний характер плавлення обох вихідних сполук. Спочатку в межах 0-70 мол. % Cu_7PS_6 кристалізуються з розплаву тверді розчини ВТМ- Cu_2S ; далі процес кристалізації продовжується в певному температурному діапазоні реакцією формування однофазної області твердих розчинів $\text{Cu}_{8-x}\text{Ge}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$ кубічної структури (ПГ $F\bar{4}3m$) ВТМ з обох купрумівмісних аргіродитів. Двофазними при кімнатній температурі є області: 5-9 мол. % Cu_7PS_6 (ПГ $Pna2_1 + ПГ F\bar{4}3m$) та 32-69 мол. % Cu_7PS_6 (ПГ $P2_13 + ПГ F\bar{4}3m$).

Системи $\text{Ag}_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ є квазібінарними перерізами відповідних квазіпотрійних систем $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ і характеризуються повною взаємною розчинністю компонентів як у рідкому стані так і в твердому між високотемпературними кристалічними модифікаціями цих сполук ($\text{Ag}_{8-x}\text{Ge}(\text{Sn})_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$) – германієвмісна відноситься до I типу за Розебомом, станумовмісна до III типу за Розебомом з мінімумом при ~65 мол. % Ag_7PS_6 . В підсолідусній області при 300 К між однофазними областями знаходяться двофазні області в системі $\text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ в межах: 25-65 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ $Pna2_1 + ПГ F\bar{4}3m$) та 75-85 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ $P2_13 + ПГ F\bar{4}3m$), в системі $\text{Ag}_8\text{SnS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ в межах: ~25-42 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ $Pna2_1 + ПГ F\bar{4}3m$) та ~65-73 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ $P2_13 + ПГ F\bar{4}3m$).

Утворення твердих розчинів заміщення складів $\text{Cu}_{8-x}\text{Ge}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$ та $\text{Ag}_{8-x}\text{Ge}(\text{Sn})_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$ зі зростанням температури розширює значно область високотемпературної кубічної фази (ПГ $F\bar{4}3m$).

Утворення НТМ твердих розчинів на кожному із трьох перерізів значно знижує температуру поліморфного переходу усіх вихідних сполук.

Ключові слова: рентгенофазовий аналіз, диференційно-термічний аналіз, граничний твердий розчин, евтектична точка.

Orysia BEREZNYUK*Graduate Student at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025, e-mail: bereznuk.orysia@vnu.edu.ua*

Oleksandr SMITIUKH

PhD in Chemistry, Head of Laboratory at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025, e-mail: Smitiukh.Oleksandr@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1632-5849

Lyudmyla PISKACH

PhD in Chemistry, Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025, e-mail: piskach.lyudmyla@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3117-4006

To cite this article: Bereznyuk, O., Smitiukh, O., Piskach, L. (2022). Vzaiemodiia po Pererizakh $\text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$. [Interaction in cross sections $\text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 3–16, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-1>

INTERACTION IN CROSS SECTIONS $\text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$

The interaction along the $\text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6$ polythermal sections in the $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ and $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ systems were investigated by X-ray diffraction, microstructural method and differential thermal analysis.

The $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$ section is quasi-binary at 300 K and characterized by significant solid solution ranges, up to 30 mol. % Cu_8GeS_6 based on HT modification of Cu_7PS_6 and from 9 to 32 mol. % Cu_7PS_6 between LT of both compounds. Solid solubility based on HT- Cu_8GeS_6 does not exceed ~5 mol. %. However, the section is not a quasi-binary system in the entire studied temperature range due to the peritectic melting of both starting compounds. First and 0-70 mol. % Cu_7PS_6 solid solutions of LT- Cu_2S crystallize from the melt; then the crystallization process continues in a certain temperature range by the reaction of the formation of a single-phase region of solid solutions $\text{Cu}_{8-x}\text{Ge}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$ of cubic structure (S.G. $F\bar{4}3m$) of LT of both copper-containing argyrodites. Two-phase regions at room temperature are 5-9 mol. % Cu_7PS_6 (S.G. $\text{Pna}2_1 + \text{S.G. } F\bar{4}3m$) and 32-69 mol. % Cu_7PS_6 (S.G. $\text{P}2_13 + \text{S.G. } F\bar{4}3m$).

The $\text{Ag}_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ systems are quasi-binary sections of the corresponding quasi-ternary systems $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ and are characterized by the complete mutual solubility of the components both in the liquid and in the solid state between the high-temperature modifications of these compounds ($\text{Ag}_{8-x}\text{Ge}(\text{Sn})_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$). Germanium-containing system is Type I of Rosebohm classification, while tin-containing system is Type III of Rosebohm classification with a minimum at 65 mol. % Ag_7PS_6 . In the subsolidus region at 300 K, single-phase regions are separated by two-phase regions of 25-65 mol. % Ag_7PS_6 (S.G. $\text{Pna}2_1 + \text{S.G. } F\bar{4}3m$) and 75-85 mol. % Ag_7PS_6 (S.G. $\text{P}2_13 + \text{S.G. } F\bar{4}3m$) in the $\text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ system, and ~25-42 mol. % Ag_7PS_6 (S.G. $\text{Pna}2_1 + \text{S.G. } F\bar{4}3m$) and ~65-73 mol. % Ag_7PS_6 (S.G. $\text{P}2_13 + \text{S.G. } F\bar{4}3m$) in the $\text{Ag}_8\text{SnS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ system.

The formation of substitution solid solutions of $\text{Cu}_{8-x}\text{Ge}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$ and $\text{Ag}_{8-x}\text{Ge}(\text{Sn})_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$ compositions with increasing temperature expands the area of the high-temperature cubic phase (S.G. $F\bar{4}3m$).

The formation of HM solid solutions at each of the three sections significantly lowers the temperature of the polymorphous transitions of all starting compounds.

Key words: X-ray phase analysis, differential thermal analysis, boundary solid solution, eutectic point.

1. Вступ

Сполуки складу $\text{A}^1_8\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_6$ та A^1_7PX_6 ($\text{A}^1 - \text{Cu}, \text{Ag}, \text{B}^{\text{IV}} - \text{Ge}, \text{Sn}$), що належать до сімейства аргіродитів мають загальну рису – фазові переходи від низькотемпературних модифікацій (НТМ) впорядкованих до високотемпературних модифікацій (ВТМ) невпорядкованих структур. НТМ цих халькогенідів кристалізуються в різних структурних типах, а ВТМ – кубічній структурі, ПГ $F\bar{4}3m$ [1]. Із таких ізоструктурних тернарних сполук можуть утворюватися більш складні системи, які представляють певний інтерес, а саме – отримання широких областей твердих розчинів, властивості яких закономірно змінюються зі зміною співвідношення вихідних компонентів. Це є один із

шляхів керування властивостями матеріалів. Ці потрібні купрумо- та аргентумовмісні халькогеніди останніми десятиліттями активно досліджуються, оскільки є цінними напівпровідниковими матеріалами з нелінійно-оптичними, фотоелектричними, термоелектричними та іншими властивостями [1-5]. Деякі з цих сполук є твердими суперіонними провідниками, які знайшли використання в іонселективних електродах, твердих електролітах тощо [6, 7].

У системах $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ та $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ по перерізах $\text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6$ між сполуками аргіродитного типу можливе утворення твердих розчинів, що і стало причиною дослідження для визначення концентраційних меж їх існування. Характер

утворення та кристалічна структура вихідних тернарних сполук, які утворюються в цих системах, досліджені.

Для Cu_8GeS_6 встановлений перитектичний тип плавлення при 1253 К [8, 9], 1243 К [10] та фазовий перехід при 328 К [8-10].

Аргентумовмісні сульфідно-германат і станат плавляться з відкритим максимумом: Ag_8GeS_6 при 1223 К [11], 1218 К [12]; Ag_8SnS_6 – 1125 К [13], 1121 К [14] з поліморфними переходами при 488 К [11], 496 К [12] (Ag_8GeS_6) та 444 К [13], 455 К [14] (Ag_8SnS_6).

Фосфоровмісні сполуки Cu_7PS_6 та Ag_7PS_6 згідно даних [15, 16] плавляться конгруентно при 1327 К та 1092 К відповідно. В роботі [17] стверджується, що характер утворення сполуки Cu_7PS_6 інконгруентний при 1300 К. Температури поліморфних переходів знаходяться при 515 К для Cu_7PS_6 та 573 К для Ag_7PS_6 згідно літературних даних [15, 16]. Основні кристалографічні характеристики тернарних сполук приведено в табл. 1.

Оскільки останні результати, отримані нами з використанням рентгенофазового аналізу по перерізах $Ag_8Ge(Sn)S_6 - Ag_7PS_6$ під час дослідження фазових рівноваг у квазіпотрійних системах $Ag_2S - Ge(Sn)S_2 - P_2S_5$, дещо відрізнялися від попередніх, наведених у [26, 27], ще раз детально було досліджено ці політермічні перерізи, а також переріз $Cu_8GeS_6 - Cu_7PS_6$.

Відомо значну кількість досліджень рівноваг між однотипними катіонно- чи аніоннозаміщеними халькогенідними аргіродитами – фосфоровмісними: $Ag_7PS_6 - Cu_7PS_6$ [28], германіє- чи станумовмісними: $Cu_8GeS_6 - Cu_8GeSe_6$ [29, 30],

$Cu_8GeS_6 - Ag_8GeS_6$ [31], $Cu_8GeS_6 - Ag_8GeSe_6$ [32], $Ag_8GeS_6 - Ag_8GeSe_6$ [33], $Ag_8GeS_6 - Ag_8SnS_6$ [34], $Ag_8SnS_6 - Ag_8SnSe_6$ [35], $Ag_8GeSe_6 - Ag_8SnSe_6$ [36], $Cu_8GeS_6 - Cu_8GeTe_6$ [37], $Ag_8SiTe_6 - Ag_8GeTe_6$ [38], $Ag_8SiS(Se)_6 - Ag_8SiTe_6$ [39]. В усіх випадках між ВТ-кубічними модифікаціями вихідних сполук утворюються неперервні ряди твердих розчинів, якщо НТ модифікації ізоструктурні, то між ними також є необмежена розчинність; в інших випадках утворення твердих розчинів НТМ призводить до сильного пониження температури поліморфного переходу вихідних сполук. При взаємодії аргентумовмісних аргіродитів із бінарними халькогенідами Цинку та Кадмію [40] спостерігається значна максимальна розчинність при температурах нонваріантних процесів (від 24 до 96 мол. % $Zn(Cd, Hg)X$), яка суттєво зменшується зі зниженням температури (від 5 до 15 мол. % $Zn(Cd, Hg)X$ при кімнатній температурі). Евтектична взаємодія типова для цинковмісних систем, а серед кадмієвмісних систем зустрічається як перитектичний ($Ag_8Si(Ge)S_6 - CdS$, $Ag_8SiSe_6 - CdSe$), так і евтектичний ($Ag_8SnS_6 - CdS$, $Ag_8Ge(Sn)Se_6 - CdSe$) тип взаємодії. Температури переходів НТМ↔ВТМ аргіродитних сполук зростають чи знижуються незначно (зміна становить не більше 66 град).

2. Експериментальна частина

Для вивчення природи фізико-хімічної взаємодії по перерізах $Cu_8GeS_6 - Cu_7PS_6$ та $Ag_8Ge(Sn)S_6 - Ag_7PS_6$ синтезовано потрібні сполуки відповідних складів та по 9 сплавів між ними через 10 мол. %. Зразки отримували із простих речовин високого ступеня чистоти:

Таблиця 1

Кристаліграфічні характеристики сполук $Cu(Ag)_7PS_6$, $Cu(Ag)_8Ge(Sn)S_6$

Сполука	ВТМ- Cu_7PS_6	НТМ- Cu_7PS_6	НТМ- Ag_7PS_6	ВТМ- Ag_7PS_6	НТМ- Cu_8GeS_6
ПГ	$F\bar{4}3m$	$P2_13$	$P2_13$	$F\bar{4}3m$	$Pmn2_1$
Параметри гратки, нм	<i>a</i>	0,9713	0,96709	1,036	1,0485
	<i>b</i>	...	...	...	0,69661
	<i>c</i>	...	...	...	0,98699
Література	[18]	[18]	[19]	[20]	[21]
Сполука	НТМ- Cu_8GeS_6	ВТМ- Ag_8GeS_6	ВТМ- Ag_8GeS_6	НТМ- Ag_8SnS_6	ВТМ- Ag_8SnS_6
ПГ	$Pna2_1$	$F\bar{4}3m$	$F\bar{4}3m$	$Pna2_1$	$F\bar{4}3m$
Параметри гратки, нм	<i>a</i>	1,5149	0,99567	1,070	1,5298
	<i>b</i>	0,7476	...	...	0,7548
	<i>c</i>	1,0589	...	...	1,0699
Література	[22]	[23]	[24]	[25]	[24]

міді (99,99 мас. %); срібла (99,99 мас. %); германію (ГМО-1); олова (99,999 мас. %); фосфору червоного (99,998 мас. %) та сірки (99,997 мас. %) у вакуумованих до 10^{-2} Па кварцових ампулах. Сірка при температурах плавлення сполук має високий тиск насиченої пари, тому синтез сплавів проводився шляхом ступінчастого нагрівання одноступеневим високотемпературним методом в електричній муфельній печі МП-60 із програмованим мікропроцесорним керуванням регулятором температури ПР-04 протягом 200 год із зупинками від 670 К через кожні 100 град. Максимальна температура складала 1100-1200 К. Після 6 год витримки, температуру поступово знижували (~ 10 К/год) до 500 К. При цій температурі проводився відпал зразків протягом 500 год, далі сплави охолоджували в режимі виключеної печі до кімнатної температури.

Усі підготовлені зразки були проаналізовані з використанням ряду фізико-хімічних методів аналізу: рентгенофазового (РФА) та рентгеноструктурного (РСА) на дифрактометрі ДРОН 4-13 (CuK_α -випромінювання), мікроструктурного (МСА) на металографічному мікроскопі

Leica VMHT Auto ($\times 3811$), диференційно-термічного (ДТА) на дериватографі системи Паулік-Паулік-Ердеї (Pt/Pt-Rh термопари).

3. Результати та їх обговорення

Детально вивчено вихідні склади Cu_8GeS_6 , Ag_8GeS_6 , Ag_8SnS_6 , Cu_7PS_6 та Ag_7PS_6 . Сполука Cu_8GeS_6 плавиться інконгруентно при 1257 К, а всі інші: Cu_7PS_6 , Ag_8GeS_6 , Ag_8SnS_6 та Ag_7PS_6 конгруентно при 1327, 1223, 1123 і 1090 К з поліморфними переходами, що відбуваються при 333, 519, 493, 450, 545 К відповідно. Результати близькі до вищевказаних літературних даних.

Результати РФА сплавів перерізу $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$ (рис. 1) показали, що дифракційні відбиття в межах 70-100 мол. % Cu_7PS_6 якісно аналогічні дифрактограмі НТМ вихідного купрум (I) фосфатосульфіду (ПГ $P2_13$), в межах складів 10-30 мол. % Cu_7PS_6 – кристалізується ВТМ обох сполук (ПГ $F\bar{4}3m$) і лише сплав складу купрум (I) германатосульфіду демонструє НТМ Cu_8GeS_6 (ПГ $Pmn2_1$). Із зміною складів проходить незначне зміщення ліній відбиття в межах твердих розчинів. Двофазними є сплави складів 40-60 мол. % Cu_7PS_6 та імовірно в межах $\sim 5-9$ мол. %.

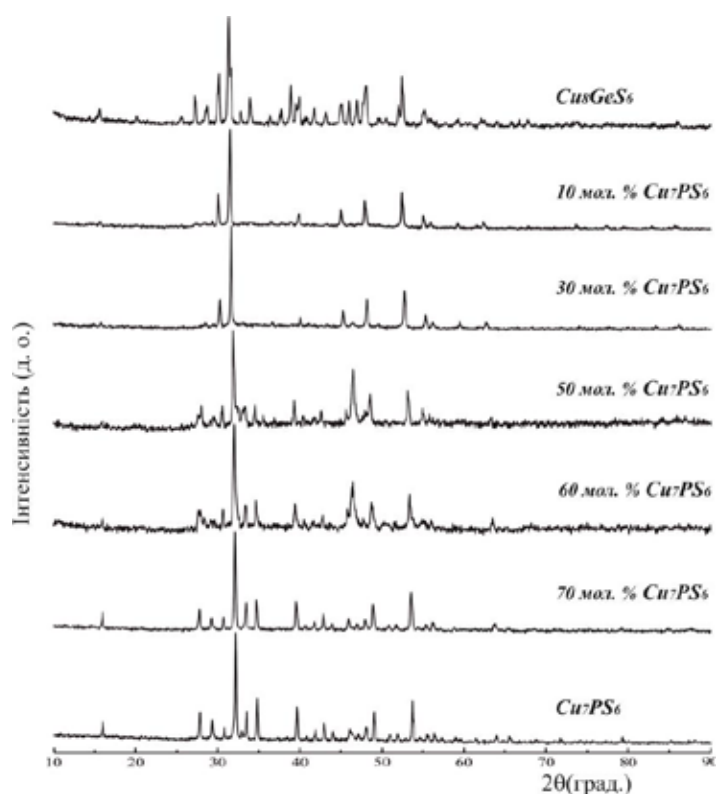


Рис. 1. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$

Зміна параметрів елементарних комірок зразків перерізу $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$ представлені на рис. 2 (а – НТМ Cu_8GeS_6 , ПГ $Pna2_1$; б – НТМ Cu_7PS_6 , ПГ $P2_13$; в – ВТМ $\text{Cu}_{8-x}\text{Ge}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$, ПГ $F\bar{4}3m$).

Згідно з даними ДТА переріз $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$ (рис. 3) при 300 К є квазібінарним і характеризується значними твердими розчинами: до 30 мол. % включно на основі НТ-модифікації Cu_7PS_6 та від ~9 до 32 мол. % $\text{Cu}_7\text{PS}_6 - \text{ВТМ}$ обох сполук. Розчинність на основі НТМ Cu_8GeS_6 сягає не більше 5 мол. %. Однак в повному досліджуваному температурному інтервалі переріз не є квазібінарною системою через перитектичний характер плавлення Cu_8GeS_6 , що призводить до кристалізації твердого розчину на основі ВТМ- Cu_7S в інтервалі 0–~70 мол.% Cu_7PS_6 ; далі процес кристалізації в цьому концентраційному діапазоні продовжується утворенням трифазної області. В області складів більше 70 мол.% Cu_7PS_6 з розплаву первинно кристалізуються тверді розчини кубічної структури (ПГ $F\bar{4}3m$) ВТМ з обох купрумовмісних аргіродитів, які можна представити формулою $\text{Cu}_{8-x}\text{Ge}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$.

Утворення НТМ твердих розчинів знижує температуру поліморфного переходу Cu_7PS_6 від 519 К до 329 К для сплаву складу 70 мол. % Cu_7PS_6 , а при ще нижчому складі Cu_7PS_6 цей перехід при температурі вище кімнатної взагалі не спостерігається. Поліморфний перехід Cu_8GeS_6 (333 К) уже не спостерігається навіть при 10 мол. % Cu_7PS_6 . Результати показують, що утворення твердих розчинів заміщення зі зростанням температури розширює область ВТ-кубічної фази, яка існує в межах ~10-32 мол. % Cu_7PS_6 при кімнатній температурі.

Результати РФА сплавів квазібінарної системи $\text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ (рис. 4) співпадають з даними мікроструктурного аналізу та підтверджують утворення областей твердих розчинів на основі вихідних компонентів, що в основному узгоджується з попередніми даними [27]. Проведені дослідження показали, що на дифрактограмах твердих розчинів на основі НТМ- Ag_8GeS_6 присутні рефлекси, характерні для ромбічної структури (зразки складів 80-100 мол. % Ag_8GeS_6 ; ПГ $Pna2_1$). У твердих розчинах на основі Ag_7PS_6 присутні рефлекси, характерні для кубічної структури (зразки скла-

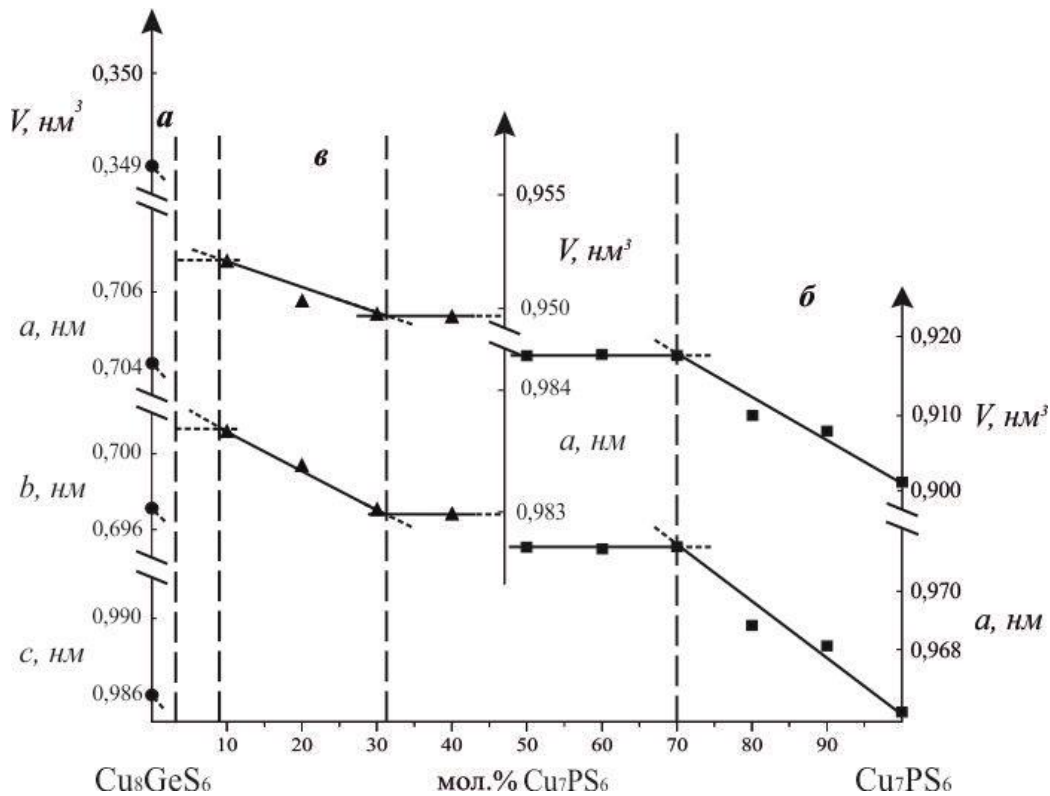


Рис. 2. Зміна параметрів елементарних комірок зразків перерізу $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$

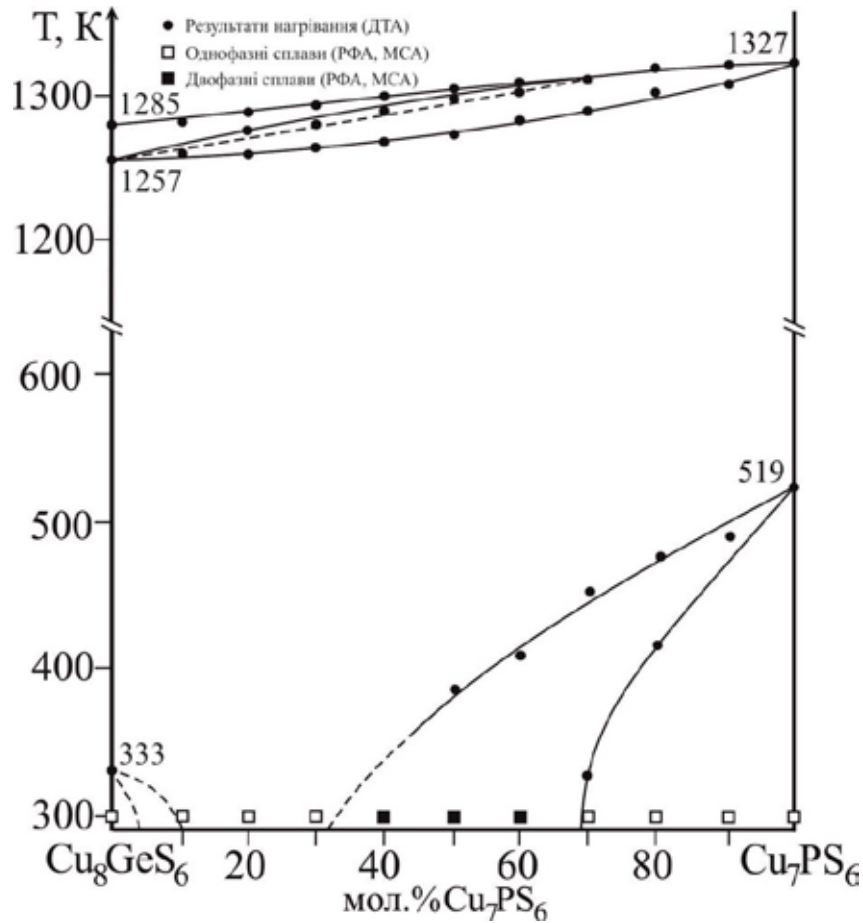


Рис. 3. Діаграма стану перерізу $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$

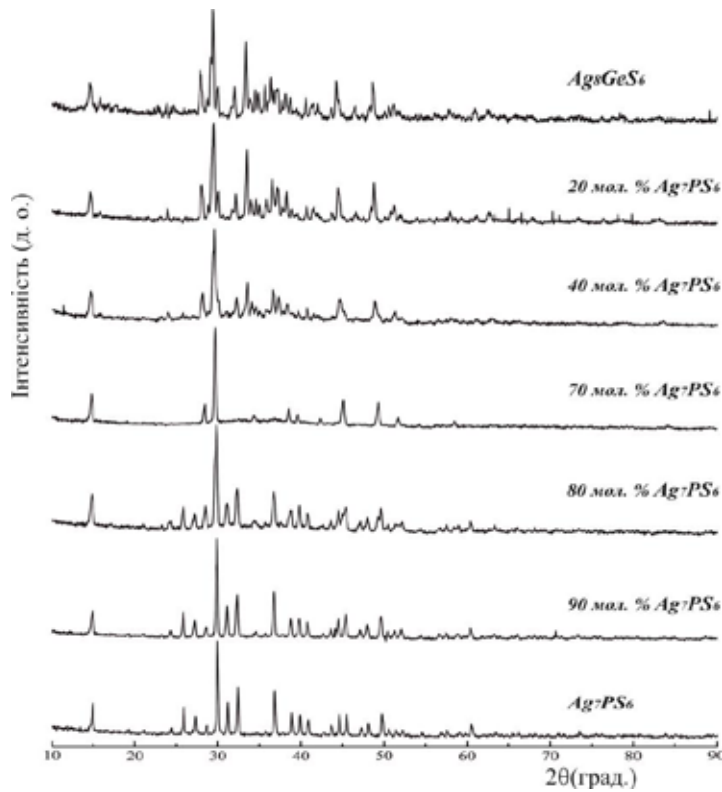


Рис. 4. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$

дів 90, 100 мол. % Ag_7PS_6 ; ПГ $P2_13$), лише один сплав складу 70 мол. % Ag_7PS_6 найбільш близький до однофазового кубічної структури ВТМ аргіродитів (ПГ $F\bar{4}3m$).

Дифрактограми проміжних сплавів є двофазними та складаються із наборів відбить цих трьох однофазних областей: 25-65 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ $Pna2_1$ + ПГ $F\bar{4}3m$) та 75-85 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ $P2_13$ + ПГ $F\bar{4}3m$). Залежність періодів кристалічних ґраток зразків системи наведено на рис. 5 (а – НТМ Ag_8GeS_6 , ПГ $Pna2_1$; б – НТМ Ag_7PS_6 , ПГ $P2_13$; в – ВТМ $Ag_{8-x}Ge_{1-x}P_xS_6$, ПГ $F\bar{4}3m$). Утворення твердих розчинів на основі НТМ вихідних сульфідів різко знижує температуру поліморфного перетворення обох сполук. Поліморфне перетворення Ag_8GeS_6 знижується від 493 до 382 К в діапазоні концентрацій 0-20 мол. % Ag_7PS_6 , а далі зміщується в область нижче 300 К. Поліморфне перетворення сполуки Ag_7PS_6 знижується від 545 до 450 К для 80 мол. % Ag_7PS_6 . ВТМ кубічна фаза є термічно стабільною від кривої солідусу у всьому концентраційному інтервалі до кімнатної температури в межах 65-75 мол. % Ag_7PS_6 .

Результати ДТА вказують на те, що система $Ag_8GeS_6 - Ag_7PS_6$ (рис. 6) є квазібінарним перерізом квазіпотрійної системи $Ag_2S - GeS_2 - P_2S_5$ і характеризується повною взаємною розчинністю компонентів між ВТ кристалічними модифікаціями цих сполук ($Ag_{8-x}Ge_{1-x}P_xS_6$). На кривих ліквідусу та солідусу немає точок екстремуму (I тип за Розебомом). Як видно з цієї діаграми стану при 500 К двофазною є лише область в невеликому концентраційному інтервалі від 90 мол. % до ~95 мол. % Ag_7PS_6 між твердими розчинами ВТ модифікації $Ag_{8-x}Ge_{1-x}P_xS_6$ (ПГ $F\bar{4}3m$) та НТ модифікації Ag_7PS_6 (ПГ $P2_13$), а не між НТ модифікаціями вихідних сполук, як було вказано в роботі [27].

Система $Ag_8SnS_6 - Ag_7PS_6$ по характеру взаємодії подібна до попередніх. Дані РФА повільно охолоджених після відпалу сплавів (рис. 7) показують, що дифракційні картини зразків твердих розчинів є якісно подібними до НТ-модифікацій цих вихідних сполук в межах майже до 70 мол. % Ag_8SnS_6 та Ag_7PS_6 .

В твердих розчинах на основі Ag_8SnS_6 присутні рефлекси, характерні для ромбічної структури, ПГ $Pna2_1$, а на основі Ag_7PS_6 –

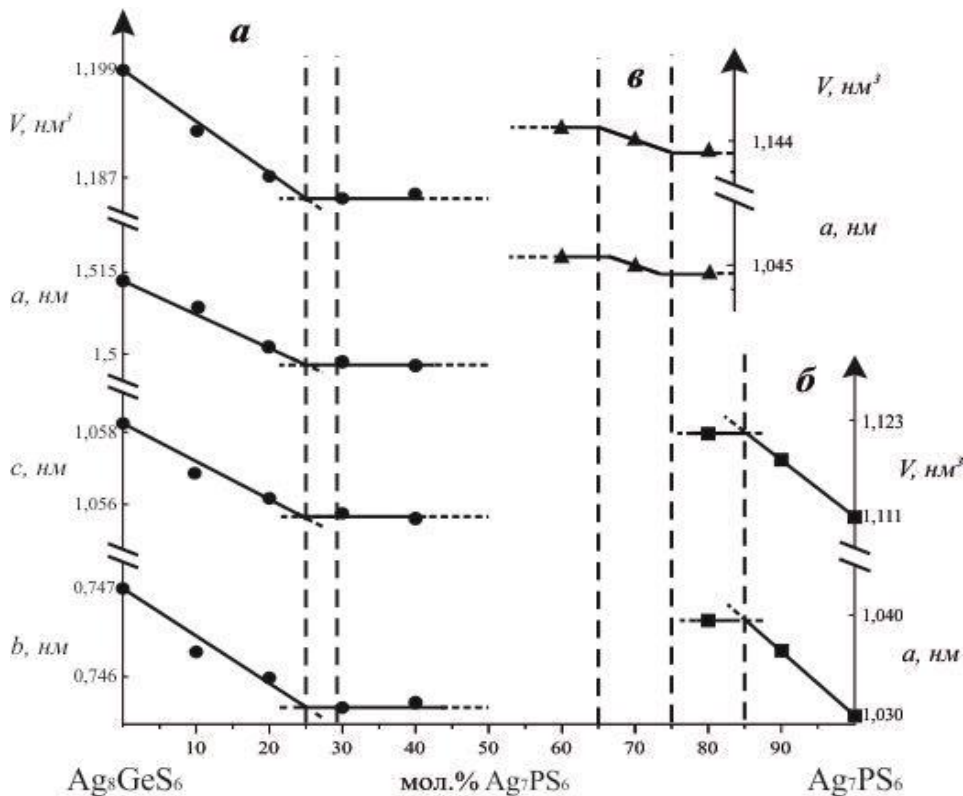
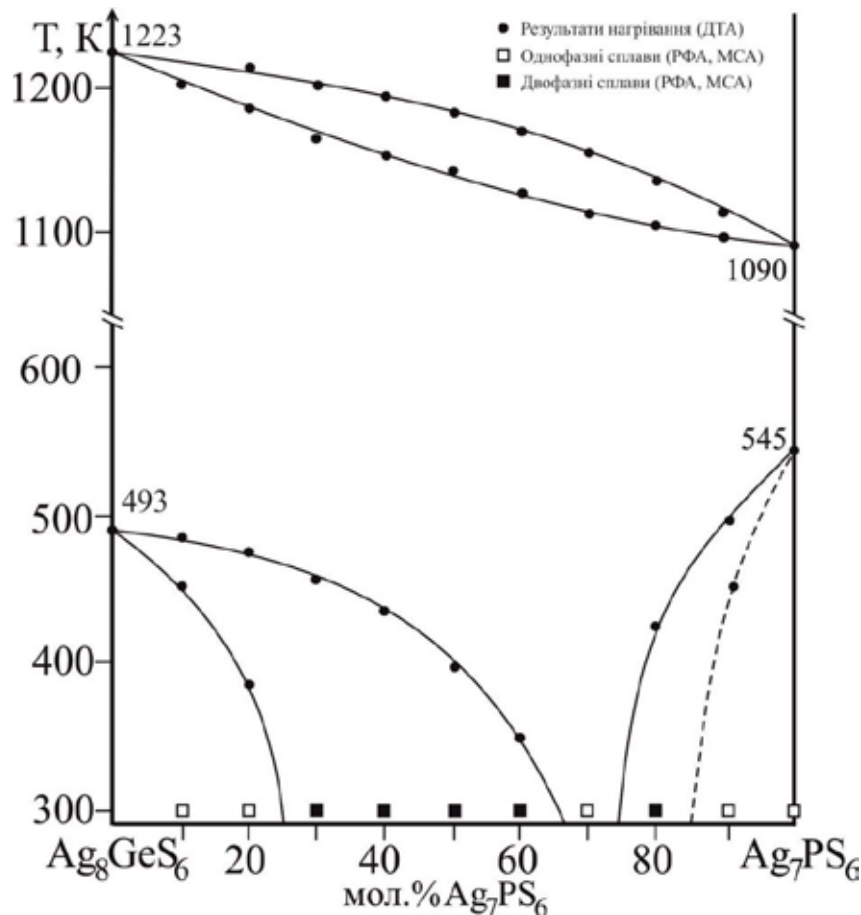


Рис. 5. Зміна параметрів елементарних комірок зразків перерізу $Ag_8GeS_6 - Ag_7PS_6$


 Рис. 6. Діаграма стану системи $\text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$

кубічної структури, ПГ $P2_13$. Зразки складів 50 та 60 мол. % Ag_7PS_6 кристалізуються в кубічній структурі ВТМ цих аргіродитів (ПГ $F\bar{4}3m$).

Рентгенограми проміжних сплавів є двофазними та складаються з набору ліній відбиття трьох цих фаз (30, 40 мол. % Ag_7PS_6 , ПГ $Pna2_1 +$ ПГ $F\bar{4}3m$) та 70 мол. % Ag_7PS_6 , ПГ $P2_13 +$ ПГ $F\bar{4}3m$), що узгоджується з даними [26].

Зміщення дифракційних ліній у бік малих кутів добре спостерігається при заміні $\text{P} + \text{Ag} \rightarrow 2\text{Sn}$. Це пов'язано з тим що іонний радіус Стануму ($r(\text{Sn}^{4+}) = 0,067$ нм) значно більший порівняно з іонним радіусом Фосфору ($r(\text{P}^{5+}) = 0,035$ нм). Як видно, параметри ґраток в межах твердих розчинів лінійно зменшуються зі збільшенням вмісту Фосфору (рис. 8) (a – НТМ Ag_8SnS_6 , ПГ $Pna2_1$; b – НТМ Ag_7PS_6 , ПГ $P2_13$; c – ВТМ $\text{Ag}_{8-x}\text{Sn}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$, ПГ $F\bar{4}3m$).

Квазіподвійна система $\text{Ag}_8\text{SnS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ згідно результатів ДТА (рис. 9) характеризується утворенням неперервного ряду твердих

розчинів ($\text{Ag}_{8-x}\text{Sn}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$) між ВТ-модифікаціями вихідних сполук (ПГ $F\bar{4}3m$). Криві ліквідусу та солідусу мають мінімум при ~ 65 мол. % Ag_7PS_6 (III тип за Розебомом). В підсолідусній області нижче температур фазових перетворень обох вихідних сульфідів між однофазними областями знаходяться двофазні області в межах ~ 25 -42 мол. % та ~ 65 -73 мол. % Ag_7PS_6 .

Як і в аналогічній системі з Германієм, ця діаграма відрізняється від представленої в роботі [26]. При обраній температурі відпалу (500 К) на ізотермічному перерізі квазіпотрійної системи $\text{Ag}_2\text{S} - \text{SnS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$, двофазною між аргіродитами має бути лише область 82-90 мол. % Ag_7PS_6 , де в рівновазі знаходяться тверді розчини ВТ модифікації $\text{Ag}_{8-x}\text{Sn}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$, (ПГ $F\bar{4}3m$) та НТ модифікації Ag_7PS_6 , (ПГ $P2_13$). При охолодженні до кімнатної температури НТ модифікації вихідних сполук утворюються двофазні області, що не є більшими 18 мол. % (рис. 9).

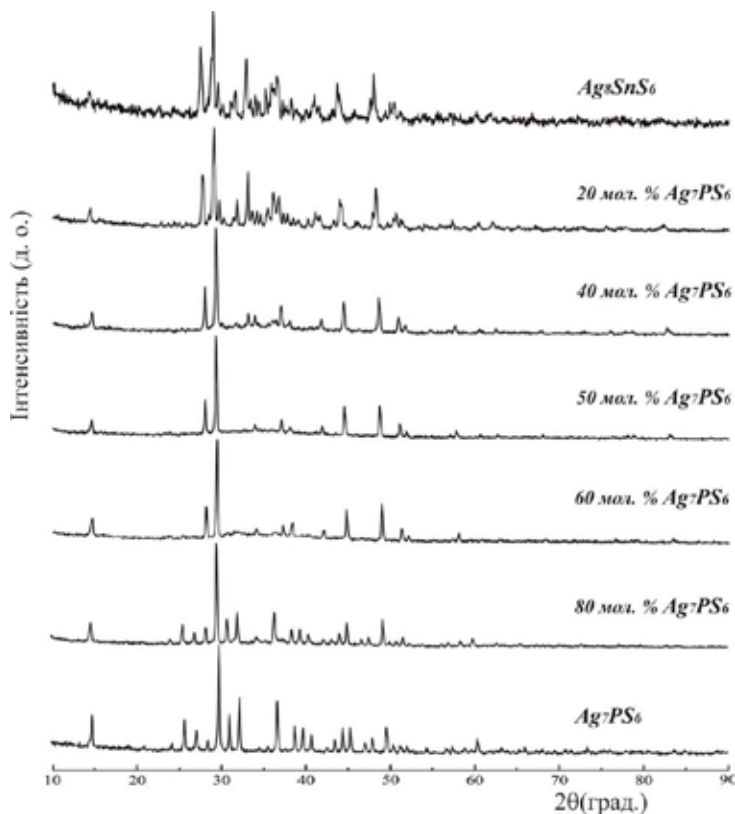


Рис. 7. Дифрактограми типових зразків системи $Ag_8SnS_6 - Ag_7PS_6$

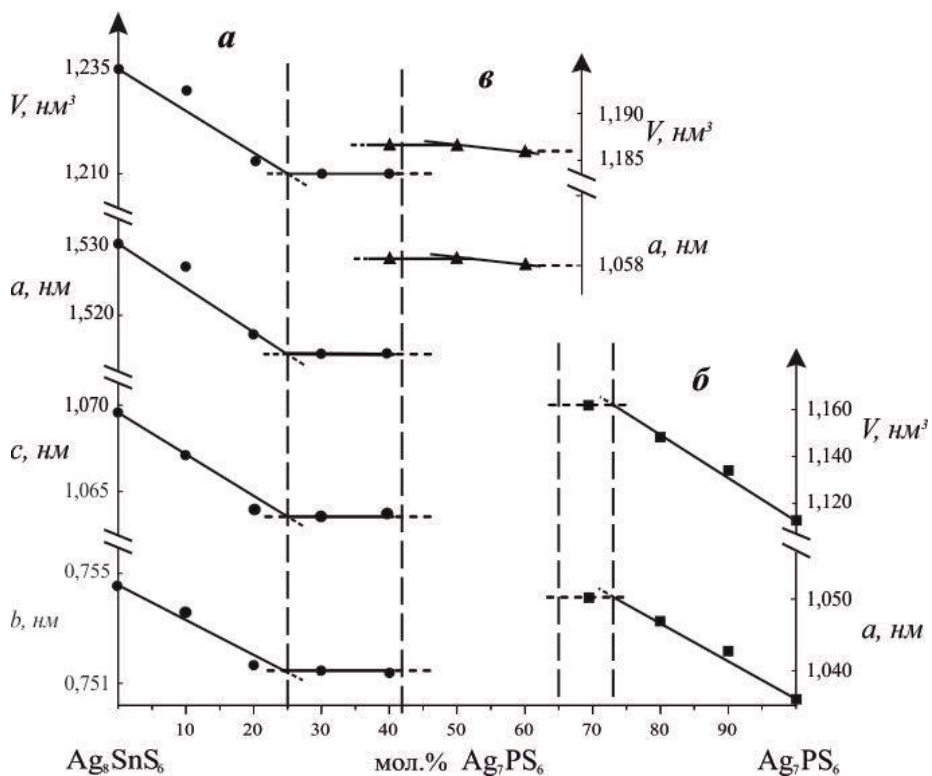
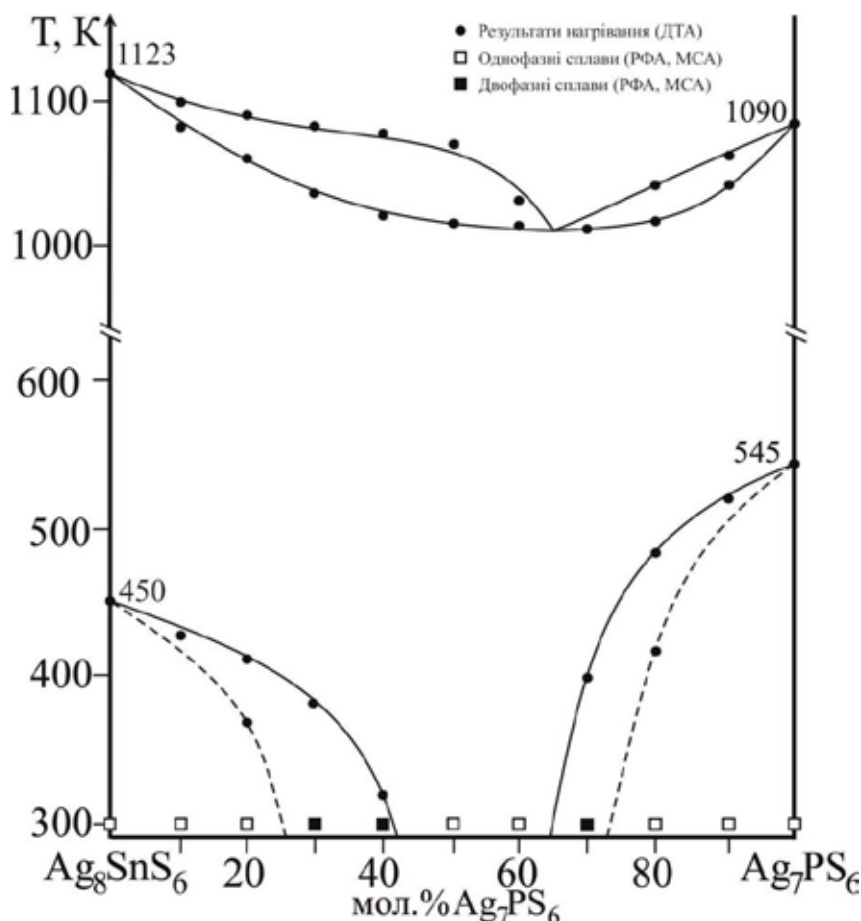


Рис. 8. Зміна параметрів елементарних комірок зразків системи $Ag_8SnS_6 - Ag_7PS_6$

Рис. 9. Діаграма стану системи $\text{Ag}_8\text{SnS}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$

4. Висновки

Отже, згідно даних РФА, РСА, ДТА (твердофазні перетворення фіксуються слабо) та вивченням мікроструктури встановлено, що між сполуками перерізів $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_7\text{PS}_6$, $\text{Ag}_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6 - \text{Ag}_7\text{PS}_6$ вище кімнатної температури стійкими є НТМ усіх аргіродитів до температур їх фазових перетворень в певних концентраційних та температурних

інтервалах. Встановлена необмежена розчинність між їх ВТ-модифікаціями складів $\text{Cu}_{8-x}\text{Ge}_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$ та $\text{Ag}_{8-x}\text{Ge}(\text{Sn})_{1-x}\text{P}_x\text{S}_6$, які існують у значному температурному та концентраційному інтервалах. Твердофазний розпад між однофазними областями на кожному із трьох перерізів носить евтектоїдний характер і не фіксується, так як знаходиться нижче кімнатної температури.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Lin S., Li W., Pei Y. Thermally insulative thermoelectric argyrodites. *Materials Today*. 2021. Vol. 48. P. 198-213. doi: 10.1016/j.mattod.2021.01.007
2. Semkiv I.V., Ilchuk H., Pawlowski M., Kusnezv V. Ag_8SnSe_6 argyrodite synthesis and optical properties. *Opto-Electronics Review*. 2017. Vol. 25. № 1. P. 37-40. doi: 10.1016/j.opelre.2017.04.002
3. Yijing F., Wang G., Wang R., Zhang B., Shen X., Jiang P., Zhang X., Gu H., Lu X., Zhou X. Enhanced thermoelectric properties of p-type argyrodites Cu_8GeS_6 through Cu vacancy. *Journals of Alloys and Compounds*. 2020. № 822. P. 2168-2176. doi: 10.1016/j.jallcom.2020.153665
4. Shen X., Xia Y., Yang C. C., Zhang Z., Li S., Tung Y. H., Benton A., Zhang X., Lu X., Wang G., He J., Zhou X. High Thermoelectric Performance in Sulfide-Type Argyrodites Compound $\text{Ag}_8\text{Sn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_6$ Enabled by Ultralow Lattice Thermal Conductivity and Extended Cubic Phase Regime. *Advanced Functional Materials*. 2020. Vol. 30. № 21. doi: 10.1002/adfm.202000526

5. Yang C., Luo Y., Xia Y., Fang T., Du Z., Li X., Cui J. Improved Thermoelectric Performance of p-Type Argyrodite Cu_8GeSe_6 via the Simultaneous Engineering of the Electronic and Phonon Transports. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2022. Vol. 14. № 14. P. 16330-16337. doi: 10.1021/acsami.2c02625
6. Chen H.M., Maohua C., Adams S. Stability and ionic mobility in argyrodite-related lithium-ion solid electrolytes. *Physical Chemistry Chemical Physics journal*. 2015. Vol. 17. P. 16494-16506. doi: 10.1039/C5CP01841B
7. Lin Y., Fang S., Su D., Brinkman K.S., Chen F. Enhancing grain boundary ionic conductivity in mixed ionic-electronic conductors. *Nature Communications*. 2015. Vol. 6. P. 6824. doi: 10.1038/ncomms7824
8. Khanafer M., Rivet J., Flahaut J. Étude du système $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2$. Surstructure du composé Cu_2GeS_3 . Transition de phases du composé Cu_8GeS_6 . *Bulletin de la Société chimique de France*. 1973. Vol. 3. P. 859-862.
9. Khanafer M., Gorochov O., Rivet J. Etude des propriétés électriques de phases Cu_2GeS_3 , Cu_2SnS_3 , Cu_8GeS_6 et Cu_4SnS_4 . *Materials Research Bulletin*. 1974. Vol. 9. P. 1543-1552. doi: 10.1016/0025-5408(74)90102-0
10. Зотова Т.В., Карагодин Ю.А. Исследование характера фазового равновесия в тройных системах $\text{Cu} - \text{Ge}(\text{Sn}) - \text{S}$ по разрезам $\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{Cu}_2\text{S}$: сборник научных трудов по проблемам микроэлектроники. Серия технология спецматериалов и интегральных схем. Москва: МИЭТ, 1976. С. 174-181.
11. Prince A. Silver-germanium-sulfur. *Ternary Alloys*. 1988. Vol. 2. P. 196-202.
12. Chbani N., Cai X., Loireau-Lozac'h A.M., Guiltard M. Ternaire argent-germanium-sulfure. Quasibinaire disulfure de germanium-sulfure d'argent. Conductivité électrique du verre le plus riche en argent. *Materials Research Bulletin*. 1992. Vol. 27. P. 1355-1361. doi: 10.1016/0025-5408(92)90101-5
13. Wang N., Fan A.K. An experimental study of the $\text{Ag}_2\text{S} - \text{SnS}_2$ pseudobinary join. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*. 1989. Vol. 160. P. 33-36.
14. Кохан О. П. Взаємодія в системах $\text{Ag}_2\text{X} - \text{B}^{\text{IV}}\text{X}_2$ ($\text{B}^{\text{IV}} - \text{Si, Ge, Sn}$; $\text{X} - \text{S, Se}$) і властивості сполук : дис. ... канд. хім. наук. 02.00.01. Ужгород, 1996. 21 с.
15. Andrae H., Blachnik R. Metal sulphidetetraphosphorusdekasulphide phase diagrams. *Journals of Alloys and Compounds*. 1992. Vol. 189. P. 209-215. doi: 10.1016/0925-8388(92)90709-I
16. Blachnik R., Wickel U. Phasenbeziehungen im System $\text{Ag}-\text{As}-\text{S}$ und thermochemisches Verhalten von Ag_7MX_6 -Verbindungen ($\text{M} = \text{P, As, Sb}$; $\text{X} = \text{S, Se}$). *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1980. Vol. 35. Issue 10. P. 1268-1271. doi: 10.1515/znb-1980-1019
17. Галаговец И.В., Поторий М.В. Получение и свойства сложных полупроводниковых халькогенидов. Киев: УМК ВО, 1991. С. 51-56.
18. Kuhs W.F., Schulte-Kellinghaus M., Kramer V., Nitsche R. Darstellung und Kristalldaten der isomorphen Kupferthio(seleno)phosphate Cu_7PS_6 und Cu_7PSe_6 . *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1977. Vol. 32. S. 1100-1101.
19. Kuhs W.F., Nitsche R., Scheunemann K. The argyrodites – A new family of the tetrahedrally close-packed structures. *Materials Research Bulletin*. 1979. Vol. 14. Issue 2. P. 241-248. doi: 10.1016/0025-5408(79)90125-9
20. Blachnik R., Wickel U. Phasenbeziehungen im System $\text{Ag}-\text{As}-\text{S}$ und thermochemisches Verhalten von Ag_7MX_6 -Verbindungen ($\text{M} = \text{P, As, Sb}$; $\text{X} = \text{S, Se}$). *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1980. Vol. 35. P. 1268-1271. doi: 10.1515/znb-1980-1019.
21. Ishii M., Onoda M., Shibata K. Structure and vibrational spectra of argyrodite family compounds Cu_8SiX_6 ($\text{X} - \text{S, Se}$) and Cu_8GeS_6 . *Solid State Ionics*. 1999. Vol. 121. P. 11-18. doi: 10.1016/S0167-2738(98)00305-1
22. Eulenberger G. Die Kristallstruktur der Tieftemperaturmodifikation von Ag_8GeS_6 . *Monatshefte für Chemie*. 1977. Vol. 108. P.901-913. doi: 10.1007/BF00898056.
23. Бабанлы М.Б., Юсиров Ю.А., Абишев В.Т. Трехкомпонентные халькогениды на основе меди и серебра. Баку: БГУ, 1993. 342 с.
24. Gorochov O. Les composés Ag_8MX_6 ($\text{M} = \text{Si, Ge, Sn}$ et $\text{X} = \text{S, Se, Te}$). *Bulletin de la Société Chimique de France*. 1968. Vol. 6. P. 2263-2275.
25. Wang N. New data for Ag_8SnS_6 (canfeildite) and Ag_8GeS_6 (argyrodite). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*. 1978. P. 269-272.
26. Березнюк О.П., Олексеюк І.Д., Петрусь І.І., Смітюх О.В. Система $\text{Ag}_2\text{S} - \text{SnS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$. *Вісник Одеського національного університету. Серія «Хімія»*. 2020. Вип. 25. С. 32-44. doi: 10.18524/2304-0947.2020.4(76).216923
27. Berezniuk O.P., Petrus' I.I., Olekseyuk I.D., Smityukh O.V., Zamuruyeva O.V., Nakhod V.V. The $\text{Ag}_2\text{S} - \text{GeS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ system at 500 K. *Journal of Solid State Chemistry*. 2022. Vol. 313. doi: 10.1016/j.jssc.2022.123340
28. Blachnik R., Gather B., Andrae E. Ternary chalcogenide systems X: The quasiternary system $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Cu}_2\text{S} - \text{P}_4\text{S}_{10}$. *Journal of Thermal Analysis*. 1991. Vol. 37. P. 1289-1298. doi: 10.1007/BF0191386
29. Bagheri S.M., Alverdiyev I.J., Imamaliyeva S.Z., Babanly M.B. The Phase equilibria in the $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_8\text{GeSe}_6$ System and Thermodynamic Properties of Solid Solutions. *Chemistry Journal*. 2014. Vol. 4. № 2. P. 26-31.

30. Alverdiyev I.J., Aliev Z.S., Bagheri S.M., Mashadiyeva L.F., Yusibov Y.A., Babanly M.B. Study of the $2\text{Cu}_2\text{S} + \text{GeSe}_2 \leftrightarrow \text{Cu}_2\text{Se} + \text{GeS}_2$ recip-rocal system and thermodynamic properties of the $\text{Cu}_8\text{GeS}_{6-x}\text{Se}_x$ solid solutions. *Journals of Alloys and Compounds*. 2017. Vol. 691. P. 255–262.
31. Abbasova V.A., Alverdiyev I.J., Rahimoglu E., Mirzoyeva R.J., Babanly M.B. Phase relations in the $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_8\text{GeS}_6$ system and some properties of solid solutions. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2017. Vol. 2. P. 25–29.
32. Abbasova V.A., Alverdiyev I.J., Mashadiyeva L.F., Yusibov Y.A., Babanly M.B. Phase relations in the $\text{Cu}_8\text{GeSe}_6 - \text{Ag}_8\text{GeSe}_6$ system and some properties of solid solutions. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2017. Vol. 1. P. 30–33.
33. Bagheri S.M., Alverdiyev İ.C., Babanly M.B. $\text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_8\text{GeSe}_6$ sistem in dəfazatarazlıqlarivəbərək. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2014. № 3. S. 13–21.
34. Aliyeva Z.M., Bagheri S.M., Aliev Z.S., Alverdiyev I.J., Yusibov Yu.A., Babanly M.B. The phase equilibria in the $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ system. *Journals of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 611. P. 395–400. doi: 10.1016/j.jallcom.2014.05.112
35. Bagheri S.M., Imamaliyeva S.Z., Mashadiyeva L.F., Babanly M.B. Phase equilibria in the $\text{Ag}_8\text{SnS}_6 - \text{Ag}_8\text{SnSe}_6$ system. *International Journal of Advanced Technology & Science*. 2014. Vol. 4. № 2. P. 291–296.
36. Алиева З.М., Багхери С.М., Алвердиев И.Дж., Юсиров Ю.А., Бабанлы М.Б. Фазовые равновесия в квазитройной системе $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ag}_8\text{GeSe}_6 - \text{Ag}_8\text{SnSe}_6$. *Неорганические материалы*. 2014. Vol. 50. № 10. С. 1063–1068.
37. Schwarzmüller S., Souchay D., Günther D., Gocke A., Dovgaliuk I., Miller S.A., Snyder G.J., Oeckler O. Argyrodite-Type $\text{Cu}_8\text{GeSe}_{6-x}\text{Te}_x$ ($0 \leq x \leq 2$): Temperature-Dependent Crystal Structure and Thermoelectric Properties. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. 2018. Vol. 644. № 24. P. 1915–1922. doi: 10.1002/zaac.201800453
38. Ashirov G.M. Phase equilibria in the $\text{Ag}_8\text{SiTe}_6 - \text{Ag}_8\text{GeTe}_6$ system. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2022. Vol. 1. P. 89–93. doi: 10.32737/0005-2531-2022-1-89-93
39. Əmiraslanova A.C., Babanlı K.N., Alverdiyev I.J., Yusibov Y.Ə. $\text{Ag}_8\text{SiS}_6(\text{Se}_6) - \text{Ag}_8\text{SiTe}_6$ sistemlərində faza tarazlıqları: Actual problems of modern nature and economic sciences, Ganja, 6-7 may 2021. Ganja, 2021. P. 27–29.
40. Piskach L.V., Parasyuk O.V., Olekseyuk I.D. Interaction of argyrodite family compounds with the chalcogenides of II-b elements. *Journals of Alloys and Compounds*. 2006. Vol. 421. № 1-2. P. 98–104.

REFERENCES:

1. Lin, S., Li, W., Pei, Y. Thermally insulative thermoelectric argyrodites. *Materials Today*. 2021. Vol. 48. P. 198-213. doi: 10.1016/j.mattod.2021.01.007 [in English].
2. Semkiv, I.V., Ilchuk, H., Pawlowski, M., Kusnezh, V. Ag_8SnSe_6 argyrodite synthesis and optical properties. *Opto-Electronics Review*. 2017. Vol. 25. № 1. P. 37-40. doi: 10.1016/j.opelre.2017.04.002 [in English].
3. Yijing, F., Wang, G., Wang, R., Zhang, B., Shen, X., Jiang, P., Zhang, X., Gu, H., Lu, X., Zhou, X. Enhanced thermoelectric properties of p-type argyrodites Cu_8GeS_6 through Cu vacancy. *Journals of Alloys and Compounds*. 2020. № 822. P. 2168-2176. doi: 10.1016/j.jallcom.2020.153665 [in English].
4. Shen, X., Xia, Y., Yang, C.C., Zhang, Z., Li, S., Tung, Y.H., Benton, A., Zhang, X., Lu, X., Wang, G., He, J., Zhou, X. High Thermoelectric Performance in Sulfide-Type Argyrodites Compound $\text{Ag}_8\text{Sn}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_6$ Enabled by Ultralow Lattice Thermal Conductivity and Extended Cubic Phase Regime. *Advanced Functional Materials*. 2020. Vol. 30. № 21. doi: 10.1002/adfm.202000526 [in English].
5. Yang, C., Luo, Y., Xia, Y., Fang, T., Du, Z., Li, X., Cui, J. Improved Thermoelectric Performance of p-Type Argyrodite Cu_8GeSe_6 via the Simultaneous Engineering of the Electronic and Phonon Transports. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2022. Vol. 14. № 14. P. 16330-16337. doi: 10.1021/acsami.2c02625 [in English].
6. Chen, H.M., Maohua, C., Adams, S. Stability and ionic mobility in argyrodite-related lithium-ion solid electrolytes. *Physical Chemistry Chemical Physics journal*. 2015. Vol. 17. P. 16494-16506. doi: 10.1039/C5CP01841B [in English].
7. Lin, Y., Fang, S., Su, D., Brinkman, K.S., Chen, F. Enhancing grain boundary ionic conductivity in mixed ionic-electronic conductors. *Nature Communications*. 2015. Vol. 6. P. 6824 doi: 10.1038/ncomms7824 [in English].
8. Khanafer, M., Rivet, J., Flahaut, J. Étude du système $\text{Cu}_2\text{S} - \text{GeS}_2$. Surstructure du composé Cu_2GeS_3 . Transition de phases du composé Cu_8GeS_6 . *Bulletin de la Société chimique de France*. 1973. Vol. 3. P. 859-862. [in English].
9. Khanafer, M., Gorochoy, O., Rivet, J. Etude des propriétés électriques de phases Cu_2GeS_3 , Cu_2SnS_3 , Cu_8GeS_6 et Cu_4SnS_4 . *Materials Research Bulletin*. 1974. Vol. 9. P. 1543-1552. doi: 10.1016/0025-5408(74)90102-0 [in English].
10. Zotova, T.V., & Karagodin, Yu.A. (1976). Issledovanie haraktera fazovogo ravnovesiya v troyniyh sistemah $\text{Cu} - \text{Ge}(\text{Sn}) - \text{S}$ po razrezam $\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{Cu}_2\text{S}$ [Investigation of the character of phase equilibrium in ternary systems $\text{Cu} - \text{Ge}(\text{Sn}) - \text{S}$ along sections $\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_2 - \text{Cu}_2\text{S}$]. *Tehnologiya spetsmaterialov i integralnykh shem [Technology of special materials and integrated circuits]*. Moskva: Moskovskiy institut elektronnoy tehniki [in Russian].
11. Prince, A. Silver-germanium-sulfur. *Ternary Alloys*. 1988. Vol. 2. P. 196-202 [in English].

12. Chbani, N., Cai, X., Loireau-Lozac'h, A.M., Guiltard, M. Ternaire argent-germanium-sulfure. Quasibinaire disulfure de germanium-sulfure d'argent. Conductivite electrique du verre le plus riche en argent. *Materials Research Bulletin*. 1992. Vol. 27. P. 1355-1361. doi: 10.1016/0025-5408(92)90101-5 [in English].
13. Wang, N., Fan, A.K. An experimental study of the $\text{Ag}_2\text{S} - \text{SnS}_2$ pseudobinary join. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*. 1989. Vol. 160. P. 33-36 [in English].
14. Kohan, O.P. (1996). Vzaemodiya v sistemah $\text{Ag}_2\text{X}-\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_2$ ($\text{B}^{\text{IV}} - \text{Si, Ge, Sn; X} - \text{S, Se}$) i vlastivosti spolk [Interaction in $\text{Ag}_2\text{X}-\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_2$ systems ($\text{B}^{\text{IV}} - \text{Si, Ge, Sn; X} - \text{S, Se}$) and properties of compounds]. *Candidate's thesis*. Uzhgorod: UNU [in Ukrainian].
15. Andrae, H., Blachnik, R. Metal sulphidetetraphosphorusdekasulphide phase diagrams. *Journals of Alloys and Compounds*. 1992. Vol. 189. P. 209-215. doi: 10.1016/0925-8388(92)90709-I [in English].
16. Blachnik, R., Wickel, U. Phasenbeziehungen im System $\text{Ag}-\text{As}-\text{S}$ und thermochemisches Verhalten von Ag_7MX_6 -Verbindungen ($\text{M} = \text{P, As, Sb; X} = \text{S, Se}$). *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1980. Vol. 35. Issue 10. P. 1268-1271. doi: 10.1515/znb-1980-1019 [in English].
17. Galagovets, I.V., & Potoriy, M.V. (1991). *Poluchenie i svoystva slozhnykh poluprovodnikovyykh halkogenidov [Preparation and properties of complex semiconductor chalcogenides]*. Kiev: UMK VO [in Russian].
18. Kuhs, W.F., Schulte-Kellinghaus, M., Kramer, V., Nitsche, R. Darstellung und Kristalldaten der isomorphen Kupferthio(seleno)phosphate Cu_7PS_6 und Cu_7PSe_6 . *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1977. Vol. 32. S. 1100-1101 [in German].
19. Kuhs, W.F., Nitsche, R., Scheunemann, K. The argyrodites – A new family of the tetrahedrally close-packed structures. *Materials Research Bulletin*. 1979. Vol. 14. Issue 2. P. 241-248. doi: 10.1016/0025-5408(79)90125-9 [in English].
20. Blachnik, R., Wickel, U. Phasenbeziehungen im System $\text{Ag}-\text{As}-\text{S}$ und thermochemisches Verhalten von Ag_7MX_6 -Verbindungen ($\text{M} = \text{P, As, Sb; X} = \text{S, Se}$). *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1980. Vol. 35. P. 1268-1271. doi: 10.1515/znb-1980-1019 [in German].
21. Ishii, M., Onoda, M., Shibata, K. Structure and vibrational spectra of argyrodite family compounds Cu_8SiX_6 ($\text{X} = \text{S, Se}$) and Cu_8GeS_6 . *Solid State Ionics*. 1999. Vol. 121. P. 11-18. doi: 10.1016/S0167-2738(98)00305-1 [in English].
22. Eulenberger, G. Die Kristallstruktur der Tieftemperaturmodifikation von Ag_8GeS_6 . *Monatshefte für Chemie*. 1977. Vol. 108. P. 901-913. doi: 10.1007/BF00898056 [in German].
23. Babanlyi, M.B., Yusibov, Yu.A., & Abishev, V.T. (1993). *Trehkomponentnyie halkogenidy na osnove medi i serebra [Ternary chalcogenides based on copper and silver]*. Baku: BGU [in Russian].
24. Gorochov, O. Les composés Ag_8MX_6 ($\text{M} = \text{Si, Ge, Sn et X} = \text{S, Se, Te}$). *Bulletin de la Société Chimique de France*. 1968. Vol. 6. P. 2263-2275 [in French].
25. Wang, N. New data for Ag_8SnS_6 (canfeldite) and Ag_8GeS_6 (argyrodite). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*. 1978. P. 269-272 [in English].
26. Bereznyuk, O.P., Olekseyuk, I.D., Petrus, I.I., Smityuh, O.V. (2020). Sistema $\text{Ag}_2\text{S} - \text{SnS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ [System $\text{Ag}_2\text{S} - \text{SnS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$]. *Visnik Odeskogo natsionalnogo universitetu – Bulletin of Odessa National University*, 25, 32-44 [in Ukrainian].
27. Berezniuk, O.P., Petrus', I.I., Olekseyuk, I.D., Smitiukh, O.V., Zamuruyeva, O.V., Nakhod, V.V. The $\text{Ag}_2\text{S} - \text{GeS}_2 - \text{P}_2\text{S}_5$ system at 500 K. *Journal of Solid State Chemistry*. 2022. Vol. 313. doi: 10.1016/j.jssc.2022.123340 [in English].
28. Blachnik, R., Gather, B., Andrae, E. Ternary chalcogenide systems X: The quasiternary system $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Cu}_2\text{S} - \text{P}_4\text{S}_{10}$. *Journal of Thermal Analysis*. 1991. Vol. 37. P. 1289-1298. doi: 10.1007/BF0191386 [in English].
29. Bagheri, S.M., Alverdiyev, I.J., Imamaliyeva, S.Z., Babanly, M.B. The Phase equilibria in the $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Cu}_8\text{GeSe}_6$ System and Thermodynamic Properties of Solid Solutions. *Chemistry Journal*. 2014. Vol. 4. № 2. P. 26-31 [in English].
30. Alverdiyev, I.J., Aliev, Z.S., Bagheri, S.M., Mashadiyeva, L.F., Yusibov, Y.A., Babanly, M.B. Study of the $2\text{Cu}_2\text{S} + \text{GeSe}_2 \leftrightarrow \text{Cu}_2\text{Se} + \text{GeS}_2$ recip-rocal system and thermodynamic properties of the $\text{Cu}_8\text{GeS}_{6-x}\text{Se}_x$ solid solutions. *Journals of Alloys and Compounds*. 2017. Vol. 691. P. 255-262 [in English].
31. Abbasova, V.A., Alverdiyev, I.J., Rahimoglu, E., Mirzoyeva, R.J., Babanly, M.B. Phase relations in the $\text{Cu}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_8\text{GeS}_6$ system and some properties of solid solutions. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2017. Vol. 2. P. 25-29 [in English].
32. Abbasova, V.A., Alverdiyev, I.J., Mashadiyeva, L.F., Yusibov, Y.A., Babanly, M.B. Phase relations in the $\text{Cu}_8\text{GeSe}_6 - \text{Ag}_8\text{GeSe}_6$ system and some properties of solid solutions. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2017. Vol. 1. P. 30-33 [in English].
33. Bagheri, S.M., Alverdiyev, I.C., Babanly, M.B. $\text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_8\text{GeSe}_6$ sistem in dəfazatarazliqlarivəbərək. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2014. № 3. S. 13-21 [in Azerbaijan].
34. Aliyeva, Z.M., Bagheri, S.M., Aliev, Z.S., Alverdiyev, I.J., Yusibov, Yu.A., Babanly, M.B. The phase equilibria in the $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ system. *Journals of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 611. P. 395-400. doi: 10.1016/j.jallcom.2014.05.112 [in English].

35. Bagheri, S.M., Imamaliyeva, S.Z., Mashadiyeva, L.F., Babanlı, M.B. Phase equilibria in the Ag_8SnS_6 – Ag_8SnSe_6 system. *International Journal of Advanced Technology & Science*. 2014. Vol. 4. № 2. P. 291-296 [in English].
36. Alieva, Z.M., Bagheri, S.M., Alverdiyev, I. Dzh., Yusibov, Yu.A., Babanlı, M.B. Fazovye ravnovesiya v kvazitroynoy sisteme Ag_2Se – Ag_8GeSe_6 – Ag_8SnSe_6 [Phase equilibria in a quasi-ternary system Ag_2Se – Ag_8GeSe_6 – Ag_8SnSe_6]. *Neorganicheskie materialy* – Inorganic materials, 50, 1063-1068 [in Russia].
37. Schwarzmüller, S., Souchay, D., Günther, D., Gocke, A., Dovgaliuk, I., Miller, S.A., Snyder, G.J., Oeckler, O. Argyrodite-Type $\text{Cu}_8\text{GeSe}_{6-x}\text{Te}_x$ ($0 \leq x \leq 2$): Temperature-Dependent Crystal Structure and Thermoelectric Properties. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*. 2018. Vol. 644. № 24. P. 1915-1922. doi: 10.1002/zaac.201800453 [in English].
38. Ashirov, G.M. Phase equilibria in the Ag_8SiTe_6 – Ag_8GeTe_6 system. *Azerbaijan Chemical Journal*. 2022. Vol. 1. P. 89-93. doi: 10.32737/0005-2531-2022-1-89-93 [in English].
39. Əmiraslanova, A.C., Babanlı, K.N., Alverdiyev, I.J., Yusibov, Y.Ə. $\text{Ag}_8\text{SiS}_6(\text{Se}_6)$ – Ag_8SiTe_6 sistemlərində faza tarazlıqları: Actual problems of modern nature and economic sciences, Ganja, 6-7 may 2021. Ganja, 2021. P. 27-29 [in Azerbaijan].
40. Piskach, L.V., Parasyuk, O.V., Olekseyuk, I.D. Interaction of argyrodite family compounds with the chalcogenides of II-b elements. *Journals of Alloys and Compounds*. 2006. Vol. 421. № 1-2. P. 98-104 [in English].

УДК 544.[344+228]:546.[56+57+85+81]'22

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-2>**Орися БЕРЕЗНЮК***аспірант кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025, e-mail: bereznuk.orysia@vnu.edu.ua***Мохамед АЛРІКІК***аспірант кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025, e-mail: alrikik.mokhamed@vnu.edu.ua***Юрій КОГУТ***кандидат хімічних наук, старший лаборант кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025, e-mail: kogut.yuri@vnu.edu.ua***ORCID:** 0000-0003-1632-5849**Людмила ПІСКАЧ***кандидат хімічних наук, професор кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025, e-mail: piskach.lyudmyla@vnu.edu.ua***ORCID:** 0000-0003-3117-4006

Бібліографічний опис статті: Березнюк, О., Алрікік, М., Когут, Ю., Піскач, Л. (2022). Фазові рівноваги в системах $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 17–30, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-2>

ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СИСТЕМАХ $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$

Встановлено фазові рівноваги в квазіпотрійних системах $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$. Отримані зразки досліджували рентгенофазовим, мікроструктурним та диференційно-термічним методами аналізу. За результатами дослідження побудовано ізотермічні за температури 500 К та ключові політермічні перерізи цих систем.

Встановлено, що в купрумівмісній системі при температурі відпау є шість двофазних рівноваг між бінарними та тернарними сполуками обмежуючих перерізів з твердими розчинами до 5-10 мол. %. Три політермічні перерізи є квазібінарними системами евтектичного типу: $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$, $\text{CuSbS}_2 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$, $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$ з координатами: 20, 7 та 13 мол. % Cu_2SnS_3 при 866 К, 796 К, 765 К відповідно та три – неквазібінарні: $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$, $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$, $\text{Sb}_2\text{SnS}_5 - \text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ оскільки $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ та Cu_4Sn_4 утворюються твердофазно, а Sb_2SnS_5 – інконгруентно.

В системі $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ при 500 К на перетині $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ та $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$ вперше встановлено існування нової тетрарної сполуки складу $\text{Ag}_{11}\text{SnS}_3\text{S}_{12}$; присутні дев'ять двофазних рівноваг між десятьма сполуками; розчинність по перерізах складає 5-15 мол. %. Квазібінарними системами є п'ять ($\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$, $\text{AgSbS}_2 - \text{SnS}_2$) із семи перерізів ($\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ і $\text{AgSbS}_2 - \text{Sb}_2\text{SnS}_5$ є неквазібінарними через перитектичне утворення $\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ та Sb_2SnS_5). Представлені діаграми стану артемувмісної системи $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$ та $\text{AgSbS}_2 - \text{SnS}_2$ евтектичного типу з координатами: 10 мол. % Ag_8SnS_6 при 738 К, 12 і 30 мол. % Ag_8SnS_6 при 747 і 742 К, 30 мол. % Ag_2SnS_3 при 750 К і 25 мол. % SnS_2 при 741 К.

Тетрарна сполука $\text{Ag}_{11}\text{SnS}_3\text{S}_{12}$ плавиться конгруентно при 920 К та володіє поліморфізмом при 649 К і є фазою змінного складу, її область гомогенності простягається по перетину $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ від 16 до 27 мол. % Ag_8SnS_6 в межах нонваріантних евтектичних процесів і від 20 до 22 мол. % Ag_8SnS_6 при 500 К.

Нонваріантні процеси, що пов'язані з фазовими переходами на основі Cu_3SbS_3 , AgSbS_2 та $\text{Ag}_{11}\text{SnS}_3\text{S}_{12}$, мають евтектоїдний характер.

Ключові слова: ізотермічні перерізи; фазові діаграми; тетрарна сполука; евтектична взаємодія.

Orysia BEREZNYUK*graduate Student at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025, e-mail: bereznuk.orysia@vnu.edu.ua*

Mohammed ALRIQIQ

graduate Student at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025, e-mail: Mohammed.Alriqiq@vnu.edu.ua

Yuri KOGUT

PhD (Chemistry), Head of Laboratory at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025, e-mail: kogut.yuri@vnu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-1632-5849

Lyudmyla PISKACH

PhD (Chemistry), Professor at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025, e-mail: piskach.lyudmyla@vnu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-3117-4006

To cite this article: Bereznyuk, O., Alriqiq, M., Kogut, Y., Piskach, L. (2022). Fazovi rivnovagi v sistemakh $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ [Phase equilibria in the systems $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 17–30, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-2>

PHASE EQUILIBRIA IN THE SYSTEMS $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$

Phase equilibria in the quasi-ternary systems $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ were investigated by X-ray diffraction, differential thermal and microstructure analysis methods. Isothermal sections at 500 K and key vertical sections of these systems were plotted from obtained results.

It was established that the copper-containing system at the annealing temperature features six two-phase equilibria between binary and ternary compounds of the boundary side systems, with solid solutions upto 5-10 mol. %. Three vertical sections, $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$, $\text{CuSbS}_2 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$, $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$, are quasi-binary systems of the eutectic type, with the coordinates 20, 7, and 13 mol. % Cu_2SnS_3 at 866 K, 796 K, 765 K, respectively. Two other sections, $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$, $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_4\text{SnS}_4$, are non-quasibinary since $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ and Cu_4SnS_4 are formed in the solid phase, and Sb_2SnS_5 melts incongruently.

The existence of a new quaternary compound of the $\text{Ag}_{11}\text{SnSb}_3\text{S}_{12}$ composition was established for the first time in the $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ system at 500 K at the crossing of $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ and $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$ sections. Nine two-phase equilibria between ten compounds were found in the system, with the solid solubility of 5-15 mol. % along the sections. Five of seven vertical sections are quasi-binary systems ($\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$, $\text{AgSbS}_2 - \text{SnS}_2$); the $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ and $\text{AgSbS}_2 - \text{Sb}_2\text{SnS}_5$ sections are non-quasibinary due to peritectic formation of $\text{Ag}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ and Sb_2SnS_5 . The presented phase diagrams of the silver-containing sections $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$, $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$, and $\text{AgSbS}_2 - \text{SnS}_2$ are of the eutectic type with coordinates 10 mol. % Ag_8SnS_6 at 738 K, 12 and 30 mol. % Ag_8SnS_6 at 747 K and 742 K, 30 mol. % Ag_2SnS_3 at 750 K, and 25 mol. % SnS_2 at 741 K, respectively.

The quaternary compound $\text{Ag}_{11}\text{SnSb}_3\text{S}_{12}$ melts congruently at 920 K and has a polymorphous transition at 649 K. The phase has variable composition, its homogeneity range extends from 16 to 27 mol. % Ag_8SnS_6 at the temperatures of invariant eutectic processes, and from 20 to 25 mol. % Ag_8SnS_6 at 500 K.

The invariant processes associated with phase transitions of Cu_3SbS_3 , AgSbS_2 and $\text{Ag}_{11}\text{SnSb}_3\text{S}_{12}$ have eutectoid character.

Keywords: isothermal sections; phase diagrams; quaternary compound; eutectic interaction.

1. Вступ

Халькогеніди перехідних металів систем $\{\text{Cu}, \text{Ag}\} - \text{Sn} - \text{S}$ є перспективними напівпровідниковими сполуками, володіють цінними властивостями і вже знайшли практичне застосування. Зокрема, Cu_2S використовують в конденсаторах великої ємності, у пристроях пам'яті – мемраторах, в сонячних елементах, в якості холодних катодів та нанорозмірних перемикачів [1], аргентум (I) сульфід є матеріалом для розробки фотоелектричних пристроїв, термоелектричних матеріалів і датчиків [2, 3], станум (IV) сульфід –

потенційний фотокаталізатор видимого світла [4]. Тернарні сполуки, що утворюються в цих системах є матеріалами для практичного використання: Cu_2SnS_3 – в оптоакустиці, нелінійній оптиці та фотоелектричних елементах [5-7]; Ag_8SnS_6 як фотокаталітичний матеріал [8].

Науковою основою пошуку нових або вдосконалення властивостей вже відомих матеріалів є дослідження фізико-хімічної взаємодії у багатокомпонентних системах, встановлення фазового складу, виявлення проміжних сполук та меж існування твердих розчинів на їх основі.

Вихідними компонентами квазіпотрійних систем $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ виступають бінарні сполуки Cu_2S , Ag_2S , SnS_2 , Sb_2S_3 , які володіють конгруентним характером плавлення. Кристалографічні характеристики всіх модифікацій бінарних сполук та їх температури плавлення наведено в табл. 1.

У чотирьох обмежуючих системах $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$ та $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{SnS}_2$ утворюються тернарні сполуки Cu_3SbS_3 , CuSbS_2 , Cu_2SnS_3 , Ag_3SbS_3 , AgSbS_2 , Ag_8SnS_6 , Ag_2SnS_3 з конгруентним характером плавлення, Cu_4SnS_4 , $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ за твердофазними та $\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ за перитектичною реакціями. Ці сполуки характеризуються змішаним іонно-ковалентним зв'язком з різним ступенем іонності. Кристалографічні характеристики та температури плавлення тернарних фаз наведено в табл. 2. В літературі [18, 19] наведено відомості про існування в системі $\text{SnS}_2 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ сполуки еквімолярного складу Sb_2SnS_5 . Відомо, що тернарна фаза володіє інконгруентним характером плавлення при 733 К, проте, її кристалографічні характеристики відсутні.

В літературі наведені відомості про взаємодію у системах $\text{Cu}_2\text{SnS}_3 - \text{Cu}_3\text{SbS}_3$ [20], $\text{Cu}_2\text{SnS}_3 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ [19], $\text{Ag}_2\text{SnS}_3 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ [21], $\text{Ag}_2\text{SnS}_3 - \text{AgSbS}_2$ [22]. Автори вказують, що дані перерізи є квазібінарними та мають евтектичний тип взаємодії з наступними координатами евтектичних точок: 25 мол. % Cu_2SnS_3 при 780 К, 30 мол. % Cu_2SnS_3 при 750 К, 60 мол. % Ag_2SnS_3 при 750 К, 30 мол. % Ag_2SnS_3 при 700 К відповідно.

Зважаючи на вищенаведене, детальне дослідження систем $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ актуально.

2. Експериментальна частина

Синтез зразків проводили ампульним методом із простих речовин високої чистоти (99,99 мас. %), які сплавили в запаяних, попередньо вакуумованих (10^{-2} Па) кварцових контейнерах. Нагрів здійснювали із швидкістю 40 К/год. Максимальна температура синтезу становила 1170 К, гомогенізуючий відпал проводили при 500 К протягом 500 год. Ідентифікацію відомих сполук та дослідження отриманих сплавів здійснювали методами рентгенівського фазового (РФА) (ДРОН 4-13, $\text{CuK}\alpha$ випромінювання, мікроструктурного (МСА) (металографічний мікроскоп Leica VMHT Auto) та диференціального термічного (ДТА) (Pt/Pt-Rh термопара) аналізів.

Співставлення результатів теоретично розрахованих та експериментальних дифрактограм проводили з допомогою програми Powder Cell [45]. Для проведення фазового аналізу використовували пакети програм Full Prof [46].

3. Результати та їх обговорення

Для дослідження фазових рівноваг в квазіпотрійних системах $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ було синтезовано близько 70 сплавів.

При даних умовах досліджень підтверджено існування бінарних Cu_2S , Ag_2S , Sb_2S_3 , SnS_2 та тернарних сполук Cu_3SbS_3 (ПГ $I\bar{4}3m$), CuSbS_2 (ПГ $Pnma$), Cu_4SnS_4 (ПГ $Pnma$), Cu_2SnS_3 (ПГ $I-42m$), $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ (ПГ $R-3m$), Ag_3SbS_3 (ПГ $R3c$), AgSbS_2 (ПГ Cc), Ag_8SnS_6 (ПГ $F\bar{4}3m$), яка доволі швидко переходить в ПГ $Pna2_1$), Ag_2SnS_3 (ПГ Cc), $\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ (ПГ $P4_132$). Результати ідентифікації цих сполук добре узгоджуються з літературними даними. Сполука складу Sb_2SnS_5 , про яку повідомляють в [18, 19], утворюється при 765 К.

Таблиця 1

Кристалографічні характеристики бінарних сполук

Сполука	T_m , К	ПГ*	Параметри ґратки, нм	Л-ра
$\alpha\text{-Cu}_2\text{S}$	1403 [9]	$P2_1/c$	$a=1,5246; b=1,1884; c=1,3494; \beta=116,35^\circ$	[9]
$\beta\text{-Cu}_2\text{S}$		$P6_3/mmc$	$a=0,634$	
$\gamma\text{-Cu}_2\text{S}$		$Fm\bar{3}m$	$a=0,5582$	
$\alpha\text{-Ag}_2\text{S}$	1115 [10]	$P2_1/c$	$a=0,4231; b=0,6930; c=0,8293; \beta=110,71^\circ$	[11, 12]
$\beta\text{-Ag}_2\text{S}$		$Im\bar{3}m$	$a=0,4890$	
$\gamma\text{-Ag}_2\text{S}$		$F\bar{4}3m$	$a=0,6340$	
Sb_2S_3	823 [13]	$Pnma$	$a=1,1311; b=0,3836; c=1,1229$	[14]
$\alpha\text{-SnS}_2$	1143 [15]	$P\bar{3}m1$	$a=0,3646; c=0,5869$	[16, 17]
$\beta\text{-SnS}_2$		$P6_3mc$	$a=0,3645; c=1,1802$	

* ПГ – просторова група

Кристалографічні характеристики тернарних сполук

Сполука	T_m, K	ПГ*	Параметри ґратки, нм	Л-ра
Cu_3SbS_3	885 [23]	$P2_1/c$	$a=0,7814; b=1,0242; c=1,3273;$ $\beta=90,3^\circ$	[24]
		$I-43m$	$a=1,0300$	[25]
		$Pnma$	$a=0,7808; b=1,0252; c=0,6587;$	[25]
$CuSbS_2$	825 [23]	$Pnma$	$a=0,6008; b=0,3784; c=1,4456$	[26]
		$Pbmn$	$a=1,4465; b=0,6008; c=0,3784$	[27]
Cu_2SnS_3	1123 [28]	Cc	$a=0,6653; b=1,1537; c=0,6665; \beta=109,39^\circ$	[29]
		$I-42m$	$a=0,5413; c=1,0824$	[30]
		$P1$	$a=0,6640; b=1,1510; c=1,9930;$ $\alpha=90^\circ; \beta=109,45^\circ; \gamma=90^\circ$	[31]
Cu_4SnS_4	1083 [28]	$Pnma$	$a=1,3558; b=0,7681; c=0,6412$	[32]
$Cu_4Sn_7S_{16}$	...	$R-3mH$	$a=0,7372; c=3,6010$	[30]
HTM- Ag_3SbS_3	780 [33];	$P2_1/c$	$a=0,6840; b=1,5840; c=0,624;$ $\beta=117,25^\circ$	[35]
BTM- Ag_3SbS_3	465 [34]**			
HTM- $AgSbS_2$	800 [33];	Cc	$a=1,2862; b=0,4410; c=1,3220;$ $\beta=98,6^\circ$	[38]
HTM- Ag_8SnS_6	1121 [39];	$Pna2_1$	$a=1,5298; b=0,7548; c=1,0699;$	[41]
BTM- Ag_8SnS_6	445**[40]; 455**[39]	$F\bar{4}3m$	$a=1,085$	[40]
Ag_2SnS_3	936 [39]	Cc	$a=0,627; b=0,5796; c=1,3179;$ $\beta=93,27^\circ$	[39]
		$B2/b$	$a=0,803; b=1,0815; c=0,5085;$ $\beta=108,27^\circ$	[42]
		$C2/c$	$a=0,6632; b=1,1463; c=1,3238;$ $\beta=98,008^\circ$	[43]
$Ag_4Sn_8S_8$	...	$P4_132$	$a=1,08089$	[44]

* ПГ – просторова група

** $T_{фн}$ – температура фазового переходу

Квазіпотрійну систему $Cu_2S - Sb_2S_3 - SnS_2$ вивчено по перерізах $Cu_3SbS_3 - Cu_4SnS_4$, $Cu_3SbS_3 - Cu_2SnS_3$, $CuSbS_2 - Cu_2SnS_3$, $Sb_2S_3 - Cu_2SnS_3$ та $Sb_2S_3 - Cu_4Sn_7S_{16}$ та по значній кількості складів по усій системі. Встановлено, що при температурі відпалу (500 К) є шість двофазних рівноваг між бінарними та тернарними сполуками обмежувачих перерізів (рис. 1), а основний пік від SnS_2 проявляється в усіх зразках трифазної області, дотичної до станум (IV) сульфиду і навіть у сусідніх сполуках.

Три політермічні перерізи, де вихідні конгруентні сполуки, є квазібінарними системами.

Переріз $Cu_3SbS_3 - Cu_2SnS_3$ квазібінарний, його діаграма стану відноситься до евтектичного типу, координати евтектичної точки: 20 мол. % Cu_2SnS_3 та 866 К (рис. 2). Фазовий перехід на основі Cu_3SbS_3 є евтектоїдним і протікає зі зниженням від 633 до 592 К. Розчинність на основі Cu_3SbS_3 доходить до 10 мол. %

Cu_2SnS_3 при 500 К, а на основі Cu_2SnS_3 складає 7-8 мол. % Cu_3SbS_3 (рис. 2-3).

Переріз $CuSbS_2 - Cu_2SnS_3$ квазібінарний, евтектичного типу (рис. 4). Евтектика має склад ~7 мол. % Cu_2SnS_3 та 796 К. Розчинність на основі Cu_2SnS_3 при евтектичній температурі становить 35 мол. %, зі зниженням температури область твердого розчину звужується і при 500 К складає ~12 мол. %; розчинність на основі $CuSbS_2$ при температурі відпалу не виявлена (рис. 4-5).

Переріз $Sb_2S_3 - Cu_2SnS_3$ квазібінарний, евтектичного типу (рис. 6). Евтектичній точці відповідає склад 13 мол. % Cu_2SnS_3 та температура 765 К. Концентраційна межа розчинності при температурі відпалу на основі Sb_2S_3 складає 5 мол. % Cu_2SnS_3 , а на основі $Cu_2SnS_3 - 8$ мол. % Sb_2S_3 ; в рівновазі знаходяться Sb_2S_3 (ПГ $Pnma$) та Cu_2SnS_3 (ПГ $I-42m$) (рис. 7).

Перерізи $Cu_3SbS_3 - Cu_4SnS_4$, $Sb_2S_3 - Cu_4Sn_7S_{16}$ та $Sb_2SnS_5 - Cu_4Sn_7S_{16}$ неквазібінарні, оскільки

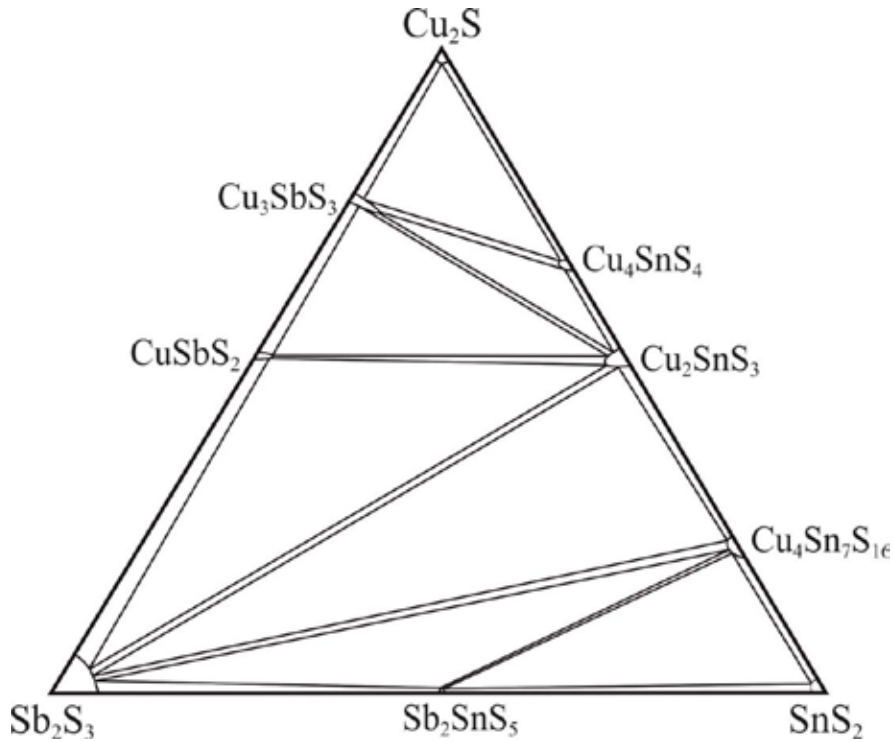


Рис. 1. Ізотермічний переріз системи $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ за 500 К

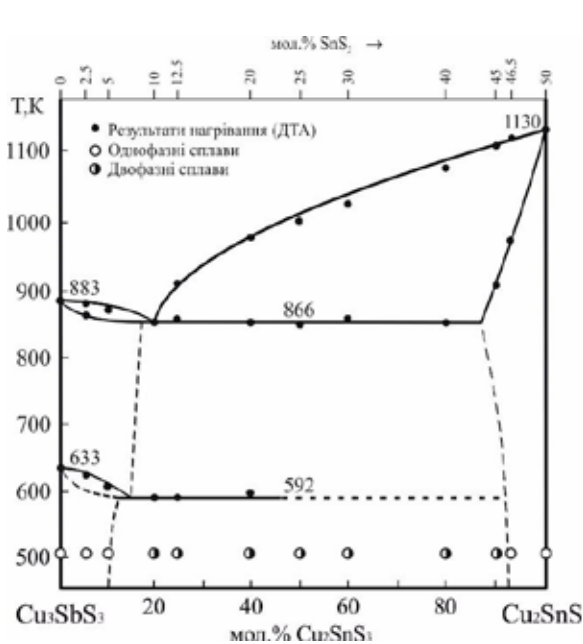


Рис. 2. Діаграма стану перерізу $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$

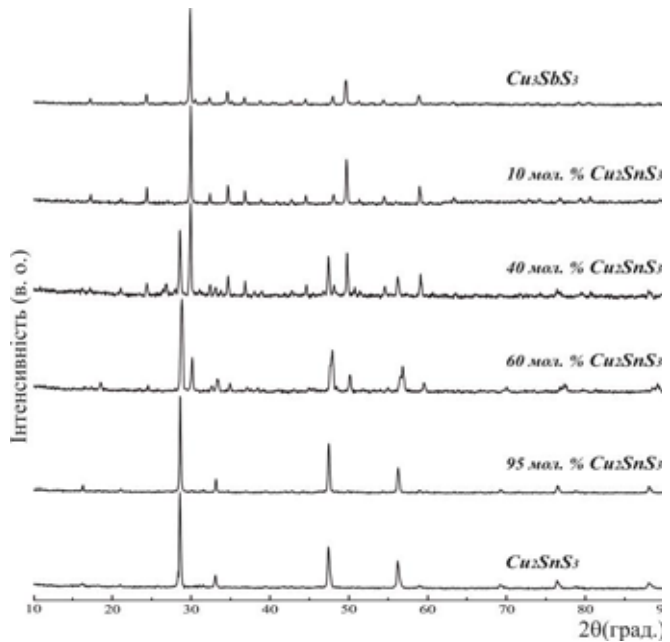


Рис. 3. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$

станумовмісні сульфідні $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ та Cu_4SnS_4 утворюються твердофазно, а Sb_2SnS_5 інконгруентно. Однак в підсолідусній області вони показують двофазну рівновагу між Cu_3SbS_3 (ПГ $I\bar{4}3m$) і Cu_4SnS_4 (ПГ $Pnma$) (рис. 8) та між Sb_2S_3 (ПГ $Pnma$) і $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ (ПГ $R-3m$) (рис. 9) та між

Sb_2SnS_5 і $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ (ПГ $R-3m$). Розчинність на основі цих сполук є незначною.

Отже, за результатами дослідження шести перерізів (трьох квазібінарних та трьох неквазібінарних) ця купрумівмісна квазіпотрійна система при 500 К поділяється на сім підсистем.

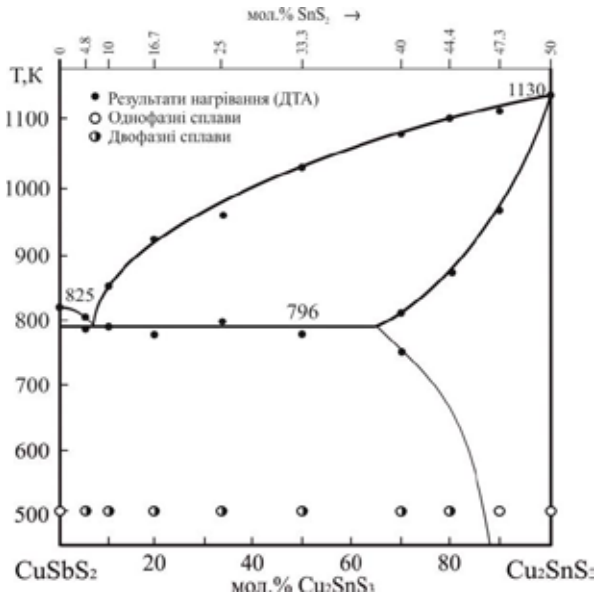


Рис. 4. Діаграма стану перерізу $\text{CuSbS}_2 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$

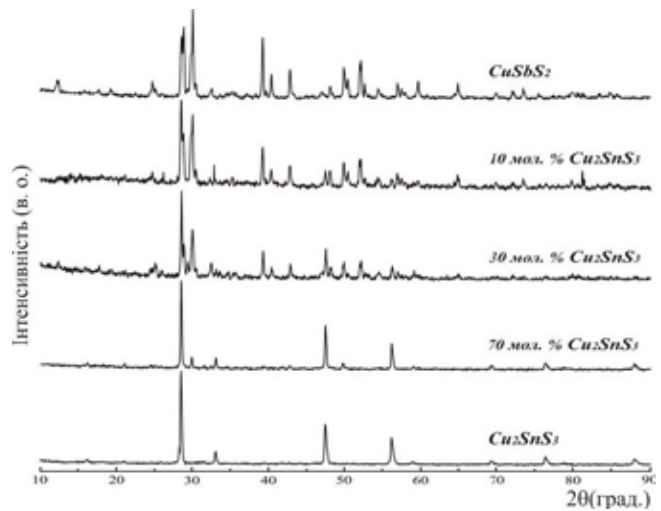


Рис. 5. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{CuSbS}_2 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$

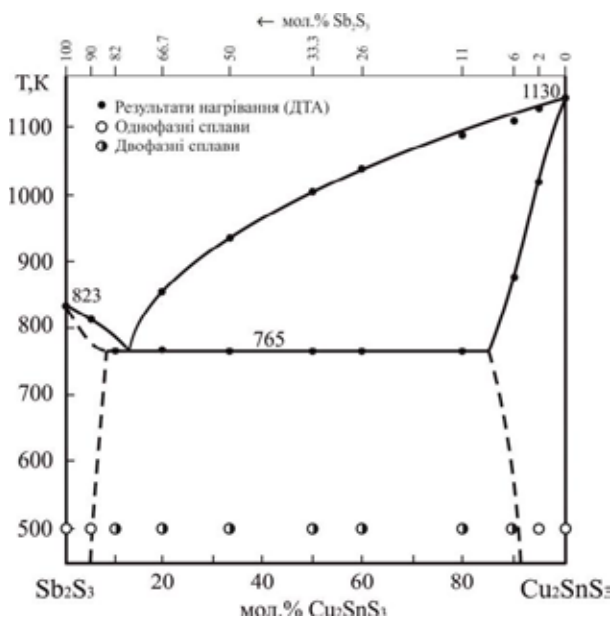


Рис. 6. Діаграма стану перерізу $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$

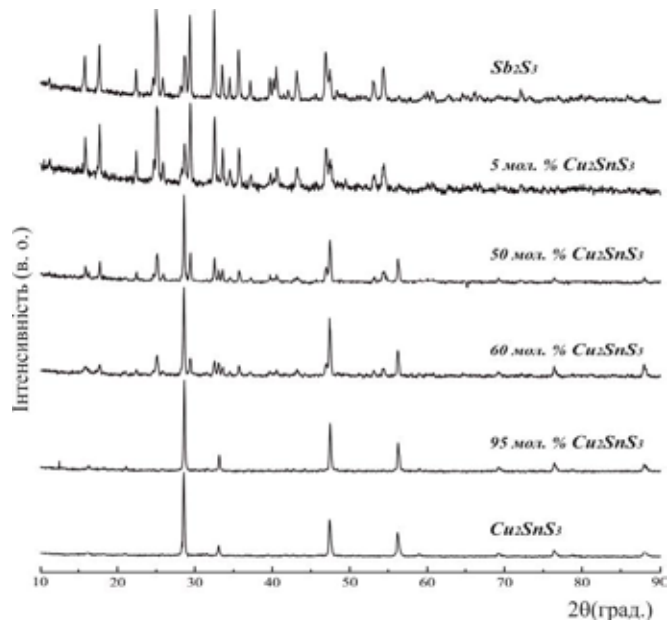


Рис. 7. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_2\text{SnS}_3$

Фазові рівноваги в системі $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ за температури 500 К представлені ізотермічним перерізом (рис. 10). Сплави усіх зразків, що знаходяться в рівновазі із станум (IV) сульфідом містять відбиття основного піка від SnS_2 . Не підтверджена квазібінарність перерізу $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$ про що вказують в роботі [43]. Цей переріз пересікають три рівноваги $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ (SnS_2 , Sb_2SnS_5).

В цій системі на перетині $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{Sn}_6$ та $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$ вперше встановлено існування нової тетраарної сполуки складу $\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3\text{Sn}_{12}$; присутні дев'ять двофазних рівноваг між десятьма сполуками системи. На основі більшості сполук існує твердофазна розчинність.

Квазібінарними системами у всьому концентраційному та температурному інтервалах є п'ять із семи перерізів.

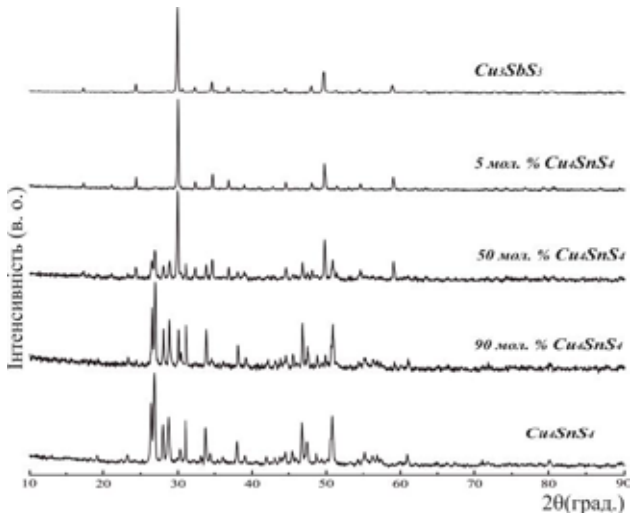


Рис. 8. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{Cu}_3\text{SbS}_3 - \text{Cu}_4\text{SnS}_4$

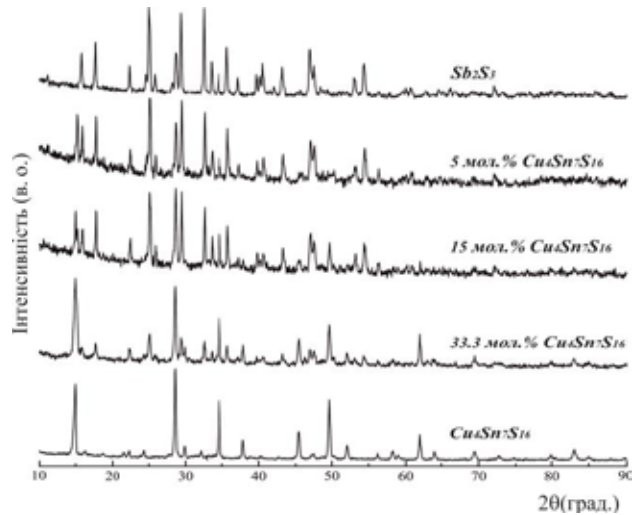


Рис. 9. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$

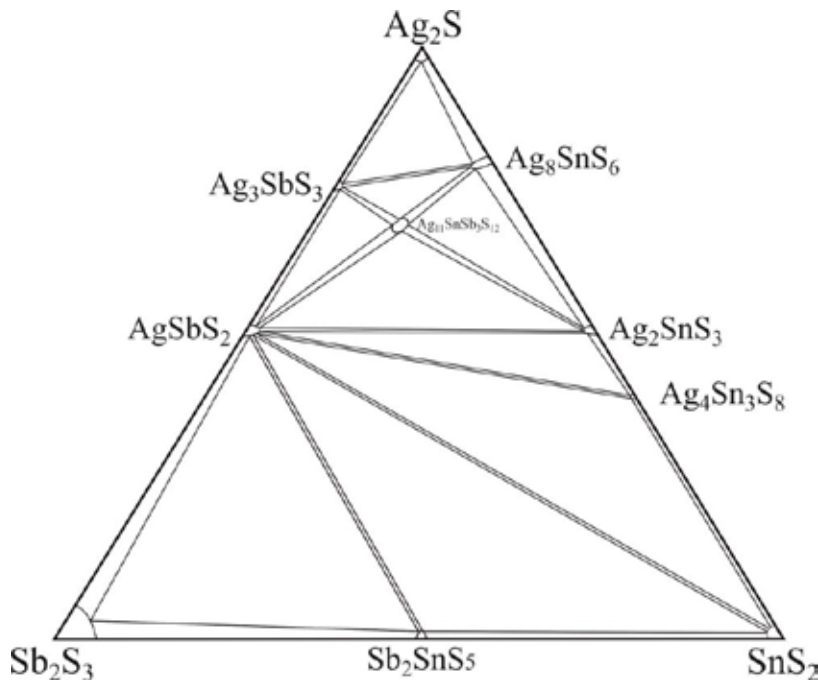


Рис. 10. Ізотермічний переріз системи $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ за 500 К

Переріз $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ квазібінарний, евтектичного типу з координатами евтектичної точки: 10 мол. % Ag_8SnS_6 , 738 К (рис. 11). Розчинність на основі піраргіриту при 500 К складає 5 мол. %, а на основі аргіродитного сульфіді – близько 15 мол. % і є найбільшою в системі. При евтектичній температурі розчинність складає 8 і 22 мол. % відповідно. В рівновазі при 500 К за даними РФА перебувають тверді розчини на основі ВТМ обох вихід-

них сполук Ag_3SbS_3 тригональної (ПГ $R3c$) та Ag_8SnS_6 кубічної сингоній (ПГ $F43m$) (рис. 12), твердофазні переходи яких знаходяться при нижчих температурах. ВТМ важко зафіксувати, так як незалежно від умов відпалу та гарту ВТМ з часом переходять у НТМ і фіксуються ендо- та екзотермічними ефектами при проведенні ДТА.

Переріз $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ квазібінарний (рис. 13). При співвідношенні компонен-

тів 3:1 утворюється тетрарна тіосіль складу $Ag_{11}Sb_3SnS_{12}$, що плавиться конгруентно при 920 К та володіє поліморфізмом з переходом при 649 К і є фазою змінного складу, її область гомогенності простягається від 16 до 27 мол. % Ag_8SnS_6 в межах нонваріантних

евтектичних процесів і від 20 до 25 мол. % Ag_8SnS_6 при 500 К. Тверді розчини на основі тернарних сполук кристалізуються в ПГ Cc ($AgSbS_2$) та ПГ $F\bar{4}3m$ (Ag_8SnS_6) (рис. 13-14), структура тетравної фази не встановлена. $Ag_{11}Sb_3SnS_{12}$ утворює евтектики з вихідними

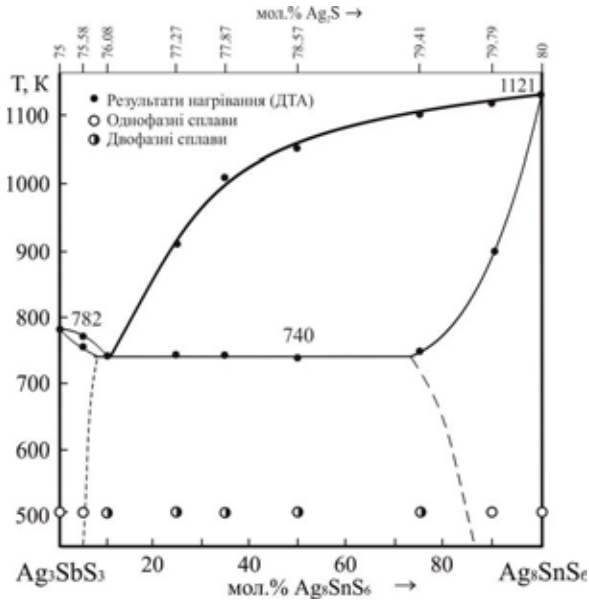


Рис. 11. Діаграма стану перерізу $Ag_3SbS_3 - Ag_8SnS_6$

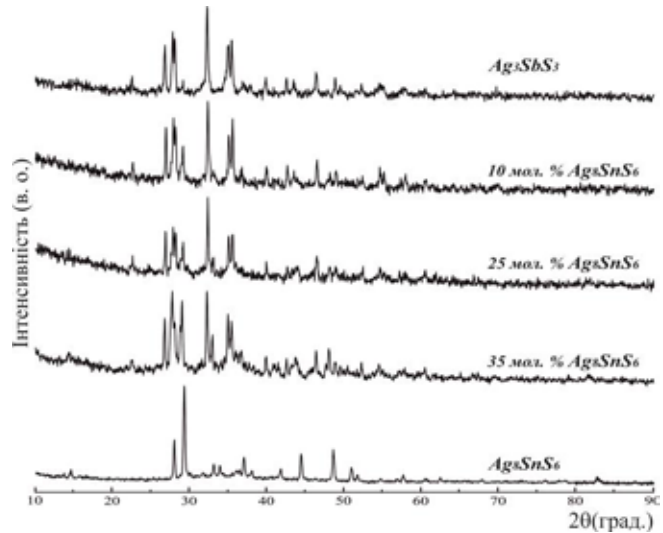


Рис. 12. Дифрактограми типових зразків перерізу $Ag_3SbS_3 - Ag_8SnS_6$

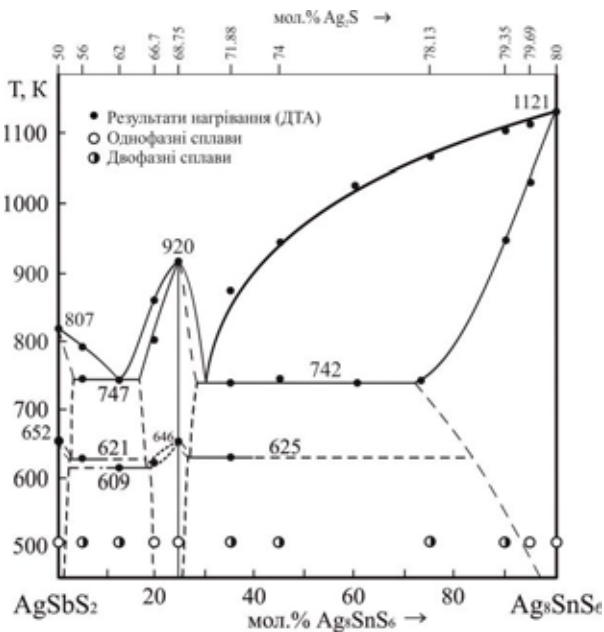


Рис. 13. Діаграма стану перерізу $AgSbS_2 - Ag_8SnS_6$

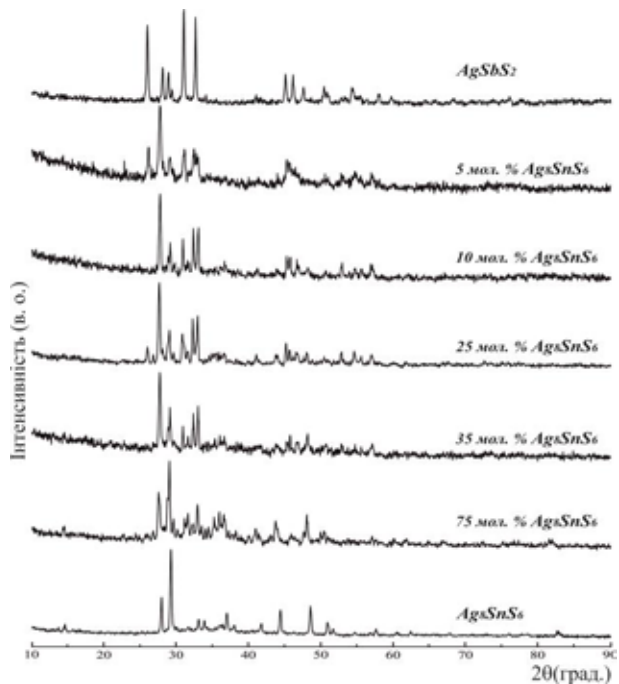


Рис. 14. Дифрактограми типових зразків перерізу $AgSbS_2 - Ag_8SnS_6$

сульфідами. Координати евтектичних точок: 12 мол. % Ag_8SnS_6 747 К, 30 мол. % Ag_8SnS_6 742 К. На основі AgSbS_2 область гомогенності незначна, розчинність на основі Ag_8SnS_6 складає більше 25 мол. % при 742 К, більше 5 мол. % при 500 К.

Так як сполука $\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3\text{SnS}_{12}$ плавиться конгруентно, вона бере участь в триангуляції квазіпотрійної системи $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$, тому буде вивчено взаємодію і по перерізу $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$, що перетинає цей переріз при складі тетравної фази, в повному температурному інтервалі.

На даний момент відомо, що переріз $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$ при 500 К є триангулюючим з утворенням тетравної сполуки $\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3\text{SnS}_{12}$ при співвідношенні компонентів 3:1. Розчинність на основі сполук сягає не більше 5 мол. % (рис. 15).

На відміну від представлених перерізів $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ є неквазібінарним перерізом через перитектичне утворення $\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$ з первинною кристалізацією при цьому складі SnS_2 , однак при температурі відпалу рівновага є двофазною з розчинністю до 5 мол. % на основі вихідних сполук AgSbS_2 та $\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$, які крис-

талізуються в моноклінній (ПГ Cc) та кубічній (ПГ $P4_132$) структурах відповідно (рис. 16).

Переріз $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$, як і попередні, є квазібінарним і відноситься до евтектичного типу, координати евтектичної точки: 30 мол. % Ag_2SnS_3 і 750 К (рис. 17). Области розчинності на основі AgSbS_2 та Ag_2SnS_3 знаходяться в межах 5 мол. % при температурі відпалу (рис. 18), а при евтектичній температурі є значно більшими до 15 та 11 мол. % відповідного компонента. Із збільшенням вмісту Ag_2SnS_3 проходить евтектоїдний процес і температура твердофазного переходу $\text{VTM} \leftrightarrow \text{HTM}$ AgSbS_2 знижується на 25 К.

Переріз $\text{AgSbS}_2 - \text{SnS}_2$ також є квазібінарним, евтектичного типу з координатами евтектичної точки: 25 мол. % SnS_2 при 741 К (рис. 19). Области розчинності на основі AgSbS_2 та SnS_2 складають 3 та 5 мол. % відповідно (рис. 20). В той час розчинність на основі станум (IV) сульфідів при евтектичній температурі є значно більшою і становить близько 30 мол. % (рис. 19-20).

Аргентумовмісна квазіпотрійна система при 500 К триангулюється двофазними на дев'ять підсистем.

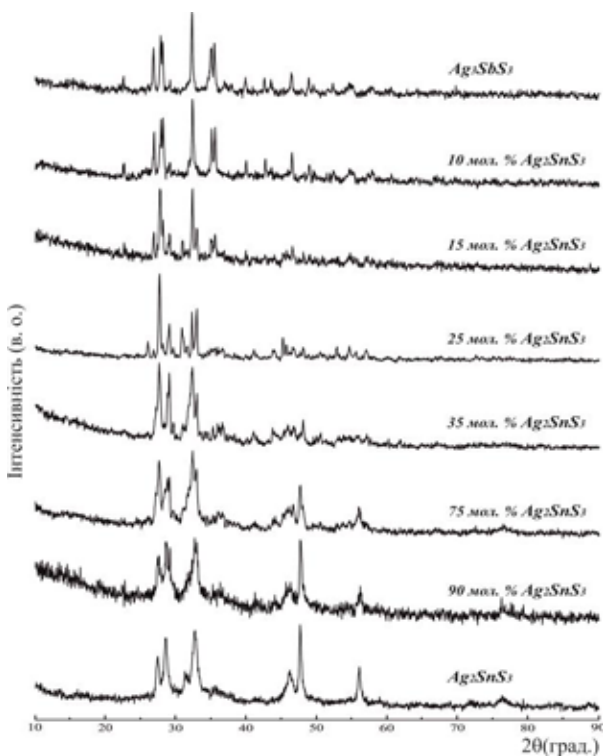


Рис. 15. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{Ag}_3\text{SbS}_3 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$

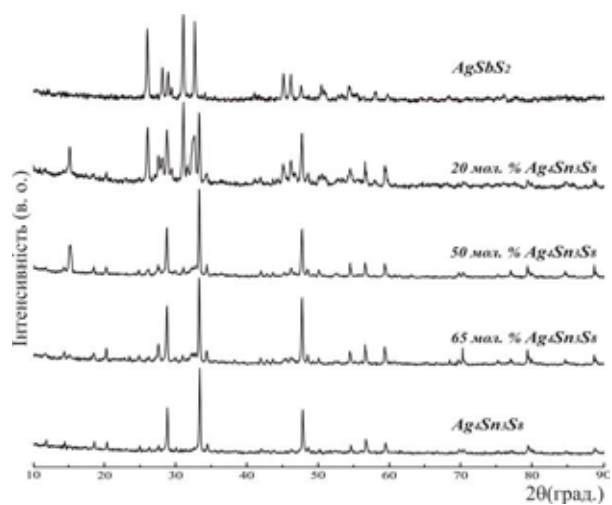


Рис. 16. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$

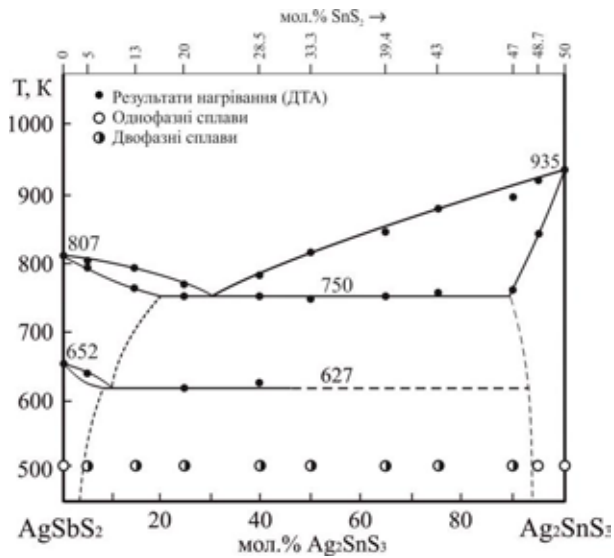


Рис. 17. Діаграма стану перерізу $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$

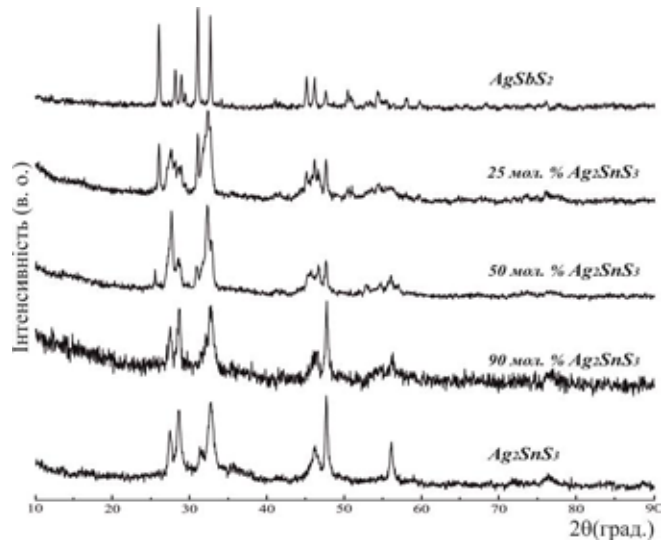


Рис. 18. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{AgSbS}_2 - \text{Ag}_2\text{SnS}_3$

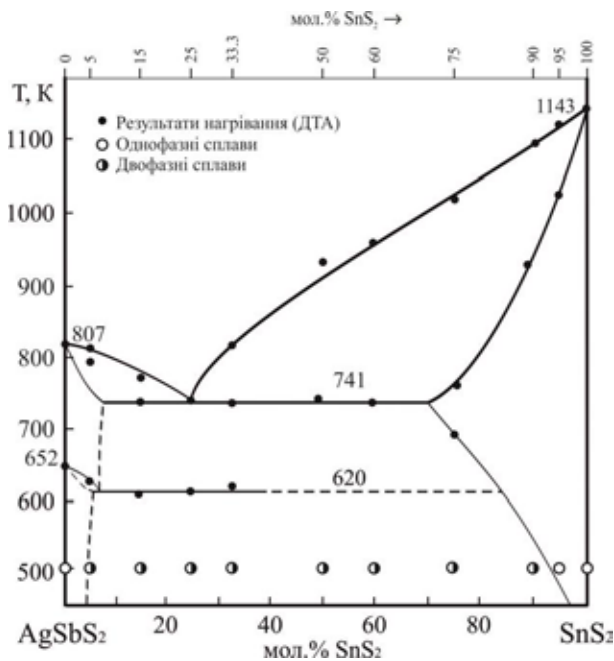


Рис. 19. Діаграма стану перерізу $\text{AgSbS}_2 - \text{SnS}_2$

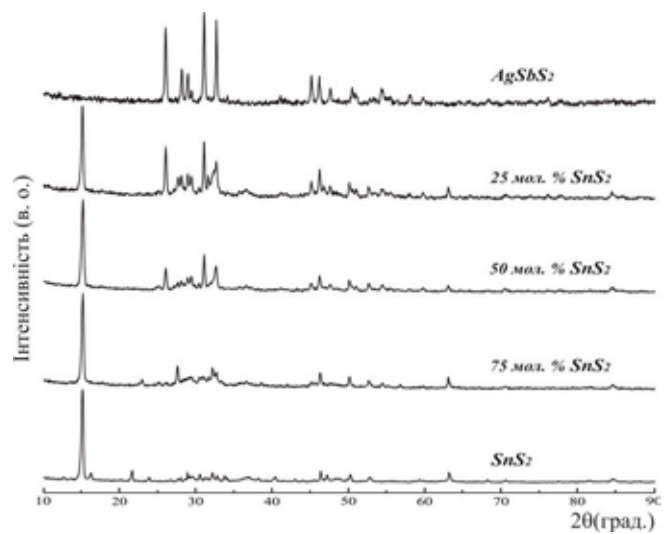


Рис. 20. Дифрактограми типових зразків перерізу $\text{AgSbS}_2 - \text{SnS}_2$

4. Висновок

Таким чином, на основі результатів фізико-хімічних аналізів вивчено при 500 К фазові рівноваги у квазіпотрійних системах $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ та побудовано три полі-

термічних перерізи в системі $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$ та чотири політермічні перерізи в системі $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$, які є евтектичного типу. В аргентумовмісній системі утворюється конгруентна сполука складу $\text{Ag}_{11}\text{Sb}_3\text{SnS}_{12}$.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Chen L., Xia Y.D., Liang X.F., Yin K.B., Yin J., Liu Z.G., Chen Y. Nonvolatile Memory Devices with Cu_2S and Cu-Pc Bilayered Films. *Applied Physics Letters*. 2007. Vol. 91. P. 073511-073513. doi: 10.1063/1.2771064

2. Pal'yanova G.A., Chudnenko K.V., Zhuravkova T.V. Thermodynamic properties of solid solutions in the system $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_2\text{Se}$. *Thermochimica Acta*. 2014. Vol. 575. P. 90–96.
3. Miyatani S. Ionic conductivity in silver chalcogenides. *Journal of the Physical Society of Japan*. 1981. Vol. 50. № 10. P. 3415–3418.
4. Burton L.A., Whittles T.J., David Hesp, Linhart W.M., Skelton J.M., Bo Hou, Webster R.F., O'Dowd G., Reece C., Cherns D., Fermin D.J., Veal T.D., Dhanak V.R., Walsh A. Electronic and optical properties of single crystal SnS_2 : an earth-abundant disulfide photocatalyst. *Journal of Materials Chemistry A*. 2016. Vol. 4. P. 1312–1318. doi: 10.1039/C5TA08214E
5. Бабанлы М.Б., Юсибов Ю.А., Абишов В.Т. Трехкомпонентные халькогениды на основе меди и серебра. Баку: Изд-во БГУ. 1993. 342 с.
6. Avellaneda D., Nair M.T., Nair P.K. Cu_2SnS_3 and Cu_4SnS_4 thin films via chemical deposition for photo-voltaic application. *Journal Thermochem. Soc.* 2010. Vol. 158. № 6. P. 346–352.
7. Fiechter S., Martinez M., Schmidt G., Henrion W., Tomm Y. Phase relations and optical properties of semiconducting ternary sulfides in the system $\text{Cu}-\text{Sn}-\text{S}$. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2003. № 64. P. 1859–1862. doi: 10.1016/S00223697(03)00172-0
8. Aliyeva Z.M., Bagheri S.M., Aliev Z.S., Alverdiyev I.J., Yusibov Y.A., Babanly M.B. The phase equilibria in the $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Ag}_8\text{GeS}_6-\text{Ag}_8\text{SnS}_6$ system. *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 611. P. 395–400. doi: 10.1016/j.jallcom.2014.05.112
9. Абрикосов Н.Х., Банкина В.Ф., Порецкая Л.В. [и др.] Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе. Москва, 1975. 219 с.
10. Sharma R.C., Chang Y.A. The $\text{Ag}-\text{S}$ (silver-sulfur) system. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 1986. Vol. 7. № 3. P. 263–269.
11. Binary alloy phase diagrams / Т.В. Massalski and other. Ohio: American Society for Metals, 1986. 1110 p.
12. Лякишева Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. Москва: Машиностроение, 1996. 992 с.
13. Лякишева Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник. Москва: Машиностроение, 2000. 872 с.
14. Bayliss P., Nowacki W. Refinement of the crystal structure of stibnite, Sb_2S_3 . *Zeitschrift für Kristallographie*. 1972. V. 135. P. 308–315. doi: 10.1524/ZKRI.1972.135.3-4.308
15. Караханова М.И., Пашинкин А.С., Новоселова А.В. О диаграмме плавкости олово – сера. *Неорганические материалы*. 1966. Вып. 2. № 6. 991–996.
16. Arora S.K., Patel D.H., Agarwal M.K. Microtopographical Characterization of Vapour-grown SnS_2 Single Crystals. *Crystal Research and Technology*. 1993. Vol. 28. № 5. P. 623–627. doi: 10.1002/crat.2170280509
17. Guenter J.R., Oswald H.R. Neue polytype Form von Zinn(IV)-sulfid. *Journal of Applied Crystallography*. 1989. V. 22. P. 622–623.
18. Рустамов П.Г., Курбанова Р.Д., Мовсумзаде А.А. Исследование тройной системы $\text{Sn}-\text{Sb}-\text{S}$ по разрезу $\text{SnS}_2-\text{Sb}_2\text{S}_3$. *ДАН АЗССР*. 1987. Вып. 43. № 1. С. 27–31.
19. Мамедов Ш.Г. Фазообразование в системе $\text{Cu}_2\text{SnS}_3-\text{Sb}_2\text{S}_3$. *Вестник Томского государственного университета. Серия «Химия»*. 2020. № 18. С. 18–26.
20. Мамедов Ш.Г. Фазовые равновесия в системе $\text{Cu}_2\text{SnS}_3-\text{Cu}_3\text{SbS}_3$. *Вестник Томского государственного университета. Серия «Химия»*. 2019. № 15. С. 26–35.
21. Мамедов Ш.Г. Квазибинарный разрез $\text{Ag}_2\text{SnS}_3-\text{Sb}_2\text{S}_3$. *Известия Саратовского университета. Серия «Химия. Биология. Экология»*. 2020. Т. 20. Вып. 1. С. 49–54. doi: 10.18500/1816-9775-2020-20-1-49-54
22. Mammadov Sh.H., Mammadov A.N., Kurbanova R.C. Quasi-Binary Section $\text{Ag}_2\text{SnS}_3-\text{AgSbS}_2$. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2020. Vol. 65. P. 217–221.
23. Ильяшева Н.А. Диаграмма состояния системы $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3$. *Известия Академии наук СССР. Неорганические материалы*. 1973. Вып. 9. № 10. С. 1677–1679.
24. Balic Zunic T., Makovicky E. The crystal structure of skinnerite, $\text{P2}_1/c-\text{Cu}_3\text{SbS}_3$, from powder data. *Canadian Mineralogist*. 1995. Vol. 33. P. 655–663.
25. Pfitzner A. Disorder of Cu^+ in Cu_3SbS_3 : structural investigations of the high- and low-temperature modification. *Zeitschrift für Kristallographie*. 1998. Vol. 213. P. 228–236.
26. Hofmann W. Strukturelle und morphologische Zusammenhaenge bei Erzen vom Formeltyp ABC_2 . *Zeitschrift für Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie*. 1932. Vol. 84. P. 177–203.
27. Skinner B.J., Luce F.D., Makovicki E. The crystal structure of the compound CuSbS_2 . *Journal of the American Chemical Society*. 1970. Vol. 31. № 1. P. 19–24.

28. Olekseyuk I.D., Dudchak I.V., Piskach L.V. Phase equilibria in the Cu_2S – ZnS – SnS_2 system. *Journal of Alloys and Compounds*. 2004. Vol. 368. P. 135–143. doi: 10.1016/j.jallcom.2003.08.084
29. Alias M.F.A., Naji I.S., Taher B.Y., Al-Douri A.A.J. Synthesis Cu_2SnS_3 and Cu_3SnS_4 nanopowder and studying the composition, structural and morphological properties. *Journal of Non-oxide Glasses*. 2016. Vol. 8. № 4. P. 93–97
30. Chen X., Sato A., Wada H., Mieno M. Nozakin. Synthesis, Electrical conductivity and Crystal Structure of $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ and Structure refinement of Cu_2SnS_3 . *Journal of Solid State Chemistry*. 1998. Vol. 139. P. 144–151.
31. Yusuke M., Atsushi M., Naoya L. Preparation of monoclinic Cu_2SnS_3 , single crystal by chemical vapor transport with Iodine. *Materials Letters*. 2016. Vol. 170. № 1. P. 154–160.
32. Jaulmes S., Rivet J., Laruelle P. Cuivre–étain–soufre Cu_4SnS_4 . *Acta Crystallographica B*. 1977. Vol. 33. P. 540–542.
33. Bryndzia L.T., Kleppa O.J. High-temperature reaction calorimetry of solid and liquid phases in the quasi-binary system Ag_2S – Sb_2S_3 . *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1988. V.52. P. 167–176.
34. Chang L.L.Y. Dimorphic Relation in Ag_3SbS_3 . *American Mineralogist*. 1963. Vol. 48. P. 429–432.
35. Kutoglu A. Die Struktur des Pyrostilpnits (Feuerblende) Ag_3SbS_3 . *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*. 1968. Vol. 10. P. 145–160.
36. Golovey M.I., Gurzan M.I., Olekseyuk I.D., Rez I.S., Voroshilov Yu.V., Roman I.Yu. Preparation and Some Physical-Chemical Properties of Synthetic Pyrargyrite Single Crystals. *Krist. Tech.* 1973. Vol. 8. P. 453–456.
37. Koh J., Itagaki K. Measurements of thermodynamic quantities for molten Ag_2S – Sb_2S_3 and Cu_2S – Ni_3S_2 systems by quantitative thermodynamic analysis. *Transactions of the Japan Institute of Metals*. 1984. V. 25. № 5. P. 367–373.
38. Smith J.V., Pluth J.J., Han S. Crystal structure refinement of miargyrite, AgSbS_2 . *Mineralogical Magazine*. 1997. Vol. 61. P. 671–675.
39. Кохан О. П. Взаємодія в системах Ag_2X – $\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_2$ (B^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se) і властивості сполук : дис. ... канд. хім. наук. 02.00.01. Ужгород, 1996. 21 с.
40. Gorochov O. Les composés Ag_8MX_6 (M = Si, Ge, Sn et X = S, Se, Te). *Bulletin de la Société Chimique de France*. 1968. Vol. 6. P. 2263–2275.
41. Wang N. New data for Ag_8SnS_6 (canfeldite) and Ag_8GeS_6 (argyrodite). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*. 1978. P. 269–272.
42. Belandria E., Avila R., Fernández B. J. Synthesis and characterization of the ternary compound Ag_2SnS_3 . *Japanese Journal of Applied Physics*. 2000. Vol. 39. P. 132–133. doi: 10.7567/jjaps.39s1.132.
43. Fedorchuk A.O., Zhabankov O.Ye., Lakshminarayana G. Synthesis and spectral features of Ag_2SnS_3 crystals. *Materials Chemistry and Physics*. 2012. Vol. 135. № 2–3. P. 249–253.
44. Amiel O., Frankel D.C., Wada H. Crystal structure of a new silver thioantimonate $\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$. *Journal of Solid State Chemistry*. 1995. Vol. 116. P. 409–421.
45. 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. *Journal of Applied Crystallography*. 1996. Vol. 29. P. 301–303.
46. Rodríguez-Carvajal J. Recent developments of the program Full Prof. *Commission on Powder Diffraction (IUCr) Newsletter*. 2001. Vol. 26. P. 12–19.

REFERENCES:

1. Chen, L., Xia, Y.D., Liang, X.F., Yin, K.B., Yin, J., Liu, Z.G., Chen, Y. Nonvolatile Memory Devices with Cu_2S and Cu-Pc Bilayered Films. *Applied Physics Letters*. 2007. Vol. 91. P. 073511-073513 [in English].
2. Pal'yanova, G.A., Chudnenko, K.V., Zhuravkova, T.V. Thermodynamic properties of solid solutions in the system Ag_2S – Ag_2Se . *Thermochimica Acta*. 2014. Vol. 575. P. 90–96 [in English].
3. Miyatani, S. Ionic conductivity in silver chalcogenides. *Journal of the Physical Society of Japan*. 1981. Vol. 50. № 10. P. 3415–3418 [in English].
4. Burton, L.A., Whittles, T.J., David Hesp, Linhart, W.M., Skelton, J.M., Bo Hou, Webster, R.F., O'Dowd, G., Reece, C., Cherns, D., Fermin, D.J., Veal, T.D., Dhanak, V.R., Walsh, A. Electronic and optical properties of single crystal SnS_2 : an earth-abundant disulfide photocatalyst. *Journal of Materials Chemistry A*. 2016. Vol. 4. P. 1312–1318. doi: 10.1039/C5TA08214E [in English].
5. Babanlyi, M.B., Yusibov, Yu.A., & Abishev, V.T. (1993). *Trehkomponentnyie halkogenidyi na osnove medi i serebra [Ternary chalcogenides based on copper and silver]*. Baku: BGU [in Russian].
6. Avellaneda, D., Nair, M.T., Nair, P.K. Cu_2SnS_3 and Cu_4SnS_4 thin films via chemical deposition for photo-voltaic application. *Journal Thermochem. Soc.* 2010. Vol. 158. № 6. P. 346–352 [in English].
7. Fiechter, S., Martinez, M., Schmidt, G., Henrion, W., Tomm, Y. Phase relations and optical properties of semiconducting ternary sulfides in the system Cu–Sn–S. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2003. № 64. P. 1859–1862. doi: 10.1016/S00223697(03)00172-0 [in English].

8. Aliyeva, Z.M., Bagheri, S.M., Aliev, Z.S., Alverdiyev, I.J., Yusibov, Y.A., Babanly, M.B. The phase equilibria in the $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Ag}_8\text{GeS}_6 - \text{Ag}_8\text{SnS}_6$ system. *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol. 611. P. 395–400. doi: 10.1016/j.jallcom.2014.05.112 [in English].
9. Abrikosov, N.Kh., Bankina, V.F., Poretskaya, L.V. [i dr.] *Poluprovodnikovye khalkogenidi i splavi na ikh osnove [Semiconductor chalcogenides and alloys based on them]*. Moskva [in Russia].
10. Sharma, R.C., Chang, Y.A. The Ag – S (silver-sulfur) system. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 1986. Vol. 7. № 3. P. 263–269 [in English].
11. Binary alloy phase diagrams / T.B. Massalski and other. Ohio: American Society for Metals, 1986. 1110 p [in English].
12. Lyakisheva, N.P. (1996). *Diagrammi sostoyaniya dvoynikh metallicheskih sistem [State Diagrams of Binary Metal Systems]*. Moskva: Mashinostroenie [in Russia].
13. Lyakisheva, N.P. (2000). *Diagrammi sostoyaniya dvoynikh metallicheskih sistem [State Diagrams of Binary Metal Systems]*. Moskva: Mashinostroenie [in Russia].
14. Bayliss, P., Nowacki, W. Refinement of the crystal structure of stibnite, Sb_2S_3 . *Zeitschrift für Kristallographie*. 1972. V. 135. P. 308–315. doi: 10.1524/ZKRI.1972. 135.3-4.308 [in Germany].
15. Karakhanova, M.I., Pashinkin, A.S., Novoselova, A.V. (1966). O diagramme plavkosti olovo – sera [About the tin-sulfur fusibility diagram]. *Neorganicheskie materialy – Inorganic materials*, 2 (6), 991–996 [in Russia].
16. Arora, S.K., Patel, D.H., Agarwal, M.K. Microtopographical Characterization of Vapour-grown SnS_2 Single Crystals. *Crystal Research and Technology*. 1993. Vol. 28. № 5. P. 623–627. doi: 10.1002/crat.2170280509 [in English].
17. Guenter, J.R., Oswald, H.R. Neue polytype Form von Zinn(IV)-sulfid. *Journal of Applied Crystallography*. 1989. V. 22. P. 622–623 [in English].
18. Rustamov, P.G., Kurbanova, R.D., Movsumzade, A.A. (1987). Issledovanie troinoi sistemi Sn – Sb – S po razrezu $\text{SnS}_2 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ [Study of the Sn – Sb – S ternary system along the $\text{SnS}_2 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ section]. *DAN AzSSR*, 43(1), 27–31 [in Russia].
19. Mamedov Sh.G. (2020). Fazoobrazovanie v sisteme $\text{Cu}_2\text{SnS}_3 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ [Phase formation in the $\text{Cu}_2\text{SnS}_3 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ system] *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Khimiya» – Bulletin of Tomsk State University. Series «Chemistry»*, 18, 18–26 [in Russia].
20. Mammadov, Sh.H. (2019). Fazovie ravnovesiya v sisteme $\text{Cu}_2\text{SnS}_3 - \text{Cu}_3\text{SbS}_3$ [Phase equilibria in the $\text{Cu}_2\text{SnS}_3 - \text{Cu}_3\text{SbS}_3$ system]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Khimiya» – Bulletin of Tomsk State University. Series "Chemistry"*, 15, 26–35 [in Russia].
21. Mammadov, Sh.H. (2020). Kvazibinarnii razrez $\text{Ag}_2\text{SnS}_3 - \text{Sb}_2\text{S}_3$ [Quasi-binary section $\text{Ag}_2\text{SnS}_3 - \text{Sb}_2\text{S}_3$]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya «Khimiya. Biologiya. Ekologiya» – News of the Saratov University. Series "Chemistry. Biology. Ecology"*, 20(1), 49–54 [in Russia].
22. Mammadov, Sh.H., Mammadov, A.N., Kurbanova, R.C. Quasi-Binary Section $\text{Ag}_2\text{SnS}_3 - \text{AgSbS}_2$. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*. 2020. Vol. 65. P. 217–221 [in English].
23. Ilyasheva N.A. (1973). Diagramma sostoyaniya sistemi $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$ [State diagram of the $\text{Cu}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$ system]. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Neorganicheskie materialy – Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Inorganic materials*, 9 (10), 1677–1679 [in Russia].
24. Balic Zunic, T., Makovicky, E. The crystal structure of skinnerite, $\text{P2}_1/\text{c} - \text{Cu}_3\text{SbS}_3$, from powder data. *Canadian Mineralogist*. 1995. Vol. 33. P. 655–663 [in English].
25. Pfitzner, A. Disorder of Cu^+ in Cu_3SbS_3 : structural investigations of the high- and low-temperature modification. *Zeitschrift für Kristallographie*. 1998. Vol. 213. P. 228–236 [in Germany].
26. Hofmann, W. Strukturelle und morphologische Zusammenhaenge bei Erzen vom Formeltyp ABC_2 . *Zeitschrift für Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie*. 1932. Vol. 84. P. 177–203 [in Germany].
27. Skinner, B.J., Luce, F.D., Makovicky, E. The crystal structure of the compound CuSbS_2 . *Journal of the American Chemical Society*. 1970. Vol. 31. № 1. P. 19–24 [in English].
28. Olekseyuk, I.D., Dudchak, I.V., Piskach, L.V. Phase equilibria in the $\text{Cu}_2\text{S} - \text{ZnS} - \text{SnS}_2$ system. *Journal of Alloys and Compounds*. 2004. Vol. 368. P. 135–143. doi: 10.1016/j.jallcom.2003.08.084 [in English].
29. Alias, M.F.A., Naji, I.S., Taher, B.Y., Al-Douri, A.A.J. Synthesis Cu_2SnS_3 and Cu_3SnS_4 nanopowder and studing the composition, structural and morphological properties. *Journal of Non-oxide Glasses*. 2016. Vol. 8. № 4. P. 93–97 [in English].
30. Chen, X., Sato, A., Wada, H., Mieno, M. Nozakin. Synthesis, Electrical conductivity and Crystal Structure of $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ and Stucture refinement of Cu_2SnS_3 . *Journal of Solid State Chemistry*. 1998. Vol. 139. P. 144–151 [in English].
31. Yusuke, M., Atsushi, M., Naoya, L. Preparation of monoclinic Cu_2SnS_3 , single crystal by chemical vapor transport with Iodine. *Materials Letters*. 2016. Vol. 170. № 1. P. 154–160 [in English].
32. Jaulmes, S., Rivet, J., Laruelle, P. Cuivre–étain–soufre Cu_4SnS_4 . *Acta Crystallographica B*. 1977. Vol. 33. P. 540–542 [in English].

33. Bryndzia, L.T., Kleppa, O.J. High-temperature reaction calorimetry of solid and liquid phases in the quasi-binary system $\text{Ag}_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3$. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1988. V.52. P. 167–176 [in English].
34. Chang, L.L.Y. Dimorphic Relation in Ag_3SbS_3 . *American Mineralogist*. 1963. Vol. 48. P. 429–432 [in English].
35. Kutoglu, A. Die Struktur des Pyrostilpnits (Feuerblende) Ag_3SbS_3 . *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*. 1968. Vol. 10. P. 145–160 [in Germany].
36. Golovey, M.I., Gurzan, M.I., Olexeyuk, I.D., Rez, I.S., Voroshilov, Yu.V., Roman, I.Yu. Preparation and Some Physical-Chemical Properties of Synthetic Pyrargyrite Single Crystals. *Krist. Tech.* 1973. Vol. 8. P. 453–456 [in English].
37. Koh, J., Itagaki, K. Measurements of thermodynamic quantities for molten $\text{Ag}_2\text{S}-\text{Sb}_2\text{S}_3$ and $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Ni}_3\text{S}_2$ systems by quantitative thermodynamic analysis. *Transactions of the Japan Institute of Metals*. 1984. V. 25. № 5. P. 367–373 [in English].
38. Smith, J.V., Pluth, J.J., Han, S. Crystal structure refinement of miargyrite, AgSbS_2 . *Mineralogical Magazine*. 1997. Vol. 61. P. 671–675 [in English].
39. Kohan, O.P. (1996). Vzaemodiya v sistemah $\text{Ag}_2\text{X}-\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_2$ ($\text{B}^{\text{IV}} - \text{Si, Ge, Sn; X} - \text{S, Se}$) i vlastivosti spolk [Interaction in $\text{Ag}_2\text{X}-\text{B}^{\text{IV}}\text{X}_2$ systems ($\text{B}^{\text{IV}} - \text{Si, Ge, Sn; X} - \text{S, Se}$) and properties of compounds]. *Candidate's thesis*. Uzhgorod: UNU [in Ukrainian].
40. Gorochov, O. Les composés Ag_8MX_6 ($\text{M} = \text{Si, Ge, Sn et X} = \text{S, Se, Te}$). *Bulletin de la Société Chimique de France*. 1968. Vol. 6. P. 2263–2275 [in France].
41. Wang, N. New data for Ag_8SnS_6 (canfeildite) and Ag_8GeS_6 (argyrodite). *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*. 1978. P. 269–272 [in Germany].
42. Belandria, E., Avila, R., Fernández, B.J. Synthesis and characterization of the ternary compound Ag_2SnS_3 . *Japanese Journal of Applied Physics*. 2000. Vol. 39. P. 132–133. doi: 10.7567/jjaps.39s1.132 [in English].
43. Fedorchuk, A.O., Zhibankov, O.Ye., Lakshminarayana, G. Synthesis and spectral features of Ag_2SnS_3 crystals. *Materials Chemistry and Physics*. 2012. Vol. 135. № 2–3. P. 249–253 [in English].
44. Amiel, O., Frankel, D.C., Wada, H. Crystal structure of a new silver thioantennate $\text{Ag}_4\text{Sn}_3\text{S}_8$. *Journal of Solid State Chemistry*. 1995. Vol. 116. P. 409–421 [in English].
45. 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. *Journal of Applied Crystallography*. 1996. Vol. 29. P. 301–303 [in English].
46. Rodríguez-Carvajal, J. Recent developments of the program Full Prof. *Commission on Powder Diffraction (IUCr) Newsletter*. 2001. Vol. 26. P. 12–19 [in English].

УДК 546.548.232.6:546.[655+663+681]22

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-3>**Назарій БЛАШКО***старший лаборант кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025***ORCID:** 0000-0001-6484-3283**Олег МАРЧУК***кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025***ORCID:** 0000-0002-5618-7156**Анатолій ФЕДОРЧУК***доктор хімічних наук, професор, професор кафедри біологічної та загальної хімії, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, м. Львів, Львівська обл., Україна, 79010***ORCID:** 0000-0002-9324-3719**Ярослав РОМАНЮК***PhD, керівник наукової групи Швейцарської федеральної лабораторії матеріалознавства і технологій (EMPA), Ueberlandstrasse 129, Дюбендорф, Швейцарія, 8600***ORCID:** 0000-0002-0529-228X

Бібліографічний опис статті: Блашко, Н., Марчук, О., Федорчук, А., Романюк, Я. (2022). Кристалічна структура $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 31–37, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-3>

КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$

В роботі представлено результати дослідження кристалічної структури $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ як перспективного матеріалу, що прогнозовано може володіти цікавими нелінійно-оптичними властивостями. Синтез зразка стехіометричного складу $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ загальною масою 0.8 г, отримано сплавленням простих речовин у вакуумованому кварцевому контейнері до залишкового тиску 10^{-2} Па за максимальної температури синтезу 1100 °С. Кристалічна структура $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ ($a = 10.0316(4)$ Å, $c = 6.0640(4)$ Å, $V = 528.48(6)$ Å³, $R_1 = 0.0498$, $R_p = 0.1553$) вивчена рентгенівським методом порошку. Встановлено приналежність структури синтезованого сульфїду до гексагональної сингонії (структурний тип La_3CuSiS_7 , просторова група $R\bar{3}_m$; символ Пірсона hP24). Сульфїд $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ синтезований на основі $La_3Ga_{1.67}S_7$ шляхом заміщення атомів лантану в правильній системі точок бс атомами статистичної суміші M ($0.5 Ce + 0.5 Tb$). Елементний склад зразка $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ (Ce: $7.56 \pm 1.34\%$; Tb: $16.82 \pm 3.18\%$; Ga: $15.93 \pm 1.44\%$; S: $59.70 \pm 3.07\%$) підтверджено EDAX-аналізом. У структурі дослідженого тетрарного сульфїду атоми статистичної суміші M ($0.5 Ce + 0.5 Tb$) локалізовані в ПСТ бс і разом з атомами сульфуру формують тригональні призми, що мають один додатковий атом $[M_3S_1_3S_2_1S_3]$. Тригональні призми утворюють “блоки” $3[M_7S]$. У цих “блоках” тригональні призми між собою з’єднані ребрами. Из-за незначного індексу спотворення (розрахований за довжинами зв’язків) ефективно координатійне число атомів статистичної суміші M ($0.5 Ce + 0.5 Tb$) становить 6.84. Атоми Ga1 (заповнення 0.667), що сконцентровані в ПСТ 2a, формують октаедри $[Ga_1 6S_1]$. Ці октаедри між собою з’єднані гранями та в напрямку осі c утворюють колони. Введення у структуру $La_3Ga_{1.67}S_7$ атомів статистичної суміші спричинює значне спотворення октаєдрів $[Ga_1 6S_1]$. В ПСТ 2b атоми Ga2 оточені чотирма атомами сульфуру $[Ga_2 3S_2_1S_3]$. Незначний індекс спотворення (0.017 (розрахований за довжинами зв’язків)) тетраєдрів свідчить про їх високу симетричність (ефективно координатійне число рівне 3.93).

Ключові слова: кристалічна структура, рідкісноземельні елементи, рентгенівський метод порошку, EDAX аналіз.

Nazarii BLASHKO

Senior Laboratory Assistant of the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0001-6484-3283

Oleg MARCHUK

PhD in Chemistry, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-5618-7156

Anatolii FEDORCHUK

Doctor of Chemistry, Professor, Professor of the Department of Biological and General Chemistry, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Pekarska Street, 50, Lviv, Lviv region, Ukraine, 79010

ORCID: 0000-0002-9324-3719

Yaroslav ROMANYK

PhD in Chemistry, Group leader, Laboratory for Thin Films and Photovoltaic, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa), Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf, Switzerland

ORCID: 0000-0002-0529-228X

To cite this article: Blashko, N., Marchuk, O., Fedorchuk, A., Romanyk, Ya. (2022). Krystalichna struktura $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$. [The crystal structure of $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 31–37, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-3>

THE CRYSTAL STRUCTURE OF $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$

The paper presents the results of the investigation of the crystal structure of $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ as a promising material, which is predicted to have interesting nonlinear optical properties. The synthesis of a sample of stoichiometric composition $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ with a total weight 0.8 g, was obtained by fusing simple substances in vacuumed quartz container to a residual pressure of 10^{-2} Pa at a maximum synthesis temperature of 1100 °C. The crystal structure of $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ sulfide ($a = 10.0316(4)$ Å, $c = 6.0640(4)$ Å, $V = 528.48(6)$ Å³, $R_1 = 0.0498$, $R_p = 0.1553$) was studied by the X-ray powder method. It was established that the structure of the synthesized sulfide belongs to the hexagonal symmetry (La_3CuSiS_7 structural type, SG $P6_3$; Pearson code hP24). The $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ is synthesized on the basis of $La_3Ga_{1.67}S_7$ sulfide by replacement of lanthanum atoms in the site 6c by atoms of statistical mixture M (0.5 Ce + 0.5 Tb). The elemental composition of the $Ce_{1.5}Tb_{1.5}Ga_{1.67}S_7$ (Ce: 7.56 ± 1.34 %; Tb: 16.82 ± 3.18 %; Ga: 15.93 ± 1.44 %; S: 59.70 ± 3.07 %) was confirmed by EDAX analysis. In the structure of the investigated quaternary sulfide, atoms of the of statistical mixture M (0.5 Ce + 0.5 Tb) are localized in site 6c and, together with sulfur atoms, form trigonal prisms with one additional atom [$M 3S_1 3S_2 1S_3$]. Trigonal prisms form “blocks” of $3[M 7S]$. In these “blocks” trigonal prisms are connected to each other by ribs. The effective coordination number of atoms of the statistical mixture M (0.5 Ce + 0.5 Tb) is 6.84 due to the insignificant distortion index (calculated from bond lengths). The Ga1 (0.667) atoms, concentrated in site 2a, form octahedra [$Ga1 6S_1$]. These octahedra are interconnected by faces and form columns in the direction of the c axis. The introduction of statistical mixture atoms into the structure of the $La_3Ga_{1.67}S_7$ causes significant distortion of [$Ga1 6S_1$] octahedra. In site 2b, Ga2 atoms are surrounded by four sulfur atoms [$Ga2 3S_2 1S_3$]. The insignificant distortion index (0.017 (calculated from the bond lengths)) of the tetrahedra indicates their high symmetry (the effective coordination number is 3.93).

Key words: crystal structure, rare earth elements, X-ray powder method, EDAX analysis.

Актуальність проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Пошук, синтез та дослідження структури нових багатокомпонентних халькогенідів, що містять у своєму складі атоми різної природи є одним з основних напрямків сучасного напівпровідникового матеріалознавства (Celania, Mudring, 2019;

Shi, et al., 2021). Серед таких об'єктів значний інтерес викликають халькогеніди рідкісноземельних металів унаслідок своїх термічних (Tritt, 2005), електричних (Kolobov, Tominaga, 2012), напівпровідникових (Si, et al., 2016), магнітних (Spaldin, 2010, p. 14-21) та оптичних властивостей (Eggleton, et al. 2011). Значної

уваги заслуговують багатоконпонентні халькогеніди, до кристалічної ґратки яких входять декілька різних рідкісноземельних елементів (Ivashchenko, et al., 2016; Смітюх та інші, 2017, Smitiukh, et al., 2018; Мельничук, та інші, 2020).

У роботі представлено результати дослідження кристалічної структури тернарного сульфїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ (СТ $\text{La}_3\text{CuSiS}_7$) рентгенівським методом порошку, що кристалізується в примітивній комірці гексагональної сингонії. Сполуки цього структурного типу являють значний інтерес як потенційні магнітні матеріали, композити для нелінійної оптики та матеріали іонної провідності (Guo, et al., 2009; Poduska, et al., 2002; Daszkiewicz, Gulay, 2012).

Мета дослідження. Метою представленої роботи є вивчення кристалічної структури халькогенїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$, як перспективного матеріалу для нелінійної оптики.

Експериментальна частина. Синтез сплаву, загальною масою 0.8 грам, для дослідження кристалічної структури халькогенїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ проводили з простих речовин із вмістом основного компонента не менше 99.99 ваг. % в електричній муфельній печі з програмним управлінням технологічними процесами МП-30. Синтез здійснювали у вакуумованому до залишкового тиску (10^{-2} Па) кварцевому контейнері згідно технологічного режиму: нагрів до температури 700 °С зі швидкістю 40 °С/год; витримка за температури 700 °С (10 годин); нагрів до температури 1100 °С зі швидкістю 12 °С/год; витримка за

температури 1100 °С (2 години); охолодження до температури 500 °С зі швидкістю 6 °С/год; гомогенізуючий відпал за температури 500 °С (240 годин); гартування контейнера із синтезованим матеріалом у воду за кімнатної температури без розгерметизації.

Розрахунок основних параметрів структури $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ проводили за дифрактограмою, що була отримана в межах $2\Theta = 10 - 100^\circ$ на рентгенівській установці ДРОН 4-13 з параметрами зйомки: $\text{CuK}\alpha$ -випромінювання; крок сканування – $0,02^\circ$, експозиція у кожній точці – 20 с. Розрахунок кристалічної структури для $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ проведено методом Рїтвельда (пакет програм WinCSD) (Grin, Akselrud, 2014). Візуалізацію кристалічної структури виконано за допомогою програми VESTA (Momma, Izumi, 2011).

Обговорення результатів. Зразок стехіометричного складу $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ синтезували на основі халькогенїду $\text{La}_3\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ (Patrie, Guittard, 1969) шляхом заміщення атомів лантану в ПСТ 6с атомами статистичної суміші М (0.5 Ce + 0.5 Tb).

Кристалічну структуру тетрарного халькогенїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ вивчено рентгенівським методом порошку. Аналіз індексів hkl рефлексів та їх інтенсивностей вказав на приналежність структури синтезованого халькогенїду до структурного типу $\text{La}_3\text{CuSiS}_7$ (Guittard, Julien-Rouzol, 1972) (ПГ $P6_3$). У таблиці 1 наведено умови проведеного експерименту та кристалографічні характеристики структури халькогенїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$. Уточнення координат

Таблиця 1

Результати розрахунку кристалічної структури сульфїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$

Просторова група	$P6_3$ (173)
a , (Å); c , (Å)	10.0316(4); 6.0640(4)
Об'єм комірки (Å ³)	528.48(6)
Кількість атомів в комірці	23.3
Густина (обрахована) (г/см ³)	4.9591(6)
Адсорбційний коефіцієнт (1/см)	1095.48
Випромінювання і довжина хвилі (Å)	Cu 1.54185
Дифрактометр	ДРОН 4-13
Спосіб обрахунку	Повнопрофільний
Програма для обрахунку	WinCSD
Кількість атомних позицій	6
Кількість вільних параметрів	13
2Θ та $\sin\Theta/\lambda$ (макс.)	100.02; 0.497
R_I	0.0498
R_p	0.1553
Фактор шкали	0.24540(1)

нат та ізотропних теплових параметрів атомів (таблиця 2) привело до задовільних значень фактора розбіжності. Експериментальна, теоретична та різницева між ними дифрактограми халькогеніду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ при цих параметрах атомів представлена на рисунку 1.

Елементарну комірку та координаційні поліедри для M, Ga1 і Ga2 у структурі синтезованого сульфіду зображено на рисунку 2.

Кристалічна структура синтезованого халькогеніду сформована тригональними призмами $[\text{M} 3\text{S}_1 3\text{S}_2 1\text{S}_3]$. Атоми статистичної суміші, заселяючи ПСТ $6c$, координують навколо себе по сім атомів сульфуру (рисунок 2). Тригональні призми утворюють “блоки” $3[\text{M} 7\text{S}]$. У цих “блоках” тригональні призми між собою з’єднані ребрами. Із-за незначного індексу спотворення (розрахова-

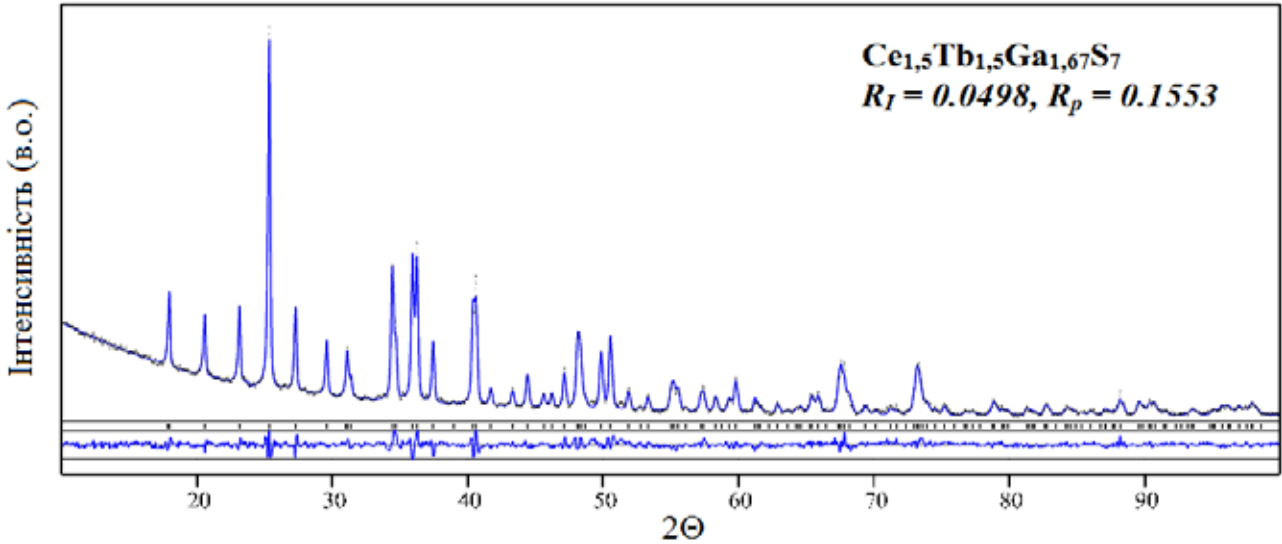


Рис. 1. Експериментальна і теоретична дифрактограми сульфіду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ та їх різницева

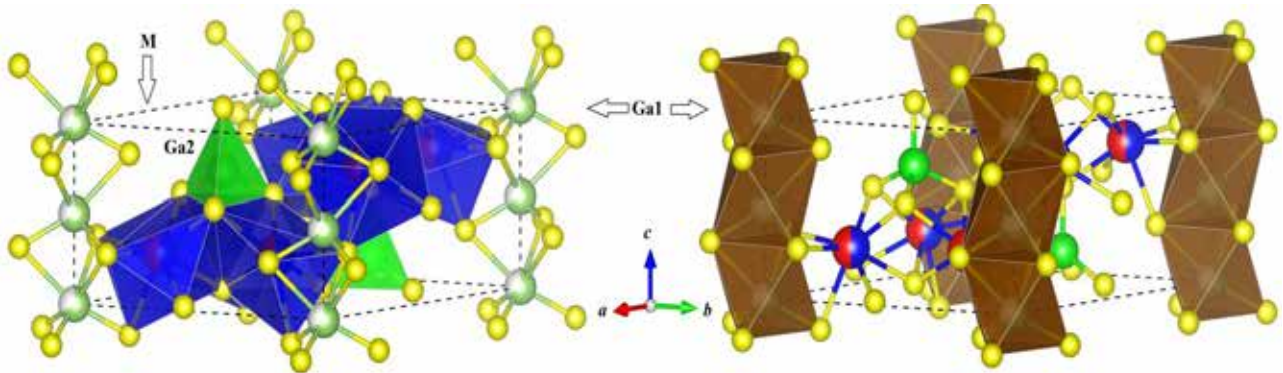


Рис. 2. Елементарна комірка та координаційні многогранники атомів M, Ga1 та Ga2 у структурі $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$

Таблиця 2

Координати та ізотропні параметри теплових коливань атомів у структурі $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$

Атоми	ПСТ	x/a	y/b	z/c	$B_{iso} \times 10^2 (\text{Å}^2)$
M	$6c$	0.1453(1)	0.3744(1)	0.2368(4)	1.02(2)
Ga1	$2a$	0	0	-0.0449(11)	1.30(13)
Ga2	$2b$	1/3	2/3	0.6593(5)	0.97(10)
S1	$6c$	0.0991(5)	0.2421(5)	0.7818(7)	0.92(10)
S2	$6c$	0.4179(5)	0.5193(7)	0.5064(7)	1.10(11)
S3	$2b$	1/3	2/3	0.0115(13)	0.7(2)

M – 0.5 Ce + 0.5 Tb; Ga1 – 0.667 Ga

ний за довжинами зв'язків) ефективно координаційне число атомів статистичної суміші становить 6.84.

Різниця у спотворенні призм [La 7S] (для $\text{La}_3\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$) та [M 7S] (для $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$) є незначною і складає 4.1%

Для атомів Ga1 (0.667), що займають ПСТ 2a, характерною є октаедрична координація (КЧ = 6). Октаедри [Ga1 6S] мають спільні грані та в напрямку осі c та утворюють колони. Варто відзначити, що заміщення атомів лантану у структурі $\text{La}_3\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ на атоми статистичної суміші спричинює значне спотворення октаедрів [Ga1 6S].

Міжатомні віддалі та координаційні числа атомів у структурі $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ наведено у таблиці 3.

Атоми Ga2, що локалізовані в ПСТ 2b, разом із атомами сульфуру формують тетраедри

[Ga2 4S]. Ці тетраедри орієнтовані в напрямку осі c та ізольовані один від одного. Величини індексу спотворення (0.017 (розрахована за довжинами зв'язків)) та ефективного координаційного числа (3.93) тетраедрів [Ga2 4S] свідчить про їх високу симетричність. Параметри багатогранників у структурах $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ та $\text{La}_3\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ (Patrie, Guittard, 1969) наведені в таблиці 4.

Елементний склад синтезованого халькогеніду було додатково оцінено за допомогою EDAX аналізу. Розраховані ат. % елементів для $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$: Ce: 12.85, Tb: 12.85, Ga: 14.31, S: 59.98 та знайдені ат.% Ce: 7.56, Tb: 16.82, Ga: 15.93, S: 59.70. Результати представлені на рисунку 3. Видно, що результати розрахунку структури та елементний аналіз добре узгоджуються між собою.

Висновки. Вперше синтезовано, рентгенівським методом порошку вивчено та проаналізо-

Таблиця 3

Міжатомні відстані (δ , Å) та КЧ атомів у структурі $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$

Атоми		δ , Å	КЧ
M	- 1S1	2.840(5)	7
	- 1S1	2.945(5)	
	- 1S1	2.995(5)	
	- 1S2	2.854(6)	
	- 1S2	2.879(6)	
	- 1S2	3.053(6)	
Ga1	- 1S3	2.911(4)	6
	- 3S1	2.365(6)	
	- 3S1	2.888(7)	
Ga2	- 3S2	2.242(6)	4
	- 1S3	2.139(8)	

Таблиця 4

Параметри многогранників у структурах $\text{La}_3\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ та $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$

Параметри	$\text{La}_3\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$	$\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$
Тригональна призма з одним додатковим атомом [La(M) 7S]		
Середня довжина зв'язку, Å	2.9541	2.9253
Об'єм поліедра, Å ³	35.6060	34.7155
Коефіцієнт дисторсії	0.02032	0.02118
Ефективне координаційне число	6.8536	6.8390
Октаедр [Ga1 6S]		
Середня довжина зв'язку, Å	2.7570	2.6265
Об'єм поліедра, Å ³	27.7180	23.4429
Коефіцієнт дисторсії	0.03891	0.09941
Ефективне координаційне число	5.6315	3.7857
Тетраедр [Ga2 4S]		
Середня довжина зв'язку, Å	2.2629	2.2160
Об'єм поліедра, Å ³	5.8922	5.5304
Коефіцієнт дисторсії	0.00831	0.01743
Ефективне координаційне число	3.9862	3.9304

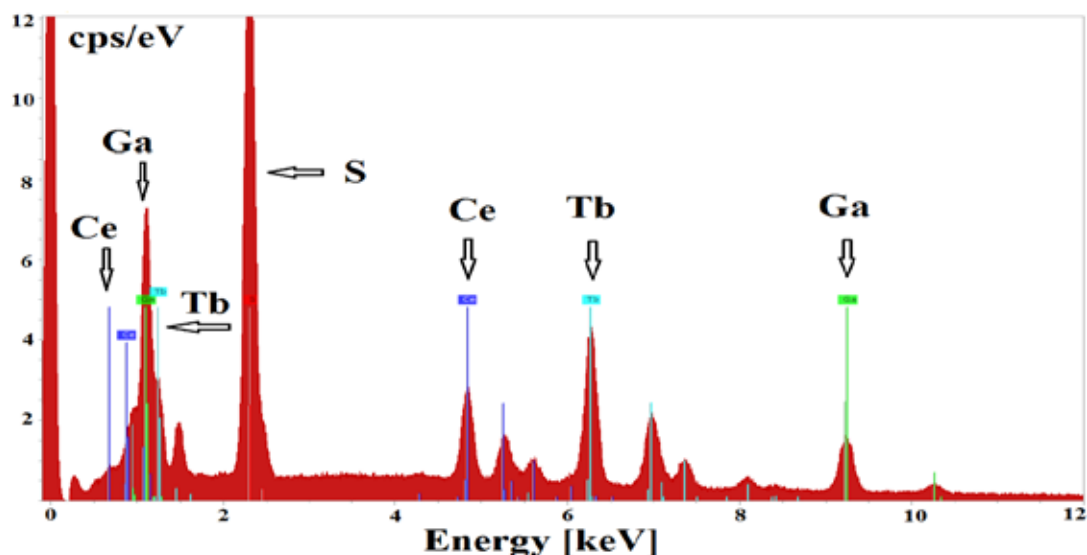


Рис. 3. EDAX спектр сульфїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$ (Ce: $7.56 \pm 1.34\%$; Tb: $16.82 \pm 3.18\%$; Ga: $15.93 \pm 1.44\%$; S: $59.70 \pm 3.07\%$)

вано кристалїчну структуру нового тетрагного халькогенїду $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$.

На основї аналізу масиву експериментально отриманих результатїв встановлено, що цей халькогенїд кристалїзується у гексагональнїй сингонїї (СТ $\text{La}_3\text{CuSiS}_7$; ПГ $P6_3$; СП $hP24$)

з параметрами елементарної комїрки: $a = 10.0316(4) \text{ \AA}$, $c = 6.0640(4) \text{ \AA}$ та $V = 528.48(6) \text{ \AA}^3$, $R_f = 0.0498$, $R_p = 0.1553$.

Елементний склад синтезованого сплаву було пїдтверджено методиками EDAX-аналїзу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Celania Ch., Mudring A.V. Structures, properties, and potential applications of rare earth-noble metal tellurides. *J. Solid State Chem.* 2019. 274. P. 243-258. doi:10.1016/j.jssc.2019.03.009
2. Shi X.L., Zou J., Chen Z.G. Advanced Thermoelectric Design: From Materials and Structures to Devices. *Chem. Rev.* 2020. 120(15). P. 7399-7515. doi:10.1021/acs.chemrev.0c00026
3. Tritt T. Thermal Conductivity. *Physics of Solids and Liquids.* 2005. 1(4). P. 105-121. doi:10.1007/b136496
4. Kolobov A., Tominaga J. Chalcogenides: metastability and phase change phenomena. *Springer Science & Business Media.* 2012. 164. P. 284. doi:10.1007/978-3-642-44294-0
5. Si Q., Yu R., Abrahams E. High-temperature superconductivity in iron pnictides and chalcogenides. *Nat. Rev. Mater.* 2016. 1(4). P. 1-10. doi:10.1038/natrevmats.2016.17
6. Spaldin N. Magnetic Materials: Fundamentals and Applications. *Cambridge Univer. Press.* 2010. 2. P. 14-21. doi:10.1017/CBO9780511781599
7. Eggleton B., Luther-Davies B., Richardson K. Chalcogenide photonics. *Nat. Photon.* 2011. 5(3). P. 1410-148. doi:10.1038/nphoton.2011.309
8. Ivashchenko I., Danyliuk I., Gulay L., Halyan V., Tishchenko P., Oleksyuk I. The quasi-ternary system $\text{La}_2\text{S}_3 - \text{Er}_2\text{S}_3 - \text{Ga}_2\text{S}_3$ and quaternary compounds of the composition $\text{La}(\text{Pr})_{1.5}\text{Tb}(\text{Y}, \text{Ho})_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$. *Chem. Met. All.* 2016. 9. P. 105-112. doi:10.30970/cma.9.0337
9. Смітюх О., Марчук О., Олексюк І., Федорчук А. Кристалїчна структура сполук $\text{Er}_{1.5}\text{La}(\text{Pr})_{1.5}\text{Si}_{1.67}\text{Se}_7$. *Наук. Вісн. Ужгород. у-ту. Сер. хїмїя.* 2017. 1(37). С. 44-47.
10. Smitiukh O., Marchuk O., Fedorchuk A., Grebenyk A. Crystal structure of $\text{R}_3\text{Si}_{1.75}\text{Se}_7$ ($\text{R} = 1.5\text{Y} + 1.5\text{La}$). *J. Alloys Compd.* 2018. 765. P. 731-735. doi:10.1016/j.jallcom.2018.05.025
11. Мельничук Х., Смітюх О., Марчук О., Мазур Н., Юхимчук В. Структурнї дослідження халькогенїдїв $\text{Ce}_{0.5}\text{R}_{1.5}\text{PbSi}_2\text{S}_8$ та $\text{Pr}_{1.5}\text{R}_{0.5}\text{PbSi}_2\text{S}_8$ ($\text{R} = \text{Tb}, \text{Y}, \text{Er}$). *Наук. Вісн. Ужгород. у-ту. Сер. хїмїя.* 2020. 1(43). С. 6-15. doi:10.241444/2414-0260.2020.1.6-15
12. Guo S.P., Guo G.S., Wang M.S., Zou J.P., Xu G., Wang G.J., Huang J.S. A series of new infrared NLO and ferroelectric semiconductors, $\text{ZnY}_6\text{Si}_2\text{S}_{14}$ and $\text{Al}_{0.33-x}\text{Ln}_{3+x}\text{Si}_7$ ($\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Dy}$). *Inorg. Chem.* 2009. 48. P. 7059-7065. doi:10.1021/ic802443n

13. Poduska K., Disalvo F., Min K., Halasyamani P. Structure determination of $\text{La}_3\text{CuGeS}_7$ and $\text{La}_3\text{CuGeSe}_7$. *J. Alloys Compd.* 2002. 335. P. L5-L9. doi:10.1016/S0925-8388(01)01835-7
14. Daszkiewicz M., Gulay L. Pressure induced silver ion displacement $\text{La}_3\text{Ag}_{0.82}\text{SnS}_7$. *Mater. Res. Bull.* 2012. 47. P. 497-499. doi:10.1016/j.materresbull.2011.11.033
15. Grin Y., Akselrud L. WinCSD: Software package for crystallographic calculations (Version 4). *J. Appl. Cryst.* 2014. 47(2). P. 803-805. doi:10.1107/s1600576714001058
16. Momma K., Izumi F. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *J. Appl. Cryst.* 2011. 44(6). P. 1272-1276. doi:10.1107/S0021889811038970
17. Patrie M., Guittard M. Chimie minerale. Sur les composés du type $\text{Ce}_6\text{Al}_{10/3}\text{S}_{14}$. *C. R. Acad. Sci.* 1969. 268. P. 1136-1138.
18. Guittard M., Julien-Pouzol M. Les composés hexagonaux de type $\text{La}_3\text{CuSiS}_7$. *Bull. Soc. Chim. Fr.* 1972. 3. P. 2207-2209.

REFERENCES:

1. Celania, Ch., Mudring, A.V. (2019). Structures, properties, and potential applications of rare earth-noble metal tellurides. *J. Solid State Chem.*, 274, 243-258. doi:10.1016/j.jssc.2019.03.009
2. Shi, X.L., Zou, J., Chen, Z.G. (2020) Advanced Thermoelectric Design: From Materials and Structures to Devices. *Chem. Rev.*, 120(15), 7399-7515. doi:10.1021/acs.chemrev.0c00026
3. Tritt, T. (2005). Thermal Conductivity. *Physics of Solids and Liquids.*, 1(4), 105-121. doi:10.1007/b136496
4. Kolobov, A., Tominaga, J. (2012) Chalcogenides: metastability and phase change phenomena. *Springer Science & Business Media*, 164, 284. doi:10.1007/978-3-642-44294-0
5. Si, Q., Yu, R., Abrahams, E. (2016). High-temperature superconductivity in iron pnictides and chalcogenides. *Nat. Rev. Mater.*, 1(4), 1-10. doi:10.1038/natrevmats.2016.17
6. Spaldin, N. (2010). Magnetic Materials: Fundamentals and Applications. *Cambridge Univer. Press.*, 2, 14-21. doi:10.1017/CBO9780511781599
7. Eggleton, B., Luther-Davies, B., Richardson, K. (2011). Chalcogenide photonics. *Nat. Photon.*, 5(3), 141-148. doi:10.1038/nphoton.2011.309
8. Ivashchenko, I., Danyliuk, I., Gulay, L., Halyan, V., Tishchenko, P., Olekseyuk, I. (2016) The quasi-ternary system $\text{La}_2\text{S}_3 - \text{Er}_2\text{S}_3 - \text{Ga}_2\text{S}_3$ and quaternary compounds of the composition $\text{La}(\text{Pr})_{1.5}\text{Tb}(\text{Y}, \text{Ho})_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$. *Chem. Met. All.*, 9, 105-112. doi:10.30970/cma.9.0337
9. Smitiukh, O., Marchuk, O., Olekseyuk, I., Fedorchuk, A. (2017). Krystalichna struktura spoluk $\text{Er}_{1.5}\text{La}(\text{Pr})_{1.5}\text{Si}_{1.67}\text{Se}_7$. [The crystal structure of $\text{Er}_{1.5}\text{La}(\text{Pr})_{1.5}\text{Si}_{1.67}\text{Se}_7$ compounds]. *Nauk. Visn. Uzhhorod. u-tu. Ser. Khimiya. – Bulletin of Uzhhorod University. Chemistry series*, 1(37), 44-47 [in Ukrainian].
10. Smitiukh, O., Marchuk, O., Fedorchuk, A., Grebenyk, A. (2018) Crystal structure of $\text{R}_3\text{Si}_{1.75}\text{Se}_7$ ($\text{R} = 1.5\text{Y} + 1.5\text{La}$). *J. Alloys Compd.*, 765, 731-735. doi:10.1016/j.jallcom.2018.05.0.25
11. Melnychuk, Kh., Smitiukh, O., Marchuk, O., Mazur, N., Yukhymchuk, V. (2020). Strukturni vlastyvoli khalkogenidiv $\text{Ce}_{0.5}\text{R}_{1.5}\text{PbSi}_2\text{S}_8$ ta $\text{Pr}_{0.5}\text{R}_{1.5}\text{PbSi}_2\text{S}_8$ ($\text{R} = \text{Tb}, \text{Y}, \text{Er}$). [Structure investigation of chalcogenides $\text{Ce}_{0.5}\text{R}_{1.5}\text{PbSi}_2\text{S}_8$ and $\text{Pr}_{0.5}\text{R}_{1.5}\text{PbSi}_2\text{S}_8$ ($\text{R} = \text{Tb}, \text{Y}, \text{Er}$) compounds]. *Nauk. Visn. Uzhhorod. u-tu. Ser. Khimiya. – Bulletin of Uzhhorod University. Chemistry series*, 1(43), 6-15 [in Ukrainian].
12. Guo, S.P., Guo, G.S., Wang, M.S., Zou, J.P., Xu, G., Wang, G.J., Huang, J.S. (2009) A series of new infrared NLO and ferroelectric semiconductors, $\text{ZnY}_6\text{Si}_2\text{S}_{14}$ and $\text{Al}_{0.33-x}\text{Ln}_{3+x}\text{SiS}_7$ ($\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Dy}$). *Inorg. Chem.*, 48, 7059-7065. doi:10.1021/ic802443n
13. Poduska, K., Disalvo, F., Min, K., Halasyamani, P. (2002) Structure determination of $\text{La}_3\text{CuGeS}_7$ and $\text{La}_3\text{CuGeSe}_7$. *J. Alloys Compd.*, 335, L5-L9. doi:10.1016/S0925-8388(01)01835-7
14. Daszkiewicz, M., Gulay, L. (2012) Pressure induced silver ion displacement $\text{La}_3\text{Ag}_{0.82}\text{SnS}_7$. *Mater. Res. Bull.*, 47, 497-499. doi:10.1016/j.materresbull.2011.11.033
15. Grin, Y., Akselrud, L. (2014). WinCSD: Software package for crystallographic calculations (Version 4). *J. Appl. Cryst.*, 47(2), 803-805. doi:10.1107/s1600576714001058
16. Momma, K., Izumi, F. (2011). VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *J. Appl. Cryst.*, 44(6), 1272-1276. doi:10.1107/S0021889811038970
17. Patrie, M., Guittard, M. (1969). Chimie minerale. Sur les composés du type $\text{Ce}_6\text{Al}_{10/3}\text{S}_{14}$. *C. R. Acad. Sci.*, 268, 1136-1138.
18. Guittard, M., Julien-Pouzol M. (1972). Les composés hexagonaux de type $\text{La}_3\text{CuSiS}_7$. *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 3, 2207-2209.

УДК 628.4.032:332.14

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-4>

Людмила ГЕРАСИМЧУК

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет, бульвар Старий, 7, м. Житомир, Житомирська обл., Україна, 10008

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Євгеній МЕДВЕДОВСЬКИЙ

начальник Державної екологічної інспекції Поліського округу, вул. Лева Качинського 12а, м. Житомир, Житомирська обл., Україна, 10014

ORCID: 0000-0002-4745-4347

Руслана ВАЛЕРКО

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології, Поліський національний університет, бульвар Старий, 7, м. Житомир, Житомирська обл., Україна, 10008

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Бібліографічний опис статті: Герасимчук, Л., Медведовський, Є., Валерко, Р. (2022). Державний нагляд (контроль) у сфері охорони, захисту, використання та відтворення лісів на території Житомирської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 38–47, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-4>

ДЕРЖАВНИЙ НАГЛЯД (КОНТРОЛЬ) У СФЕРІ ОХОРОНИ, ЗАХИСТУ, ВИКОРИСТАННЯ ТА ВІДТВОРЕННЯ ЛІСІВ НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Метою дослідження є висвітлення, аналіз та оцінка результатів державного нагляду (контролю) у сфері охорони, захисту, використання та відтворення рослинних ресурсів і лісів, що здійснюється Управлінням державного екологічного нагляду (контролю) у Житомирській області Державної екологічної інспекції Поліського округу за 2021 р. на території Житомирської області.

Методологія. Інформаційною базою досліджень стали матеріали Державної екологічної інспекції Поліського округу щодо здійснення заходів державного нагляду (контролю) за січень-грудень 2021 року. Встановлювали особливості розподілу заходів контролю, досліджували специфіку адміністративної відповідальності в галузі охорони лісів (протоколи, кількість осіб, притягнутих до адміністративної відповідальності, суми накладених штрафів), визначали основні порушення у сфері лісового господарства та шляхів їх мінімізації та запобігання.

Наукова новизна полягає у висвітленні конкретних результатів державного нагляду (контролю) за певним ресурсним напрямком в територіальному відношенні.

Висновки. У сфері охорони, захисту, використання та відтворення рослинних ресурсів і лісів протягом 2021 р. було здійснено 124 заходи державного нагляду, що становило 6,2% всіх сфер контролю. 58,9% перевірок були здійснені у сфері лісового господарства, 32,9% з яких були плановими і 67,1% позаплановими. Аналіз результатів роботи Державної екологічної інспекції Поліського округу показав ефективність позапланових заходів державного нагляду (контролю) щодо виявлених порушень, розрахованих збитків та пред'явлених претензій, у зв'язку з їх неочікуваним та незапланованим фактором, що не дало змоги суб'єктам господарювання завчасно підготуватися та приховати власні протиправні та незаконні дії. Одним із основних порушень, виявлених під час здійснення заходів державного нагляду (контролю) є незаконні порубки, вагомим важелем запобігання та протидії яким мають стати активні законодавчі зміни та дії з боку держави щодо прийняття нового законодавства про екологічний контроль, внесення змін до методик нарахування збитків та підвищення штрафів за порушення в лісах.

Ключові слова: планові й позапланові заходи державного контролю, штрафи, претензії, незаконні порубки.

Liudmyla HERASYMCHUK

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Ecology, Polissya National University, 7 Staryi Boulevard, Zhytomyr, Zhytomyr Region, Ukraine, 10008

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Yevhenii MEDVEDOVSKIY

The Head of the State Environmental Inspectorate of Polissky District, St. 12a Lekh Kachynskiy Zhytomyr, Zhytomyr Region, Ukraine, 10014

ORCID: 0000-0002-4745-4347

Ruslana VALERKO

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of Ecology, Polissya National University, 7 Staryi Boulevard, Zhytomyr, Zhytomyr Region, Ukraine, 10008

ORCID: 0000-0003-4716-0100

To cite this article: Herasymchuk, L., Medvedovskyi, Y., Valerko, R. (2022). Derzhavnyi nahliad (kontrol) u sferi okhorony, zakhystu, vykorystannia ta vidtvorennia lisiv na terytorii Zhytomyrskoi oblasti [State supervision (control) in the field of security, protection, use and reproduction of forests in the territory of Zhytomyr oblast]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 38–47, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-4>

**STATE SUPERVISION (CONTROL) IN THE FIELD OF SECURITY,
PROTECTION, USE AND REPRODUCTION OF FORESTS
IN THE TERRITORY OF ZHYTOMYR OBLAST**

The purpose of the study is to highlight, analyze and evaluate the results of state supervision (control) in the field of protection, protection, use and reproduction of plant resources and forests, which was carried out by the Department of State Environmental Supervision (Control) in the Zhytomyr region of the State Ecological Inspection of the Polissky District for the 2021 in Zhytomyr region.

Methodology. The materials of the State Environmental Inspection of Polissky District regarding the implementation of state supervision (control) measures for January-December 2021 became the information base of the research. The peculiarities of the distribution of control measures were established, the specifics of administrative responsibility in the field of forest protection were studied (protocols, the number of persons brought to administrative responsibility, the amount of fines imposed), the main violations in the field of forestry and ways of their minimization and prevention were determined.

The scientific novelty consists in highlighting the specific results of state supervision (control) of a certain resource direction in the territorial relation.

Conclusions. In the field of protection, protection, use and reproduction of plant resources and forests, 124 measures of state supervision were carried out in 2021, which accounted for 6.2% of all areas of control. 58.9% of inspections were carried out in the field of forestry, 32.9% of which were scheduled and 67.1% unscheduled. The analysis of the results of the work of the State Environmental Inspection of the Polissky District showed the effectiveness of unplanned measures of state supervision (control) in relation to detected violations, calculated damages and presented claims, in connection with their unexpected and unplanned factor, which did not allow business entities to prepare in advance and to hide their illegal and illegal actions. One of the main violations detected during the implementation of state supervision (control) measures is illegal logging, a powerful lever for prevention and counteraction of which should be active legislative changes and actions by the state regarding the adoption of new legislation on environmental control, changes to the methods of calculating losses and increase in fines for violations in forests.

Key words: planned and unplanned measures of state control, fines, claims, illegal felling.

Актуальність проблеми. Державний нагляд (контроль) у сфері охорони навколишнього природного середовища у контексті прогресуючого погіршення його стану на сьогодні є надзвичайно важливим, особливо у питаннях прийняттого рівня небезпеки для населення, довкілля, дотримання вимог природоохоронного законодавства, усунення виявлених порушень, притягнення осіб, що вчинили такі порушення, до відповідальності. Саме тому державний нагляд (контроль) у сфері охорони

навколишнього природного середовища займає особливе місце в системі екологічного управління.

Правові та організаційні засади, основні принципи і порядок здійснення державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності, повноваження органів державного нагляду (контролю), їх посадових осіб і права, обов'язки та відповідальність суб'єктів господарювання під час здійснення державного нагляду (контролю) визначаються Законом України

«Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» від 05.04.2007 № 877-V.

Недосконалість системи організації нагляду (контролю) за додержанням вимог природоохоронного законодавства зумовила її переформатування, що було відображено у Концепції реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища, що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 31 травня 2017 р. № 616-р.

Частина обласних територіальних органів Держекоінспекції були ліквідовані і замість них були створені нові міжрегіональні органи, в тому числі й Державна екологічна інспекція Поліського округу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання державного нагляду знайшли своє відображення у багатьох науковців (Сєров, 2019; Сорока, 2020; Непомнящий та Марушева, 2021), зокрема і у сфері охорони навколишнього природного середовища в цілому (Herzing & Jacobsson, 2018; Комарницький, 2019; Городецька, 2020), так і окремих його сфер: атмосферного повітря (Zhiying, Liangjian & Yang, 2022), землекористування (Овчаров та Власовець, 2021), тваринного світу (Шеховцов, 2020), водних біоресурсів (Герасимчук, Валерко та Гребенчук, 2018), морського середовища (Serafimov, 2020), поводження з відходами (Сірант, 2020; Герасимчук та ін., 2022). Безпосередньо у сфері охорони, захисту, використання та відтворення лісів Кротюк А. (2021) вивчав іноземний досвід запобігання незаконній порубці, Олійничук Р. (2020) – особливості розслідування незаконної порубки лісу, Чернявська Я. (2020) – нагляд як метод лісоохоронної діяльності Національної поліції України, Соцький А.М. – повноваження та компетенції центральних органів виконавчої влади в лісовій сфері. Проте питання висвітлення та аналізу конкретних результатів державного нагляду (контролю) на певних територіях не знайшло свого відображення в аналізованих літературних джерелах.

Мета дослідження. Метою дослідження стали висвітлення та аналіз результатів державного нагляду (контролю) у сфері охорони, захисту, використання та відтворення рослинних ресурсів і лісів, що здійснювався Держав-

ною екологічною інспекцією Поліського округу протягом 2021 р. на території Житомирської області.

Виклад основного матеріалу дослідження. Державна екологічна інспекція Поліського округу – міжрегіональний територіальний орган Держекоінспекції, повноваження якого поширюються на території Житомирської та Рівненської областей. Згідно з Положенням про Державну екологічну інспекцію Поліського округу (нова редакція), затвердженим Наказом Державної екологічної інспекції України від 01 червня 2021 р. № 252, однією із сфер державного нагляду (контролю) ДЕІ Поліського округу за додержанням територіальними органами центральних органів виконавчої влади, місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами, організаціями, громадянами вимог законодавства є сфера охорони, захисту, використання та відтворення об'єктів рослинного світу та лісів, зокрема щодо:

- пошкодження дерев і чагарників, знищення або пошкодження лісових культур, сіянців або саджанців у лісових розплідниках і на плантаціях, природного підросту та самосіву на землях, призначених для відновлення лісу, законності вирубування;
- повноти та законності здійснених заходів щодо відтворення лісів, зокрема цінними та рідкісними породами дерев, породами, притаманними відповідному регіону, та повноти заходів з догляду за лісовими культурами на землях, призначених для відновлення лісу;
- раціонального та невиснажливого використання лісових ресурсів;
- добування продуктів лісу та використання лісових ресурсів;
- здійснення комплексу необхідних заходів захисту для забезпечення охорони лісів від пожеж, незаконних рубок, шкідників і хвороб, пошкодження внаслідок антропогенного та іншого шкідливого впливу, застосування пестицидів і агрохімікатів у лісовому господарстві та лісах;
- використання полезахисних смуг, водоохоронних і захисних лісових насаджень;
- заготівлі деревини в порядку рубок головного користування та здійснення лісгосподарських заходів;

– експлуатації нових і реконструйованих підприємств, цехів, агрегатів, транспортних шляхів, магістральних трубопроводів, комунальних та інших об'єктів, не забезпечених обладнанням, що запобігає шкідливому впливу на стан і відтворення лісів;

– збереження корисної для лісу фауни.

За 2021 р. Державною екологічною інспекцією Поліського округу проведено 3935 ресурсних заходів державного нагляду (контролю), з них 1989 – Управлінням державного екологічного нагляду (контролю) у Житомирській області. Серед сфер контролю (водні ресурси, атмосферне повітря, земельні ресурси, землі водного фонду, надра, поводження з відходами, тваринний світ, рибні ресурси, природно-заповідний фонд) 124 заходи державного нагляду (або 6,2%) стосувалися рослинного світу. У сфері рослинного світу 58,9% перевірок були здійснені у сфері лісового господарства.

Із 73 заходів державного нагляду у сфері охорони лісів 32,9% були плановими і 67,1% позаплановими (рис. 1).

В результаті проведених перевірок та рейдів складено 694 адміністративних протоколів, в т.ч. у сфері охорони лісів – 470. По охороні рослинного світу протягом 2021 р. до адміністративної відповідальності у вигляді штрафів притягнуто 693 особи. По охороні лісових ресурсів протягом 2021 р. до адміністративної відповідальності у вигляді штрафів притягнуто 470 осіб, з них за результатами планових захо-

дів державного нагляду – 322 (68,5%), позапланових – 148 (31,5%); такою є і кількість складених протоколів (рис. 2).

Сума накладених штрафів у сфері охорони рослинного світу склала 288,705 тис. грн, стягнуто 276,651 тис. грн. Сума накладених штрафів у сфері лісового господарства склала 156,892 тис. грн, стягнуто 155,532 тис. грн (99,1%). За результатами планових заходів контролю було стягнуто 96,7% (81,396 тис. грн із 84,116 тис. грн), позапланових – 101,9% з у рахуванням попереднього періоду (74,136 тис. грн із 72,776 тис. грн) (рис. 3).

По фактах незаконних рубок дерев нествановленими особами 11 матеріалів передано в правоохоронні органи, з них 3 матеріали у сфері охорони лісових ресурсів (1 до органів прокуратури та 2 – до органів МВС, СБУ, інших):

– 38,225 тис. грн – незаконна рубка дерев біля заправки ЮПДЖІ в м. Житомир. Матеріали передані до Житомирського відділення поліції для встановлення винних осіб;

– 17,163 тис. грн – незаконна порубка дерев в с. Зарічани Житомирського району, передано до Житомирського РУП Житомирського ВП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;

– 0,600 тис. грн – незаконна порубка дерев в м. Житомир, передано до Житомирського РУП Житомирського ВП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;

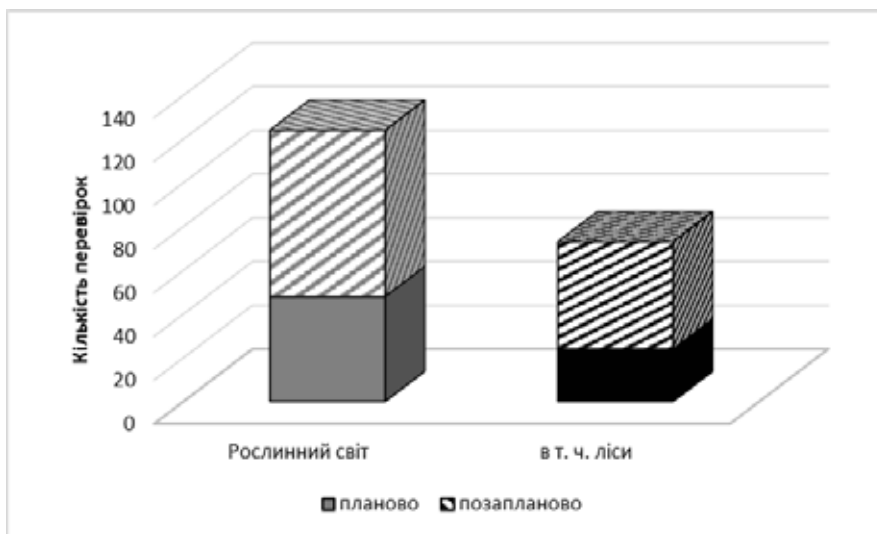


Рис. 1. Кількість перевірок у сфері рослинного світу, в т.ч. лісів, проведених Державною екологічною інспекцією Поліського округу на території Житомирської області у 2021 р.

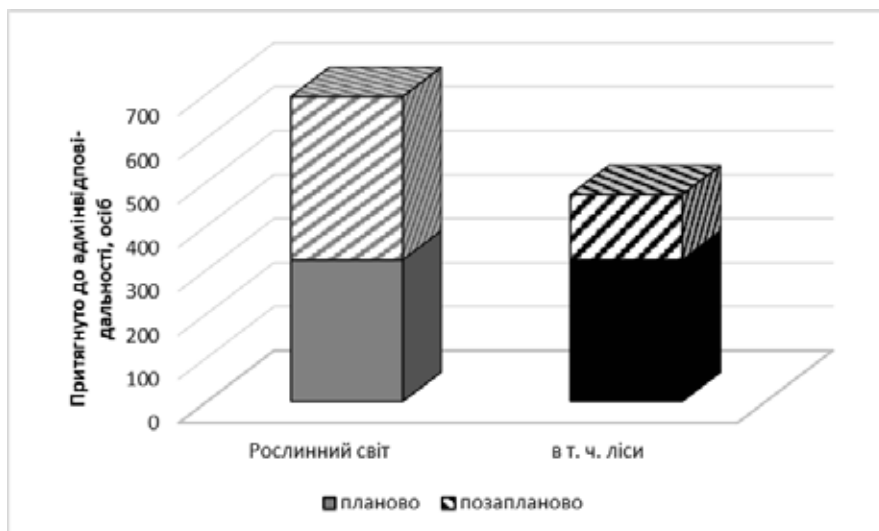


Рис. 2. Інформація щодо кількості осіб, притягнутих до відповідальності за результатами державного нагляду у сфері рослинного світу, в т.ч. лісів, здійснюваного Державною екологічною інспекцією Поліського округу на території Житомирської області у 2021 р.

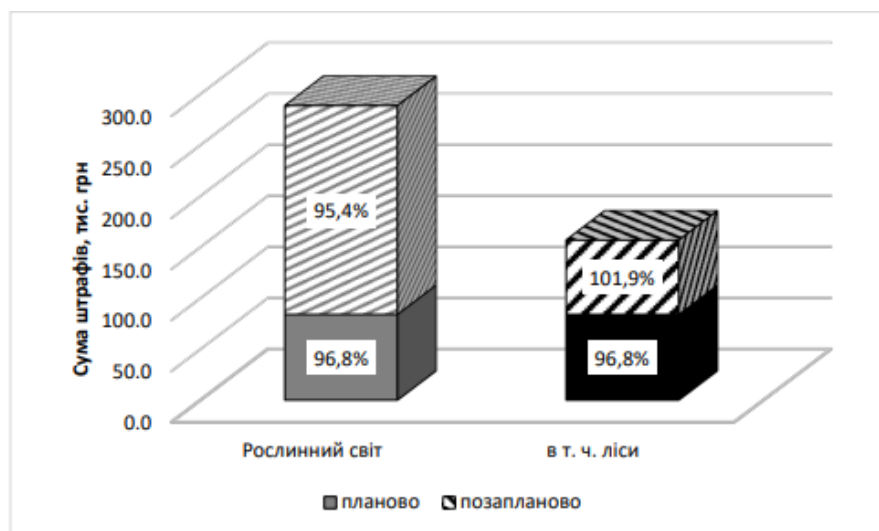


Рис. 3. Інформація щодо накладених та стягнутих сум штрафів за результатами державного нагляду у сфері рослинного світу, в т.ч. лісів, здійснюваного Державною екологічною інспекцією Поліського округу на території Житомирської області у 2021 р.

- 773,277 тис. грн – незаконна порубка та пошкодження дерев біля села Рея Бердичівського району, передано до ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;
- 68,902 тис. грн – незаконна порубка дерев між селами Білка та Кам'янка Коростенського району, передано до РУП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;
- 3,500 тис. грн – самовільне пошкодження до ступеня припинення росту плодкових дерев в м. Житомир, передано до ВП № 1 Житомирського РУП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;

- 19,900 тис. грн – незаконне пошкодження дерев до ступеня припинення росту в м. Житомир, передано до ВП № 1 Житомирського РУП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;
- 6,700 тис. грн – незаконне зрізання дерев в м. Житомир, передано до ВП № 1 Житомирського РУП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;
- 11,000 тис. грн – незаконне зрізання дерев в смт. Хорошів, матеріали передані до ВП № 4 Житомирського РУП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб;

– 164,38 тис. грн – незаконна порубка та пошкодження дерев до ступеня припинення росту на території Романівської ОТГ Житомирського району, матеріали передані до Житомирського РУП ГУНП в Житомирській області для встановлення винних осіб.

Відмітимо, що один з матеріалів містив ознаки кримінального правопорушення.

Розмір шкоди, заподіяної лісу розраховується на основі відповідних такс, затверджених Постановою Кабінету Міністрів України від 23.07.2008 № 665 з урахуванням індексів споживчих цін (індекси інфляції) згідно даних Держкомстату (рис. 4).

За фактами пошкодження дерев та незаконних рубок розраховано збитки на суму 4055,998 тис. грн., в т.ч. 1103,647 тис. грн. нанесених невстановленими особами. У сфері лісового господарства розраховані збитки сягнули 3774,973 тис. грн., в т.ч. 842,179 тис. грн. невстановленими особами (рис. 5). Збитки, нанесені невстановленими особами, розрахо-

вані лише за результатами позапланових перевірок.

У сфері охорони рослинних ресурсів пред'явлено до сплати 41 претензію на суму 2954,601 тис. грн, з них 32 у сфері лісового господарства на суму 2932,794 тис. грн (рис. 6).

Зокрема, громадянам було пред'явлено 16 претензій за незаконну порубку дерев та пошкодженням дерев до ступеня припинення і неприпинення росту на суму 44,982 тис. грн. А основними порушеннями під час здійснення планових і позапланових заходів державного контролю у державних підприємствах лісового господарства були: незаконна порубка та пошкодження дерев до ступеня припинення і неприпинення росту, пошкодження відмежувальних знаків. Суми претензій, пред'явлених державним підприємствам лісового господарства, проілюстровані на рис. 7.

Сплачено 37 претензій з урахуванням попереднього періоду (2019-2020 рр.) на суму 1446,739 тис. грн.



Рис. 4. Шкода, заподіяна лісу підприємствами, установами, організаціями та громадянами, розмір якої обчислюється на основі встановлених такс

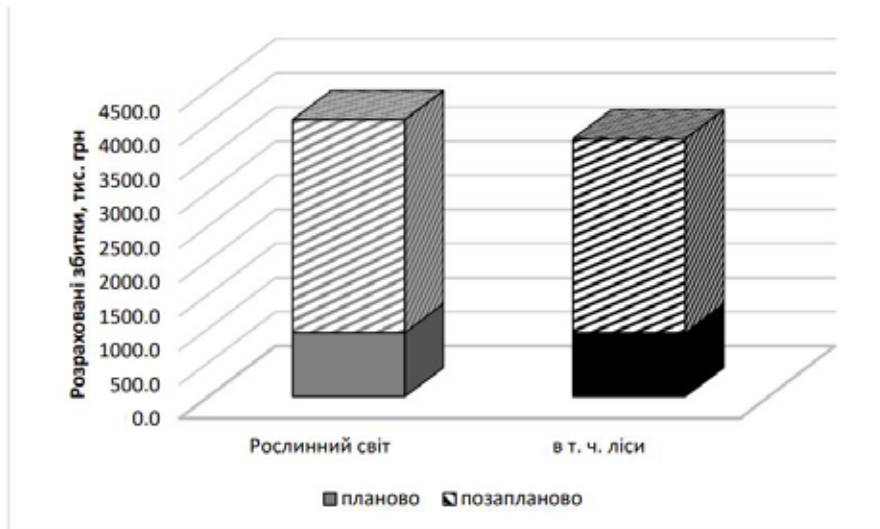


Рис. 5. Інформація щодо сум розрахованих збитків за результатами планових та позапланових заходів державного нагляду у сфері рослинного світу, в т.ч. лісів, здійснюваного Державною екологічною інспекцією Поліського округу на території Житомирської області у 2021 р.

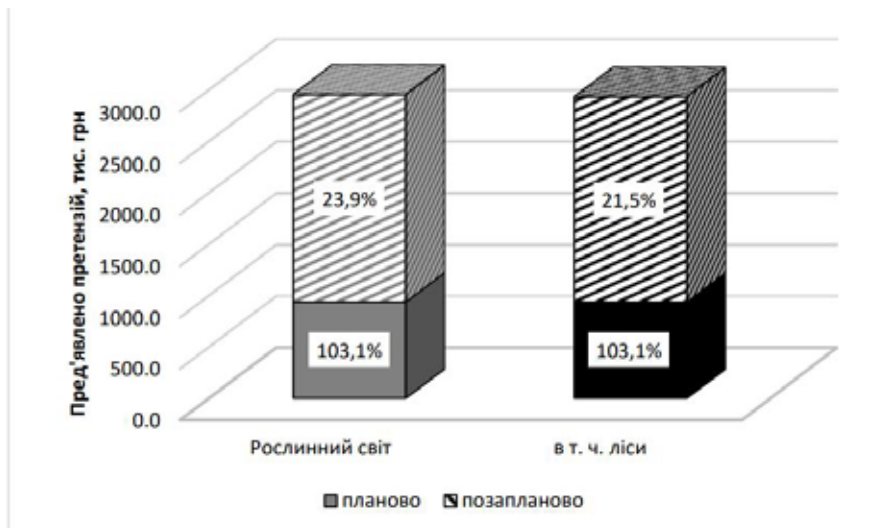


Рис. 6. Інформація щодо сум пред'явлених та стягнутих претензій за результатами планових та позапланових заходів державного нагляду у сфері рослинного світу, в т.ч. лісів, здійснюваного Державною екологічною інспекцією Поліського округу на території Житомирської області у 2021 р.

З 32 претензій у сфері лісового господарства 13 на суму 937,119 тис. грн пред'явлено за результатами планових перевірок, 19 на суму 1995,675 тис. грн – позапланових. Стягнуто за результатами планових заходів контролю 11 претензій на суму 965,305 тис. грн (103%) та за результатами позапланових заходів – 17 претензій на суму 428,529 тис. грн (21,5%) (рис. 6).

Відмітимо, що на офіційному сайті Державної екологічної інспекції України наголошено, що кожного місяця ДЕІ фіксує в середньому

200 фактів порушень саме у лісах. Найбільш часто виявляються такі порушення, як: рубки за відсутності лісорубного квитка, пошкодження дерев при розробці лісосік, відсутність оцінки впливу на довкілля при санітарній вирубці. В той же час наслідком великої кількості незаконних рубок є джерелом безлічі природних лих (збільшення викидів CO₂ у повітря, повені, зневоднення ґрунтів тощо). На проблемі незаконних рубок акцентується й увага у Державній стратегії управління лісами України до

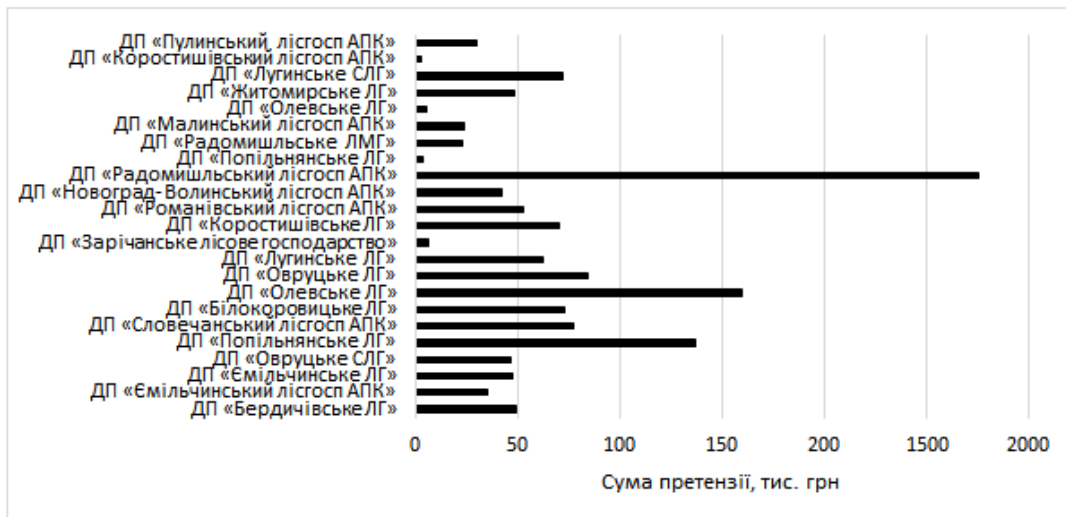


Рис. 7. Суми претензій, пред'явлених державним підприємствам лісового господарства за результатами планових та позапланових заходів державного нагляду у сфері рослинного світу, в т.ч. лісів, здійснюваного Державною екологічною інспекцією Поліського округу на території Житомирської області у 2021 р.

2035 року, що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2021 р. № 1777-р. А у науковій праці Олійничука Р. (2020) вказано, для незаконних рубок притаманний високий рівень латентності, що зумовлює необхідність застосування специфічних тактик для їхнього розслідування.

Враховуючи це виключно необхідним є активні дії з боку держави щодо підвищення штрафів за порушення в лісах (за вирубки лісу штраф складає від 510 до 1020 грн для громадян) та зміни методики нарахування збитків. Так, на сьогодні за пошкодження до ступеня припинення росту дерева діаметром до 10 см порушник платить 42 гривні, від 10,1 до 14 см – 74 грн, від 14,1 до 18 см – 190 грн, від 18,1 до 22 см – 390 грн, від 22,1 до 26 см – 685 грн, від 26,1 до 30 см – 1080 грн, від 30,1 до 34 см – 1449 грн, від 34,1 до 38 см – 1845 грн, від 38,1 до 42 см – 2266 грн, від 42,1 до 46 см – 2688 грн, від 46,1 до 50 см – 3109 грн, за кожне 1-сантиметрове перевищення 50-сантиметрового діаметру – 105 грн. За пошкодження дерев і чагарників до ступеня неприпинення росту порушник платить втричі менше: до 10 см – 11 грн, від 10,1 до 14 см – 26 грн, від 14,1 до 18 см – 58 грн, від 18,1 до 22 см – 126 грн, від 22,1 до 26 см – 216 грн, від 26,1 до 30 см – 316 грн, від 30,1 до 34 см – 427 грн, від 34,1 до 38 см – 553 грн, від 38,1 до 42 см – 685 грн, від 42,1 до 46 см – 791

грн, від 46,1 до 50 см – 896 грн, за кожне 1-сантиметрове перевищення 50-сантиметрового діаметру – 26 грн. Саме мізерні розмір штрафу та суми розрахованих збитків сприяють «тіньовій» заготівлі лісу, що стає в таких умовах надзвичайно вигідною.

Варто додати, що теперішні військові дії російської федерації, які включають у себе ракетні удари по лісу, призводять до знищення великої кількості дерев та засмічення території, що, в свою чергу, значно збільшить суми збитків, завданих лісам.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У сфері охорони, захисту, використання та відтворення рослинних ресурсів протягом 2021 р. було здійснено 124 ресурсні перевірки, що становило 6,2% від усіх проведених Інспекцією заходів державного нагляду (контролю) на території Житомирської області. З них майже 59% перевірок здійснено у сфері лісового господарства, 32,9% з яких були плановими і 67,1% позаплановими. Аналіз результатів роботи Державної екологічної інспекції Поліського округу показав ефективність позапланових заходів державного нагляду (контролю) щодо виявлених порушень, розрахованих збитків та пред'явлених претензій, у зв'язку з їх неочікуваним та незапланованим фактором, що не дало змоги суб'єктам господарювання завчасно підготуватися та приховати

власні протиправні та незаконні дії. Одним із основних порушень, виявлених під час здійснення заходів державного нагляду є незаконні порубки, вагомим важелем запобігання та протидії яким мають стати активні законодавчі зміни та дії з боку держави щодо прийняття нового законодавства про екологічній

контроль, внесення змін до методик нарахування збитків та підвищення штрафів за порушення в лісах.

У перспективі подальших досліджень – висвітлення результатів державного нагляду за іншими ресурсними напрямками на території Житомирської області.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Серов С. Л. Нагляд і контроль у сфері господарської діяльності як засіб реалізації публічного інтересу. *Lex Portus*. 2019. 1(15). С. 118-130. DOI: 10.26886/2524-101X.1.2019.8.
2. Сорока Л. В. Державний нагляд і контроль як основа адміністративно- правового забезпечення та реалізації державних гарантій. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: юридичні науки. 2020. 31(70), № 4. С. 173-177. DOI: 10.32838/1606-3716/2020.4/28.
3. Непомнящий О. М., Марушева О. А. Контроль і нагляд у системі державного управління економікою. *Право та державне управління*. 2021. 3. С. 44-51. DOI: 10.32840/pdu.2021.3.7.
4. Herzing M., Jacobsson A. Efficient environmental inspections and enforcement. 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.35752.42242.
5. Комарницький В. М. Удосконалення контролю в галузі охорони навколишнього природного середовища: правові та організаційні питання. *Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ імені Е.О. Дідоренка*. 2019. 2(86). С. 217-224. DOI: 10.33766/2524-0323.86.217-224.
6. Городецька І. Корупціогенні фактори в системі державного контролю в галузі охорони навколишнього природного середовища. *Підприємництво, господарство і право*. 2020. 8. С. 157-162. DOI: 10.32849/2663-5313/2020.8.25.
7. Zhiying C., Liangjian W., Yang Z. Environmental effects of city– county mergers in China: strengthening governance or aggravating pollution?". *Sustainability*. 2022. 14(9), 5522. DOI: 10.3390/su14095522.
8. Овчаров О. В., Власовець В. М. Удосконалення правових основ державного нагляду за дотриманням орендарями України вимог екологоощадного землекористування та охорони земель. *Інженерія природокористування*. 2021. 4(18). С. 100-113. DOI: 10.37700/enm.2020.4(18).100-113.
9. Шеховцов В. В. Інститут громадських інспекторів як механізм реалізації громадського контролю у галузі охорони, використання і відтворення тваринного світу. *Приватне та публічне право*. 2020. 3. С. 39-43. DOI: 10.32845/2663- 5666.2020.3.8.
10. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Гребенчук Л. І. Державний контроль за випадками масового замору риби на водоймах Житомирської області. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2018. 2. С. 6–16.
11. Serafimov V. Supervision (control) in the sphere of marine environment protection in Ukraine: new institutional transformations. *Lex Portus*. 2020. 1(21). Р. 23-36. DOI: 10.26886/2524-101X.1.2020.2.
12. Сірант М. Мета та завдання державного екологічного нагляду у сфері поводження з відходами. *Юридичний вісник*. 2020. 5. С. 88-97. DOI: 10.32837/yuv.v0i5.2006.
13. Герасимчук Л. О., Валерко Р. А., Ясінський В. В., Піциль А. О., Соловійова О. О. Державний контроль у сфері поводження з відходами на території Житомирської області. *Екологічні науки*. 2022. 5(44). С. 255-259. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.39>.
14. Кротюк А. Іноземний досвід запобігання незаконній порубці, перевезенню, зберіганню, збуту лісу. *Науковий вісник Національної академії внутрішніх справ*. 2021. 1(118). С. 24-30. DOI: 10.33270/01211181.24.
15. Олійничук Р. Особливості розслідування незаконної порубки лісу. *Актуальні проблеми правознавства*. 2020. 3(23). С. 166-169. DOI: 10.35774/app2020.03.166.
16. Чернявська Я. А. Адміністративний нагляд як метод лісоохоронної діяльності Національної поліції України. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2020. 3(2). С. 74-78. DOI: 10.32782/2524-0374/2020-3-2/18.
17. Соцький А. М. Повноваження та компетенція центральних органів виконавчої влади в лісовій сфері. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Сер.: Юриспруденція*. 2020. 48. С. 115-119. DOI: 10.32841/2307- 1745.2020.48.26.

REFERENCES:

1. Sierov, S. L. (2019). Nahliad i kontrol u sferi hospodarskoj diialnosti yak zasib realizatsii publicлноho interesu. [Supervision and control in the sphere of economic activity as a means of implementing public interests]. *Lex Portus*. 1(15). pp. 118-130. Available at: DOI: 10.26886/2524-101X.1.2019.8 [in Ukrainian].

2. Soroka, L. V. (2020). Derzhavnyi nahliad i kontrol yak osnova administratyvno- pravovoho zabezpechennia ta realizatsii derzhavnykh harantii. [State supervision and control as a basis of administrative and legal support and realization of state guarantees]. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Juridical Sciences.* 31(70), № 4. pp. 173-177. Available at: DOI: 10.32838/1606-3716/2020.4/28. [in Ukrainian].
3. Nepomniashchyi, O. M., Marusheva, O. A. (2021). Kontrol i nahliad u systemi derzhavnoho upravlinnia ekonomikoiu. [Control and supervision in the system of public economic management]. *Law and Public Administration.* 3. pp. 44-51. Available at: DOI: 10.32840/pdu.2021.3.7. [in Ukrainian].
4. Herzing, M., Jacobsson, A. (2018). Efficient environmental inspections and enforcement. Available at: DOI: 10.13140/RG.2.2.35752.42242.
5. Komarnytskyi, V. M. (2019). Udoskonalennia kontroliu v haluzi okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyssha: pravovi ta orhanizatsiini pytannia. [Improvement of control in the field of environmental protection: legal and organizational issues]. *Bulletin of Luhansk State University of Internal Affairs named after E. Didorenko.* 2(86). pp. 217-224. Available at: DOI: 10.33766/2524-0323.86.217-224. [in Ukrainian].
6. Horodetska, I. (2020). Koruptsiöhenni faktory v systemi derzhavnoho kontroliu v haluzi okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyssha. [Corruption factors in the system of state control in the area of protection of natural environment]. *Entrepreneurship, Economy and Law.* 8. pp. 157-162. Available at: DOI: 10.32849/2663-5313/2020.8.25. [in Ukrainian].
7. Zhiying, C., Liangjian, W., Yang, Z. (2022). Environmental effects of city– county mergers in China: strengthening governance or aggravating pollution?". *Sustainability.* 14(9), 5522. Available at: DOI: 10.3390/su14095522.
8. Ovcharov, O. V., Vlasovets, V. M. (2021). Udoskonalennia pravovykh osnov derzhavnoho nahliadu za dotrymanniam orendariamy Ukrainy vymoh ekoloohooshchadnoho zemlekorystuvannia ta okhorony zemel. [Improving the legal framework for state supervision for compliance by tenants of Ukraine with the requirements environmentally friendly land use and land protection]. *Engineering of nature management.* 2021. 4(18). C. 100-113. Available at: DOI: 10.37700/enm.2020.4(18).100-113. [in Ukrainian].
9. Shekhovtsov, V. V. (2020). Instytut hromadskykh inspektoriv yak mekhanizm realizatsii hromadskoho kontroliu u haluzi okhorony, vykorystannia i vidtvorennia tvarynnoho svitu. [Institute of public inspectors as a mechanism for implementation of public control in the field of protection, use and reproduction of wildlife]. *Private and Public Law.* 3. pp. 39-43. Available at: DOI: 10.32845/2663- 5666.2020.3.8. [in Ukrainian].
10. Herasymchuk, L. O., Valerko, R. A., Hrebanchuk, L. I. (2018). Derzhavnyi kontrol za vypadkami masovoho zamoru ryby na vodoimakh Zhytomyrskoi oblasti. [State control over cases of mass fish kill in reservoirs of the Zhytomyr region]. *Water Bioresources and Aquaculture.* 2. pp. 6–16. [in Ukrainian].
11. Serafimov, V. (2020). Supervision (control) in the sphere of marine environment protection in Ukraine: new institutional transformations. *Lex Portus.* 1(21). pp. 23-36. Available at: DOI: 10.26886/2524-101X.1.2020.2.
12. Sirant, M. (2020). Meta ta zavdannia derzhavnoho ekolohichnoho nahliadu u sferi povodzhennia z vidkhodamy. [The purpose and objectives of state environmental supervision in the field of waste management]. *Law Herald.* 5. pp. 88-97. Available at: DOI: 10.32837/yuv.v0i5.2006. [in Ukrainian].
13. Herasymchuk, L. O., Valerko, R. A., Yasynskyi, V. V., Pitsil, A. O., Soloviova, O. O. (2022). Derzhavnyi kontrol u sferi povodzhennia z vidkhodamy na terytorii Zhytomyrskoi oblasti. [State control in the field of waste management in the territory of Zhytomyr region]. *Ecological Sciences.* 5(44). pp. 255-259. Available at: DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.39>. [in Ukrainian].
14. Krotiuk, A. (2021). Inozemnyi dosvid zapobihannia nezakonnii porubtsi, perevezenniu, zberihanniu, zbutu lisu. [Foreign experience in preventing illegal felling, transportation, storage, and sale of forest]. *Scientific Journal of the National Academy of Internal Affairs.* 1(118). pp. 24-30. Available at: DOI: 10.33270/01211181.24. [in Ukrainian].
15. Oliinychuk, R. (2020). Osoblyvosti rozsliduvannia nezakonnoi porubky lisu. [Features of the investigation of illegal felling]. *Actual Problems of Law.* 3(23). pp. 166-169. Available at: DOI: 10.35774/app2020.03.166. [in Ukrainian].
16. Cherniavska, Ya. A. (2020). Administratyvnyi nahliad yak metod lisookhoronnoi diialnosti Natsionalnoi politsii Ukrainy. [Administrative supervision as a method of forest protection activities of the national police of Ukraine]. *Juridical Scientific and Electronic Journal.* 3(2). pp. 74-78. Available at: DOI: 10.32782/2524-0374/2020-3-2/18. [in Ukrainian].
17. Sotskyi, A. M. (2020). Povnovazhennia ta kompetentsiia tsentralnykh orhaniv vykonavchoi vlady v lisovii sferi. [Powers and competence of central executive bodies in the forest sphere]. *Scientific Bulletin of the International Humanities University. Series: Jurisprudence.* 48. pp. 115-119. Available at: DOI: 10.32841/2307- 1745.2020.48.26. [in Ukrainian].

УДК 630*1(477.84):31-047.44

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-5>

Любомир ГУЛАЙ

доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0003-3495-5027

Руслан ВОЙЦЕХОВСЬКИЙ

магістр екології, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

Зоряна ЛАВРИНЮК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-1906-3330

Ольга КАРАЇМ

кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-1722-4110

Олена ДЖАМ

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0003-2222-3734

Бібліографічний опис статті: Гулай Л., Войцеховський Р., Лавринюк З., Караїм О., Джам О. (2022). Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення господарської діяльності Волинського ОУЛМГ. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 48–60, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-5>

ЕКОЛОГО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ ВЕДЕННЯ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВОЛИНСЬКОГО ОУЛМГ

Збереження лісового фонду та контроль за раціональним використанням його ресурсного потенціалу на території Волинської області є важливим природоохоронним завданням, оскільки ліси вкривають близько третини території Волинської області (лісистість області становить 34,8%). Здійснення еколого-статистичного дослідження основних аспектів ведення лісового господарства Волинського ОУЛМГ дозволить проаналізувати основні тенденції лісгосподарської діяльності.

Метою роботи є здійснення еколого-статистичного аналізу основних аспектів ведення господарської діяльності Волинського ОУЛМГ.

Дослідження проведено на основі методів збору інформації та методів статистичного аналізу даних. Всі обчислення проведено за допомогою програм Microsoft Excel та Microcal Origin (version 6).

При виконанні завдань використано дані Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України по Волинській області (екологічний паспорт), Волинської обласної державної адміністрації, Волинського обласного управління лісового і мисливського господарства за 2015–2019 роки.

За результатами еколого-статистичного дослідження виявлено існування таких тенденцій діяльності Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки: спадання обсягів заготівлі деревини в порядку рубок головного користування; зростання обсягів заготівлі деревини від санітарних рубок; зростання площі відновлення лісів; зростання обсягів вирощування садивного матеріалу.

Встановлено, що основну частку рубок становлять рубки головного користування і санітарні рубки. Обсяги рубок головного користування спадали, тоді як санітарних рубок – зростали. Ці види рубок є визначальними у формуванні загальної тенденції у заготівлі деревини. Існує тенденція до подальшого зростання частки санітарних рубок і спадання рубок головного користування у загальному обсязі рубок Волинського ОУЛМГ.

Ключові слова: еколого-статистичний аналіз, господарська діяльність, лісомисливське господарство, лісо-відновлення, лісорозведення.

Lubomir GULAY

Doctor of Science in Chemistry, Professor, Head of the Department of Chemistry and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-3495-5027

Ruslan VOITSEHOVSKYI

Master of Ecology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

Zoryana LAVRYNYUK

PhD of Chemistry, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1906-3330

Oliha KARAIM

PhD of Economics, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1722-4110

Olena DZHAM

PhD of Chemistry, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-2222-3734

To cite this article: Gulay L., Voytsechovskyi R., Lavrynyuk Z., Karaim O., Dzham O. (2022). Ekolooho-statystychnyi analiz osnovnykh aspektiv vedennia hospodarskoi diialnosti Volynskoho OULMH [Ecological and statistical analysis of the main aspects of economic activity of the volyn regional forestry and hunting management]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 48–60, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-5>

ECOLOGICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE MAIN ASPECTS OF ECONOMIC ACTIVITY OF THE VOLYN REGIONAL FORESTRY AND HUNTING MANAGEMENT

Preservation of the forest fund and control over the rational use of this resource potential in the territory of the Volyn region is an important task, because forests cover about a third of the territory of the Volyn region (forest coverage of the region is 34.8 %). Carrying out an ecological and statistical study of the main aspects of forestry in Volyn regional forestry and hunting management will allow analyzing the main trends in management.

The purpose of the work is to carry out an ecological and statistical analysis of the main aspects of forestry in the Volyn regional forestry and hunting management, to identify the main patterns.

The research was conducted on the basis of methods of information collection and methods of statistical data analysis according. All calculations were performed using Microsoft Excel and Microcal Origin (version 6) programs.

During performance of the tasks, data from the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine for the Volyn region (ecological passport), the Volyn regional state administration, and the Volyn regional forestry and hunting management for the years 2015–2019 were used.

According to the results of an ecological and statistical study, the existence of the following trends in the activity of the Volyn regional forestry and hunting management for the years 2015–2019 was revealed: a decrease in the volume of

wood harvesting in the order of felling for the main use; increase in the volume of wood harvesting from sanitary cutting; increase in the area of forest restoration; growth in the volume of cultivation of planting material.

It has been established that the main share of cuttings forms mainly cutting and sanitary ones. Their volume for main use decreased, while the volume of sanitary cuttings increased. These types of cuttings are decisive in the formation of the general trend in wood harvesting. There is a tendency towards a further increase in the share of sanitary cuttings and a decrease of cuttings of main use in the total volume of cuttings of the Volyn regional forestry and hunting management.

Key words: *ecological and statistical analysis, economic activity, forest hunting, reforestation, afforestation.*

Актуальність проблеми. Ліс, як цінний природний ресурс, є вагомою частиною народного господарства, що вимагає збалансованого користування. Ліси у Волинській області вкривають близько третини території, тому актуальним є проведення досліджень, що сприятимуть ефективному використанню лісових ресурсів області. Збереження та відтворення лісового потенціалу Волині є також важливим природоохоронним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Еколого-економічні аспекти раціонального ведення лісового господарства розглядалися у працях (Дребот, 2012, Замула, 2013). Автори (Гулай, 2021, Джам, 2021, Караїм, 2022, Лавринюк, 2022) здійснювали еколого-статистичний та екологічний аналіз господарської діяльності лише деяких лісових господарств, тому еколого-статистичний аналіз ведення лісового господарства Волинської області є актуальним завданням для забезпечення виконання принципів екологізації та раціонального управління лісгосподарською діяльністю області.

Метою роботи є здійснення еколого-статистичного аналізу основних аспектів ведення господарської діяльності Волинського ОУЛМГ.

Методологія. Дослідження проведено на основі методів збору інформації та методів статистичного аналізу даних за методиками, описаними у (Мармоза, 2005, Тарасова, 2008). Всі обчислення проведено за допомогою програм Microsoft Excel та Microcal Origin (version 6) (Богданов, 2003, Глушков, 2006).

При виконанні завдань використано дані Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України по Волинській області (екологічний паспорт), Волинської обласної державної адміністрації, Волинського обласного управління лісового і мисливського господарства за 2015–2019 роки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Збереження лісового покриву та контроль за раціональним використанням цього ресурсного потенціалу на території області є важливим

природоохоронним завданням. Нами здійснено еколого-статистичне дослідження основних аспектів ведення лісового господарства Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки.

У результаті проведених еколого-статистичних розрахунків, можемо констатувати наступне.

Що стосується заготівлі деревини в порядку рубок головного користування (динаміка площі за 2015–2019 роки показана на рис. 1), то бачимо, що із 2015 по 2018 роки ця величина плавно зростала з 2054,1 га (2015 рік) до 3485,1 га (2018 рік). У наступному 2019 році ця величина зменшилася до 2397,7 га. У загальному, за вказаний період часу площа заготівлі деревини в порядку рубок головного користування Волинського ОУЛМГ збільшилася на 343,6 га.

Динаміка заготівлі деревини в порядку рубок головного користування Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 2. Аналіз динаміки проведено на основі статистичних обрахунків.

Аналізуючи дані статистичних обрахунків, робимо висновки, що заготівля деревини в порядку рубок головного користування Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки спадала в середньому на 9,5 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 219897 м³. У 2017 і 2018 роках спостерігалось прискорення темпів спадання заготівлі деревини в порядку рубок головного користування, а в 2019 році – їх уповільнення.

Що стосується заготівлі деревини від рубок догляду (динаміка площі за 2015–2019 роки показана на рис. 3), то із 2015 до 2016 рік ця величина зменшилася із 5870 до 5262 га. У наступному 2017 році площа заготівлі деревини зросла до 5486 га. У подальші роки вона поступово зменшувалася і становила 5005 га у 2019 році. У загальному, за вказаний період часу площа заготівлі деревини від рубок догляду Волинського ОУЛМГ зменшилася на 865 га.

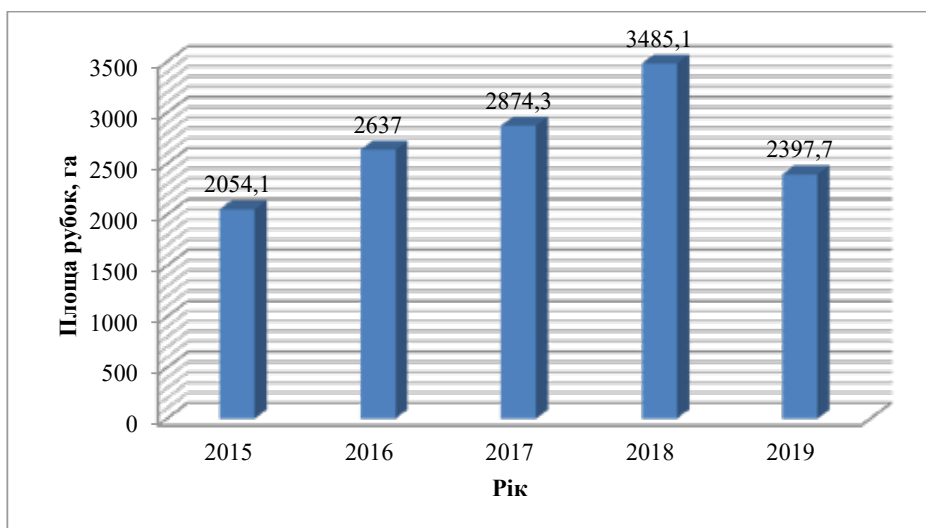


Рис. 1. Динаміка площі заготівлі деревини в порядку рубок головного користування Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

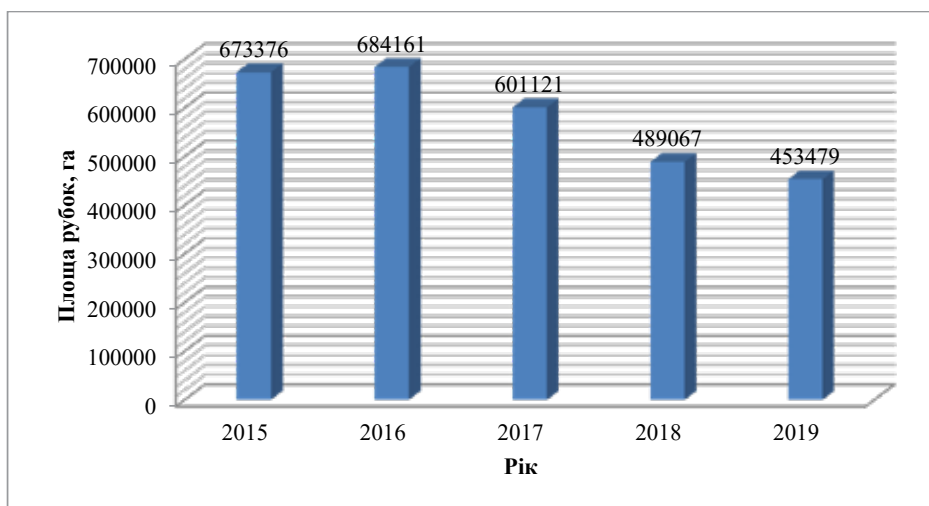


Рис. 2. Динаміка заготівлі деревини в порядку рубок головного користування Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

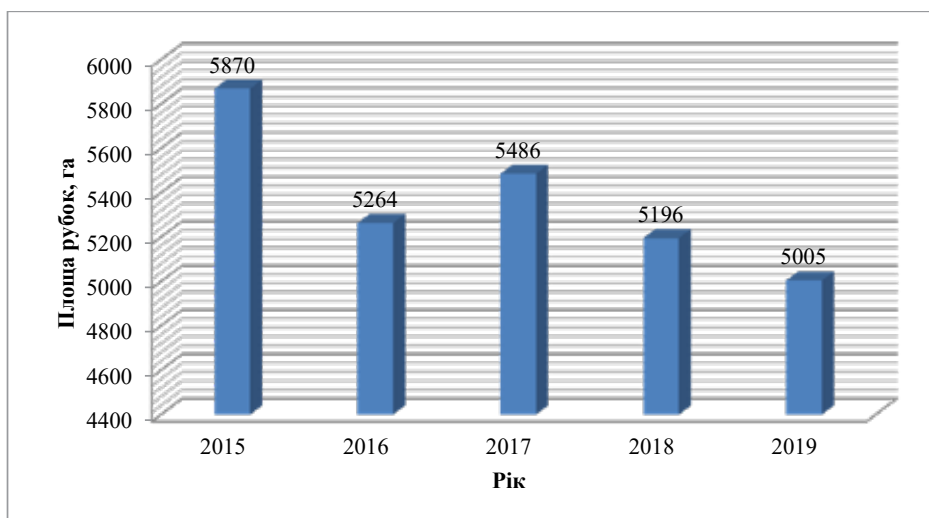


Рис. 3. Динаміка площі заготівлі деревини від рубок догляду Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

Динаміка заготівлі деревини від рубок догляду Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 4.

Аналізуючи дані статистичних досліджень, робимо висновки, що заготівля деревини від рубок догляду Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки спадала в середньому на 3,6 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 8414 м³. У 2017 і 2019 роках спостерігалось уповільнення темпів спадання заготівлі деревини від рубок догляду, а в 2018 році – їх прискорення.

Аналізуючи особливості *заготівлі деревини від санітарних рубок*, (динаміка площі

за 2015–2019 роки показана на рис. 5), бачимо, що із 2015 до 2016 року ця величина зменшилася з 6107 до 5789 га. У наступному 2017 році площа заготівлі деревини різко зросла до 18105 га і в наступні роки поступово збільшувалася і становила 23185 га у 2019 році. У загальному, за вказаний період часу площа заготівлі деревини від санітарних рубок Волинського ОУЛМГ збільшилася на 17078 га.

Динаміка заготівлі деревини від санітарних рубок Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 6. Аналіз динаміки проведено на основі статистичних обрахунків.

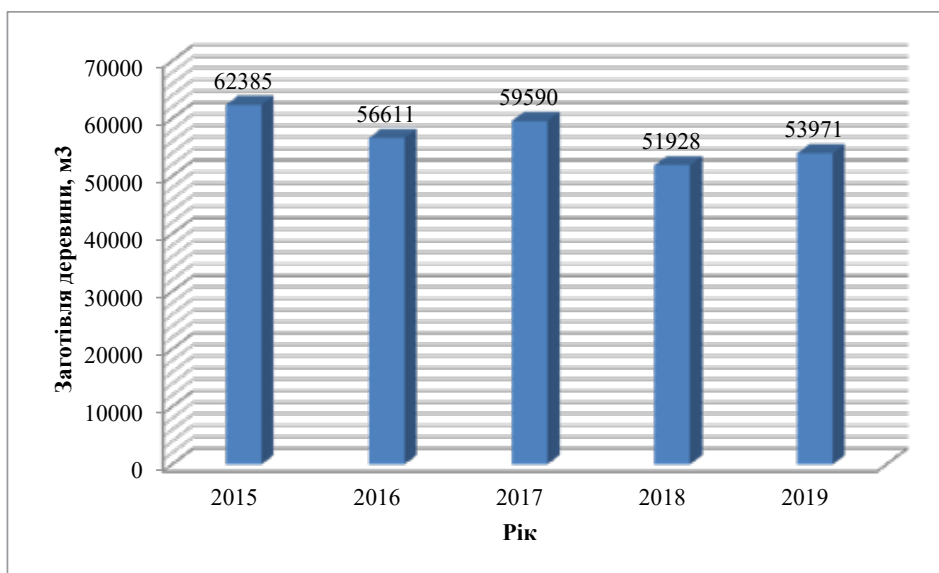


Рис. 4. Динаміка заготівлі деревини від рубок догляду Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

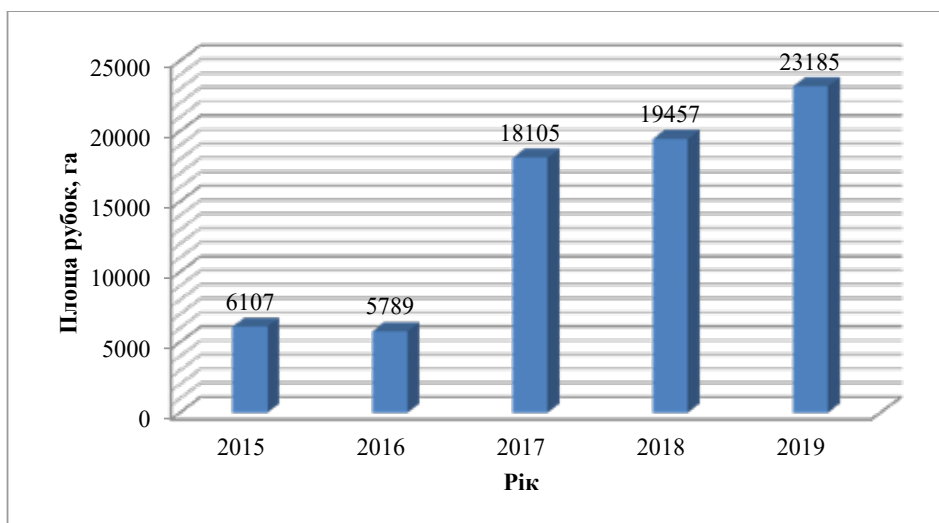


Рис. 5. Динаміка площі заготівлі деревини від санітарних рубок Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

На основі проведених досліджень можна зробити висновки, що заготівля деревини від санітарних рубок Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки зростала в середньому на 27,3% щорічно і збільшилася за вказаний період часу на 500589 м³. У 2017 році спостерігалось прискорення темпів зростання заготівлі деревини від санітарних рубок, а в 2018 і 2019 роках – їх уповільнення.

Аналізуючи *заготівлю деревини від інших заходів, пов'язаних з веденням лісового господарства* (динаміка площі за 2015–2019 роки

показана на рис. 7), бачимо, що із 2015 до 2016 року вона збільшилася із 4320 до 7316 га. У наступному 2017 році площа заготівлі деревини різко впала до 1344 га і в наступні роки поступово зменшувалася і становила 359 га у 2019 році. У загальному, за вказаний період часу площа заготівлі деревини від інших заходів, пов'язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ зменшилася на 3961 га.

Динаміка заготівлі деревини від інших заходів, пов'язаних з веденням лісового господар-

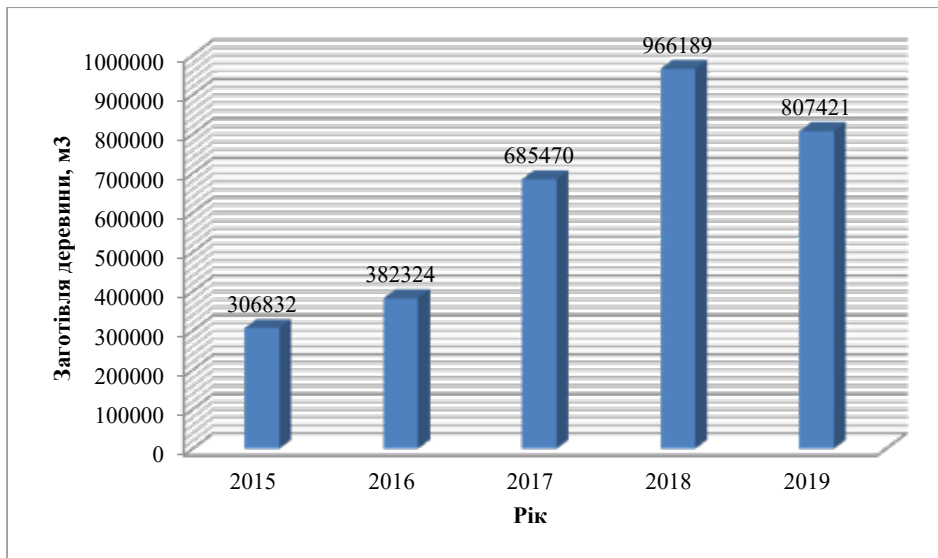


Рис. 6. Динаміка заготівлі деревини від санітарних рубок Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

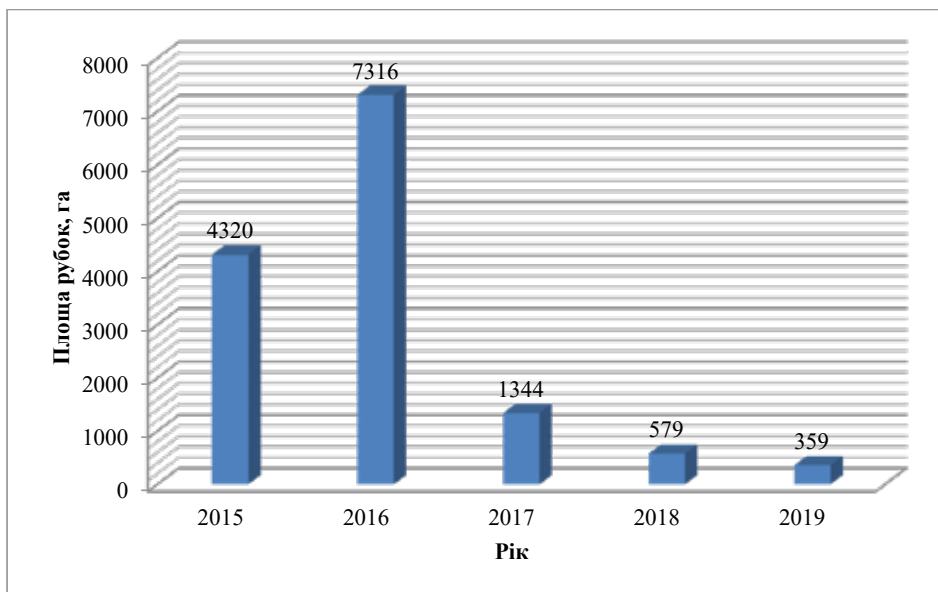


Рис. 7. Динаміка площі заготівлі деревини від інших заходів, пов'язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

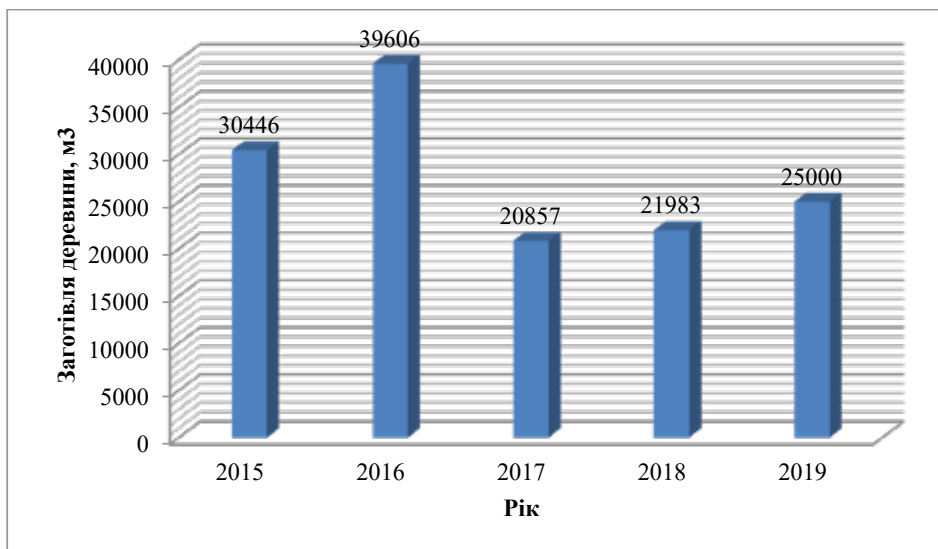


Рис. 8. Динаміка заготівлі деревини від інших заходів, пов’язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015 – 2019 роки

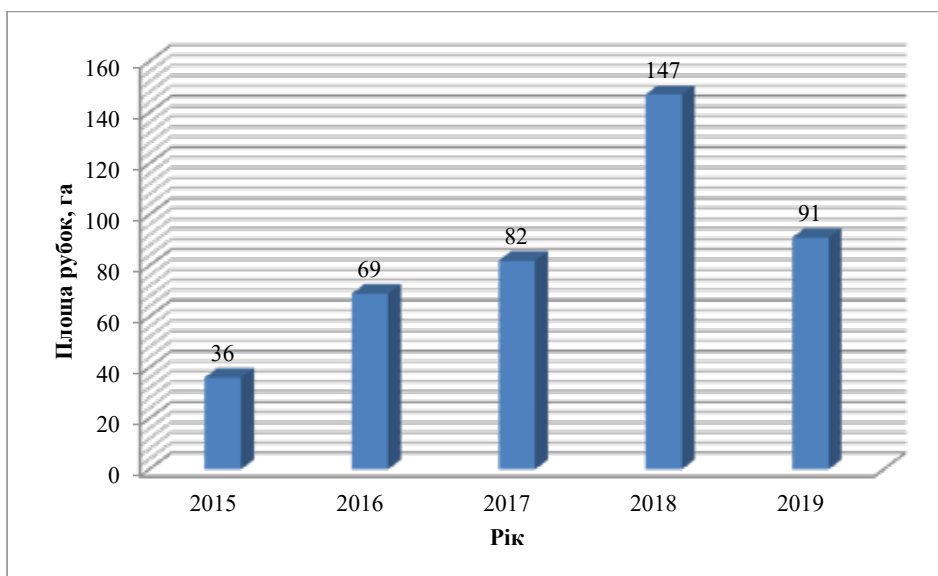


Рис. 9. Динаміка площі заготівлі деревини від інших заходів, не пов’язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

ства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 8.

Отже, заготівля деревини від інших заходів, пов’язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки спадала в середньому на 4,9 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 5446 м³. У 2017 році спостерігалось прискорення темпів зростання заготівлі деревини від інших заходів, пов’язаних з веденням лісового господарства, а в 2018 та 2019 роках – їх уповільнення.

Аналізуючи дані *заготівлі деревини від інших заходів, не пов’язаних з веденням*

лісового господарства (динаміка площі за 2015–2019 роки показана на рис. 9), бачимо, що із 2015 до 2018 року цей показник плавно збільшувався з 36 до 147 га. У наступному 2019 році площа заготівлі деревини зменшилася до 91 га. У загальному, за вказаний період часу площа заготівлі деревини від інших заходів, не пов’язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ збільшилася на 55 га.

Динаміка заготівлі деревини від інших заходів, не пов’язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 10.

Отже, заготівля деревини від інших заходів, не пов'язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015 – 2019 роки зростала в середньому на 31,1 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 4515 м³.

У 2017 і 2018 роках спостерігалось уповільнення темпів зростання заготівлі деревини від інших заходів, не пов'язаних з веденням лісового господарства, а в 2019 році – їх різке прискорення.

Що стосується *відновлення лісів на землях лісового фонду*, то ці показники за 2015–2019 роки зведено у табл. 1.

Динаміка площі відновлення лісів Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 11.

Отже, відновлення лісів Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки зростало в середньому на 9,8 % щорічно і збільшилося за вказаний період часу на 1715,5 га. У 2017 і 2019 роках спостерігалось прискорення тем-

пів зростання відновлення лісів, а в 2018 році – їх уповільнення.

Структура відтворення лісів Волинського ОУЛМГ за 2015 – 2019 роки показана на рис. 12. В загальному, співвідношення між садінням і висіванням лісу та його природним поновленням близьке 1 : 1.

Динаміка вирощування садивного матеріалу Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 13. З 2015 по 2017 роки величина вирощування садивного матеріалу зростала з 17944,0 до 23529,6 тис. шт.

У наступному 2018 році ця величина зменшилася до 20530,9 тис. шт. і збільшилася в 2020 році до 27640,4 тис. шт. В загальному, за період 2015–2019 роки вирощування садивного матеріалу зросло на 9696,4 тис. шт.

Аналіз діяльності Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показує на існування таких тенденцій: спадання обсягів заготівлі деревини в порядку рубок головного користування; зростання обсягів заготівля деревини від санітарних

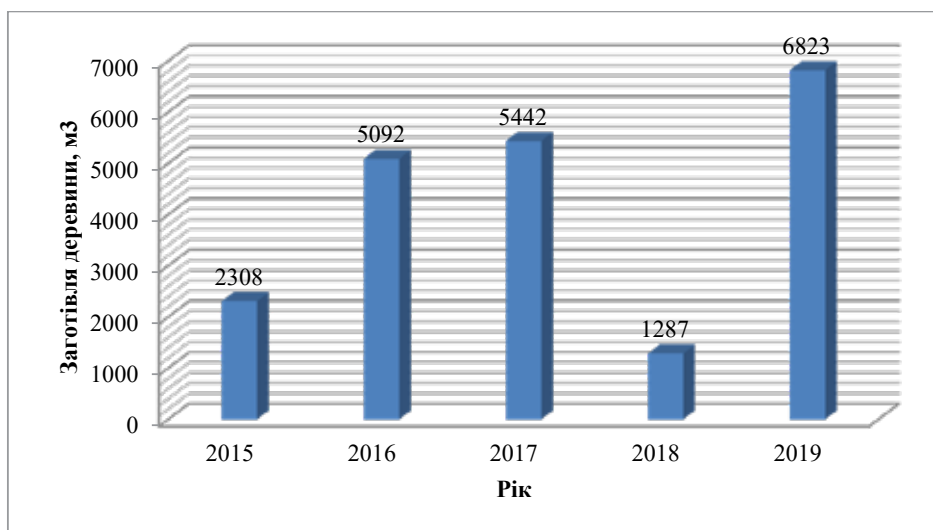


Рис. 10. Динаміка заготівлі деревини від інших заходів, не пов'язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

Таблиця 1

Показники відновлення лісів на землях лісового фонду Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

Рік	Садіння і висівання лісу, га	Сприяння природному поновленню лісу, га	Вирощування садивного матеріалу, тис. шт.
2015	1954,4	1806,8	17944,0
2016	2206,9	1749,1	21333,8
2017	2411,2	1987,1	23529,6
2018	2514,5	2321,1	20530,9
2019	2602,0	2874,7	27640,4

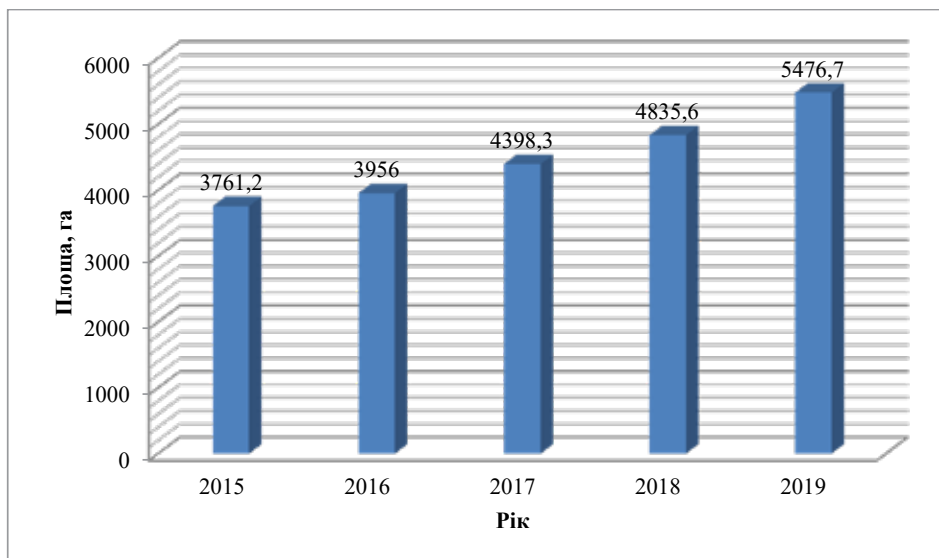


Рис. 11. Динаміка площі відновлення лісів Волинського ОУЛМГ за 2015 – 2019 роки

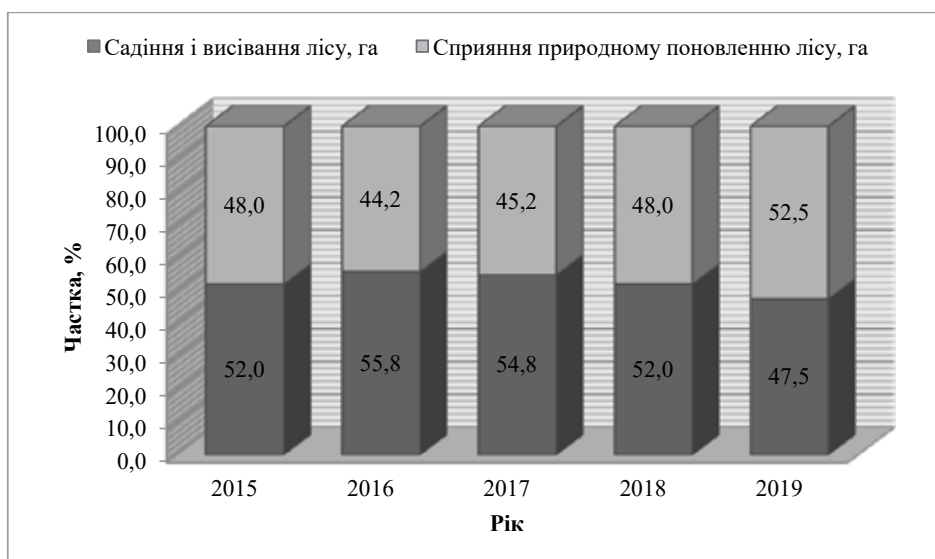


Рис. 12. Структура відтворення лісів Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

рубок; зростання площі відновлення лісів; зростання вирощування садивного матеріалу.

Структура заготівлі деревини Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показана на рис. 14–15. Основна частка рубок припадає на рубки головного користування і санітарні рубки. Обсяги рубок головного користування спадали, тоді як санітарних рубок – зростали. Ці види рубок є визначальними у формуванні загальної тенденції у заготівлі деревини (рис. 14). За вказаний період часу частка санітарних рубок зросла з 25,5 % у 2015 році до 60,0 % у 2019 році, а частка рубок головного користування зменшилася з 62,6 % у 2015 році до 33,7 % у 2019 році. Існує тенденція до подальшого

зростання частки санітарних рубок і спадання рубок головного користування у загальному обсязі рубок Волинського ОУЛМГ (рис. 15).

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, заготівля деревини в порядку рубок головного користування Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки спадала в середньому на 9,5 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 219897 м³. За вказаний період часу площа заготівлі деревини в порядку рубок головного користування збільшилася на 343,6 га. За цей час заготівля деревинних соків Волинського ОУЛМГ зменшилася на 906,7 т, а заготівля новорічних ялинок збільшилася на 1374 шт.

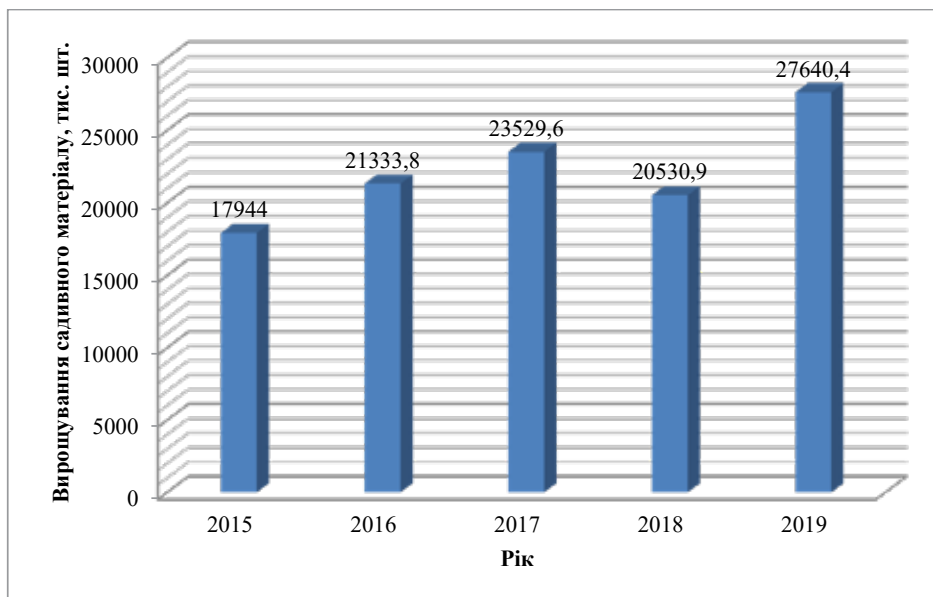


Рис. 13. Динаміка вирощування садивного матеріалу Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

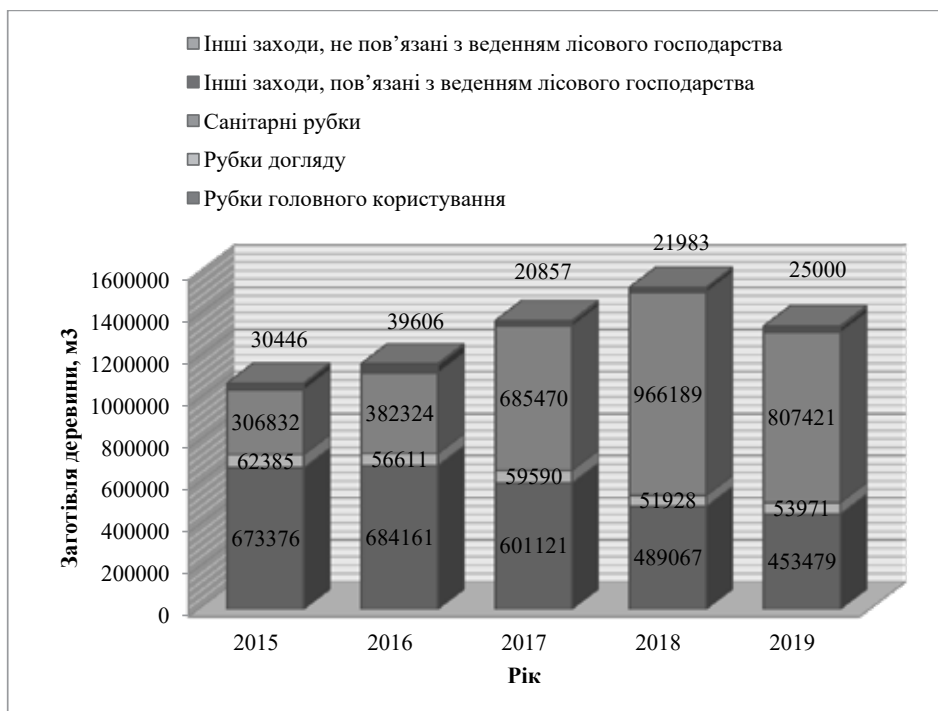


Рис. 14. Структура заготівлі деревини Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки

Заготівля деревини від рубок догляду Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки спадала в середньому на 3,6 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 8414 м³. За вказаний період часу площа заготівлі деревини від рубок догляду зменшилася на 865 га. Заготівля деревини від санітарних рубок Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки зростала в середньому на 27,3 % щорічно і збільшилася за вказаний

період часу на 500589 м³. За вказаний період часу площа заготівлі деревини від санітарних рубок збільшилася на 17078 га. Заготівля деревини від інших заходів, пов'язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки спадала в середньому на 4,9 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 5446 м³. За вказаний період часу площа заготівлі деревини від інших заходів, пов'язаних з веден-

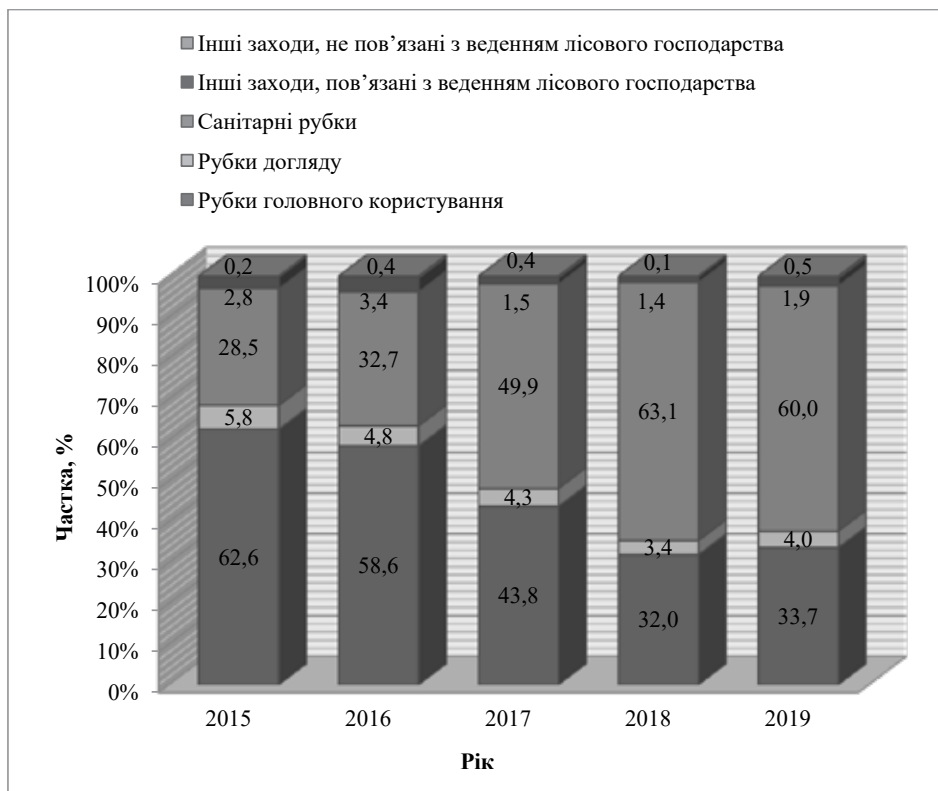


Рис. 15. Структура заготівлі деревини Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки (частка)

ням лісового господарства, зменшилася на 3961 га. Заготівля деревини від інших заходів, не пов'язаних з веденням лісового господарства, Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки зростала в середньому на 31,1 % щорічно і зменшилася за вказаний період часу на 4515 м³. За вказаний період часу площа заготівлі деревини від інших заходів, не пов'язаних з веденням лісового господарства, збільшилася на 55 га.

Відновлення лісів Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки зростало в середньому на 9,8 % щорічно і збільшилося за вказаний період часу

на 1715,5 га. Співвідношення між садінням і висіванням лісу та його природним поновленням близьке 1 : 1. За період 2015–2019 роки вирощування садивного матеріалу зросло на 9696,4 тис. шт.

Аналіз діяльності Волинського ОУЛМГ за 2015–2019 роки показує на існування таких тенденцій: спадання обсягів заготівлі деревини в порядку рубок головного користування; зростання обсягів заготівлі деревини від санітарних рубок; зростання площі відновлення лісів; зростання вирощування садивного матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Богданов А. Визуализация данных в Microsoft Origin. Київ: Альтекс, 2003. 112с.
2. Войцеховський Р.Р., Лавринюк З.В., Гулай Л.Д. Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення лісового господарства Волинського ОУЛМГ. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень» (17 травня 2022 року). Луцьк: ВНУ ім. Лесі Українки, 2022. С. 229–231.
3. Глушков С.В. Microsoft Excel XP. Харьков: ФОЛІО, 2006. 509 с.
4. Гулай Л., Лавринюк З., Караїм О., Джам О. Еколого-статистичний аналіз основних аспектів ведення лісового господарства Тернопільської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. № 2, 2022. С. 17–27. <https://doi.org/10.32782/psd-2022-2-3>.
5. Довкілля Волині 2018: Статистичний збірник. Луцьк: Головне управління статистики у Волинській області, 2019. 165 с.
6. Дребот О.І. Інституціоналізація лісового сектора економіки в контексті сталого розвитку України: Монографія. Київ: ДІА, 2012. 336 с.

7. Екологічний паспорт Волинської області за 2019 рік / Волинська обласна державна адміністрація. 2020. URL: <https://voladm.gov.ua/>
8. Замула Х.П. Сучасний стан ведення лісового господарства в Україні. *Агросвіт*. 2013, 19. С 54–59.
9. Караїм О.А., Гулай Л.Д., Юрченко О.М., Бакараєв О.А., Дзам О.А., Музиченко О.С., Лавринюк З.В. Оцінка впливу на довкілля викидів забруднюючих речовин ДП «Колківське ЛГ». *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. Харків, 2021. № 24. С. 68–78. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-06>.
10. Мармоза А.Т. Практикум із статистики. Київ: Кондор, 2005. 510 с.
11. Офіційний сайт Волинського обласного управління лісового та мисливського господарства. URL : <https://lisvolyn.gov.ua/>.
12. Офіційний сайт Волинської обласної державної адміністрації. URL: <https://lisvolyn.gov.ua/>.
13. Офіційний сайт Державного агентства лісових ресурсів України. URL: <http://dklg.kmu.gov.ua/>
14. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2015 рік / Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2015.
15. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2016 рік / Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2016.
16. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2017 рік / Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2017.
17. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2018 рік / Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2018.
18. Річний звіт про виконання виробничо-фінансового плану по лісовому і мисливському господарству та охороні навколишнього природного середовища Волинського ОУЛМГ за 2019 рік / Волинське обласне управління лісового та мисливського господарства. 2019.
19. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2019 рік / Міністерство екології та природних ресурсів України. 2020. URL : <https://mepr.gov.ua/>
20. Тарасова В.В. Екологічна статистика. К.: Центр учбової літератури, 2008. 392 с.

REFERENCES:

1. Bogdanov, A. (2003). *Vizualizatsiia dannykh v Microcal Origin [Visualization of data in Microcal Origin]*. Kyiv: Alteks. 112 p. [in Ukrainian].
2. Voitsehovskyi, R.R., Lavrynyuk, Z.V., Gulay, L.D. (2022). *Ekoloho-statystychnyi analiz osnovnykh aspektiv vedennia lisovoho hospodarstva Volynskoho OULMH [Ecological and statistical analysis of the main aspects of forestry management of the Volyn OULMG]*. Materials of the 16th International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists "Young science in Volyn: research priorities and prospects" (May 17, 2022). Lutsk: VNU Lesya Ukrainka. 229-231 [in Ukrainian].
3. Hlushkov, S.V. (2006). *Microsoft Excel XP*. Kharkiv: FOLIO. 509 p. [in Ukrainian].
4. Gulay, L., Lavrynyuk, Z., Karaim, O., Dzham, O. (2022). *Ekoloho-statystychnyi analiz osnovnykh aspektiv vedennia lisovoho hospodarstva Ternopilskoi oblasti [Environmental and statistical analysis of the main aspects of forestry in the Ternopil region]*. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*. № 2. 17-27. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-2-3> [in Ukrainian].
5. *Dovkillia Volyni 2018: Statystychnyi zbirnyk*. (2019). [Environment of Volyn 2018: Statistical collection]. Lutsk: Main Department of Statistics in the Volyn Region. 165 p. [in Ukrainian].
6. Drebot, O.I. (2012). *Instytutsionalizatsiia lisovoho sektora ekonomiky v konteksti staloho rozvytku Ukrainy [Institutionalization of the forest sector of the economy in the context of sustainable development of Ukraine]: Monograph*. Kyiv: DIA. 336 p. [in Ukrainian].
7. *Ekolohichniy pasport Volynskoi oblasti za 2019 rik*. (2020). [Ecological passport of the Volyn region for 2019] / Volyn regional state administration. URL: <https://voladm.gov.ua/> [in Ukrainian].
8. Zamula, H.P. (2013). *Suchasnyi stan vedennia lisovoho hospodarstva v Ukraini [The current state of forestry management in Ukraine]*. *Agrosvit*. 19. 54-59 [in Ukrainian].
9. Karaim, O., Gulay, L., Yurchenko, O., Bakaraev, O., Dzham, O., Muzychenko, O., Lavrynyuk, Z. (2021). *Otsinka vplyvu na dovkillia vykydiv zabrudniuuyuchykh rehovyn DP «Kolkivske LH». [Impact assessment of state enterprise 'Kolky forestry' pollutants emissions]*. *Herald of V. N. Karazin KhNU. "Ecology" series*. Kharkiv. №. 24. 68-78. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-06> [in Ukrainian].

10. Marmoza, A.T. (2005). *Praktykum iz statystyky* [Workshop on statistics]. Kyiv: Condor. 510 p. [in Ukrainian].
11. Ofitsiynyi sait Volynskoho oblasnoho upravlinnia lisovoho ta myslyvskoho hospodarstva [The official website of the Volyn regional forestry and hunting management]. URL: <https://lisvolyn.gov.ua/> [in Ukrainian].
12. Ofitsiynyi sait Volynskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii [Official site of the Volyn Regional State Administration]. URL: <https://lisvolyn.gov.ua/> [in Ukrainian].
13. Ofitsiynyi sait Derzhavnoho ahentstva lisovykh resursiv Ukrainy [Official site of the State Agency of Forest Resources of Ukraine]. URL: <http://dklg.kmu.gov.ua/> [in Ukrainian].
14. *Richnyi zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvskomu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Volynskoho OULMH za 2015 rik* (2015). [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn regional forestry and hunting management for the year 2015] / Volyn regional forestry and hunting management [in Ukrainian].
15. *Richnyi zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvskomu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Volynskoho OULMH za 2016 rik*. (2016). [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn regional forestry and hunting management for 2016] / Volyn regional forestry and hunting management [in Ukrainian].
16. *Richnyi zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvskomu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Volynskoho OULMH za 2017 rik*. (2017). [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn regional forestry and hunting management for 2017] / Volyn regional forestry and hunting management [in Ukrainian].
17. *Richnyi zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvskomu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Volynskoho OULMH za 2018 rik*. (2018). [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn regional forestry and hunting management for the year 2018] / Volyn regional forestry and hunting management [in Ukrainian].
18. *Richnyi zvit pro vykonannya vyrobnycho-finansovoho planu po lisovomu i myslyvskomu hospodarstvu ta okhoroni navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Volynskoho OULMH za 2019 rik*. (2019). [Annual report on the implementation of the production and financial plan for forestry and hunting and environmental protection of the Volyn regional forestry and hunting management for the year 2019] / Volyn regional forestry and hunting management [in Ukrainian].
19. *Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha u Volynskii oblasti za 2019 rik* (2020). [Regional report on the state of the natural environment in the Volyn region for 2019] / Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. URL: <https://mepr.gov.ua/> [in Ukrainian].
20. Tarasova, V.V. (2008). *Ekolohichna statystyka* [Ecological statistics]. K.: Center of Educational Literature. 392 p. [in Ukrainian].

УДК 504:054

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-6>

Алла КОЛІСНИК

кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Одеська обл., Україна, 65016

ORCID: 0000-0002-0622-9637

Віктор ПИЛИП'ЮК

кандидат географічних наук, доцент кафедри гідроекології та водних досліджень, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Одеська обл., Україна, 650016

ORCID: 0000-0002-0365-4275

Бібліографічний опис статті: Колісник, А., Пилип'юк, В. (2022). Оцінка екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 61–69, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-6>

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПОГІРШЕННЯ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД СУББАСЕЙНУ СЕРЕДНЬОГО ДНІПРА В МЕЖАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Роботу присвячено оцінці екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області. Актуальність дослідження полягає у тому, що оцінка якості та аналіз сучасного стану природних вод є дуже важливим етапом у організації безпечного для життя та здоров'я населення водопостачання питної води. Метою роботи є оцінка екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод в межах Полтавської області. Об'єкт дослідження – це поверхневі води суббасейну середнього Дніпра. Предметом дослідження виступає екологічний ризик погіршення стану поверхневих вод. У дослідженні застосований комплекс методичних підходів. Зокрема, оцінена якість поверхневих водних об'єктів за Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями, результати якої стали підґрунтям для оцінки екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра за допомогою Методики оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів за даними гідрохімічних спостережень та Методики оцінки екологічного ризику. За результатами оцінки якості поверхневих водних об'єктів в межах Полтавської області в 2019 році встановлено, що максимальний вклад в забруднення вносять показники трофо-сапробіологічної категорії, найприоритетніші: нітрит та нітрат іони, фосфати, які погіршують стан вод до «дуже поганого» стану. Найгірший екологічний стан та найвища ступінь забруднення води спостерігається у контрольному пункті спостереження № 8 у р. Сухий Омельник (нижче скиду з комерційного комунального підприємства авіамістечка міста Глобине). За результатами розрахунку екологічного ризику встановлено, що високий ризик погіршення екологічного стану водних ресурсів відмічається за вмістом хлорид-іону; нітрит-, нітрат- та фосфат-іонів; нафтопродуктів, міді, АПАР та залізом загальним. Максимальний рівень ризику погіршення стану поверхневих вод в межах суббасейну середнього Дніпра відмічається у створі № 11 (р. Оржиця, нижче місця випуску зворотних вод з о/с Оржицького молокозаводу). Отже, фіксуємо погіршення стану поверхневих вод через скиди в них зворотних вод. Результати дослідження слід використовувати для прийняття управлінських природоохоронних рішень зі зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси шляхом запобігання надходження у поверхневі водні об'єкти недостатньо очищених зворотних вод та для реалізації водоохоронних заходів в суббасейні середнього Дніпра в межах Полтавської області.

Ключові слова: екологічний ризик, якість води, забруднювальні речовини, суббасейн середнього Дніпра.

Alla KOLISNYK

PhD in Geography, Associate Professor at the Department of Environmental Science and Environmental Protection, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106

ORCID: 0000-0002-0622-9637

Victor PYLYPIUK

PhD in Geography, Associate Professor at the Department of Hydroecology and Water Research, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106

ORCID: 0000-0002-0365-4275

To cite this article: Kolisnyk, A., Pylypiuk, V. (2022). Otsinka ekolohichnoho ryzyku pohirshennia stanu poverkhnevyykh vod subbaseinu serednoho Dnipra v mezhakh Poltavskoi oblasti. [Assessment of environmental risk of deterioration of surface waters of the middle Dnieper Sub-Basin within the Poltava Region]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 61–69, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-6>

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISK OF DETERIORATION OF SURFACE WATERS OF THE MIDDLE DNEIPEL SUB-BASIN WITHIN THE POLTAVA REGION

The work is devoted to the assessment of the ecological risk of deterioration of the surface waters of the middle Dnieper sub-basin within the Poltava region. The relevance of the study is that the assessment of quality and analysis of the current state of natural waters is a very important step in the organization of safe for life and health of the population drinking water supply. The aim of the work is to assess the environmental risk of deterioration of surface waters within the Poltava region. The object of study is the surface waters of the middle Dnieper sub-basin. The subject of the study is the environmental risk of deterioration of surface waters.

The originality and methodology of the study is that the work uses a set of methodological approaches. In particular, the quality of surface water objects was assessed according to the Methodology of ecological assessment of surface water quality by relevant categories, the results of which became the basis for assessing the environmental risk of deterioration of surface waters of the middle Dnieper sub-basin with the help of Methodology for assessing the environmental risk of deterioration of water objects according to hydrochemical observations and Methodology for assessing environmental risk. Conclusions. According to the results of the assessment of the quality of surface water objects within the Poltava region in 2019, it was established that the maximum contribution to pollution is made by the category of tropho-saprobiological indicators, the highest by priority: nitrite and nitrate ions, phosphates, which worsen the state of water to the 7th category with the qualification – "very bad" state and "very polluted" water in terms of purity. The worst environmental conditions and the highest degree of water pollution are observed at the monitoring point № 8 in the river Sukhy Omelynyk (below the discharge from the commercial utility company of the air town of Globyne). According to the results of the calculation of environmental risk, it is established that a high risk of deterioration of the ecological status of water resources is observed in the content of chloride ion; nitrite, nitrate and phosphate ions; petroleum products, copper, surfactants and total iron. The maximum level of risk of deterioration of surface water within the middle Dnieper sub-basin is observed at observation point № 11 (Orzhytsia River below the water treatment facilities from the Orzhytsya Dairy Plant). This point relates to those that allow you to record the deterioration of water, due to discharges of waste water into the river. The practical value of the study is that its results should be used to make proper management environmental decisions to reduce anthropogenic inprint on water resources by preventing the inflow of insufficiently treated waste waters into the surface water objects and to implement water protection measures in the middle Dnieper basin within Poltava region.

Key words: ecological risk, water quality, pollutants, middle Dnieper sub-basin.

Актуальність проблеми. Актуальність роботи полягає у тому, що крім досліджень стану та якості поверхневих вод, які часто є джерелами питного водопостачання, з методичної точки зору цікавим є дослідження екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод. Такого типу дослідження є необхідним підґрунтям, основою для прогнозування та розробки рекомендацій щодо забезпечення вимог екологічної безпеки територій, організації безпечного для життя та здоров'я населення водопостачання питної води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання екологічної оцінки якості поверхневих вод у межах Полтавської області досліджувалися в окремих роботах. Якість поверхневих вод малих та середніх річок для різних видів призначення досліджена у роботі (Гололобова, Дорогань, 2019); встановлено, що під значним антропогенним навантаженням знаходяться

саме малі річки Полтавської області, а їх стан оцінюється як екологічний регрес. На основі комбінаторного індексу забруднення оцінений стан поверхневих вод регіону в роботі (Фесенко, 2013) та виконана спроба визначити основні підприємства-забруднювачі водного басейну; встановлено також, що досить загрозливою є ситуація з якістю природних вод Кременчуцького водосховища в районах питних водозаборів. Колективу авторів (Степова О.В., Булашенко Р.В., Рома В.В., 2012) вдалось виконати екологічну оцінку стану річкових вод області в районах розташування очисних споруд стічних вод промислових підприємств, господарсько-побутових стоків та оцінити ситуацію, як таку, яка характеризується збільшенням кількості забруднених ділянок і зменшення чистих, що обумовлено незадовільною роботою обладнання на очисних спорудах. Дослідження екологічного ризику погіршення стану поверхне-

вих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області раніше не проводились. Оригінальність цього дослідження полягає в застосуванні комплексу методичних підходів для реалізації поставлених завдань. В роботі оцінена якість поверхневих вод за Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями (Романенко В.Д., Жукинський В.М., 1998), результати якої стали підґрунтям для виконання оцінки екологічного ризику погіршення стану вод суббасейну середнього Дніпра на основі Методики оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів за даними гідрохімічних спостережень (Дем'янова О.О., Рибалова О.В., 2013), Методики оцінки екологічного ризику, який викликаний впливом джерел забруднення на водні об'єкти (Афанасьєв С.А., Гродзинский М.Д., 2004) та Методики оцінки екологічного ризику, який враховує максимальні перевищення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин у поверхневих водах (Мітрясова О.П., Селіванова А.М., 2014).

Мета дослідження полягає в оцінці екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області. Предметом дослідження є екологічний ризик погіршення стану поверхневих вод та методологія його дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Комплекс методичних підходів для реалізації мети дослідження представлений наступними методиками. У роботі застосовується *Методика оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів за даними гідрохімічних спостережень* (Дем'янова О.О., Рибалова О.В., 2013). При визначенні екологічного ризику за «еталонну» якість води приймаються екологічні нормативи, що являють собою науково обґрунтовані кількісні значення показників якості води (гідрофізичні, гідрохімічні, гідробіологічні, бактеріологічні, специфічні речовини), які відображають природний стан екосистеми водного об'єкта та цілі водоохоронної діяльності з покращання або збереження його екологічного благополуччя. За екологічний норматив приймають верхню межу вимог до поверхневих вод III категорії якості, II-го класу доброго стану (Романенко В.Д., Жукинський В.М., 1998). При дослідженні екологічного ризику, пов'язаного із санітарно-токсикологіч-

ними властивостями води (P_{rob}) за *Методикою оцінки екологічних ризиків, які викликані впливом джерел забруднення на водні об'єкти* (Афанасьєв С.А., Гродзинский М.Д., 2004) розраховується ризик на основі рівняння:

$$Prob = -2 + 3,32 \lg \frac{C_i}{C_{en}} \quad (1)$$

де C_i – концентрація i -ї речовини у водному об'єкті; C_{en} – екологічний норматив для водних об'єктів, який визначається як верхня межа 3-ої категорії класифікації якості поверхневих вод (Дем'янова О.О., Рибалова О.В., 2013). При трактуванні отриманих величин екологічного ризику пропонується користуватися наступною ранговою шкалою (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність якості поверхневих вод від величини екологічного ризику

Клас якості води	Значення екологічного ризику
I – Відмінний	< 0,1
II – Гарний	0,1 – 0,19
III – Задовільний	0,2 – 0,59
IV – Незадовільний	0,6 – 0,89
V – Поганий	0,9 – 1,0

Доцільно також виконати оцінку екологічного ризику, який враховує максимальні перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин (ЗР) у поверхневих водах. Ризик для водного об'єкту дослідники в роботі (Мітрясова О.П., Селіванова А.М., 2014) пропонують визначати за формулою:

$$R = \ln(P) \quad (2)$$

$$\text{де } P = \sum ni/N \quad (3)$$

$$\text{де } \sum ni = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i} \quad (4)$$

де C_i – концентрація i -ої ЗР; N – загальна кількість ЗР.

В якості вихідних даних для дослідження використані середньорічні концентрації речовин у контрольних створах суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області за 2019 рік (мг/дм³) з Екологічного паспорту (ЕП Полтавської обл., 2019). Спостереження за станом поверхневих вод відбувалися у 11-ти контрольних пунктах: № 1 – Кременчуцьке водосховище, с. Власівка, водозабір; № 2 – Кам'янське

водосховище, гирло р. Ворскла в р-ні мосту автошляху Кобеляки-Світлогірське, с. Лучки; № 3 – Кам'янське водосховище с. Придніпрянське; № 4 – р. Удай, 500 м вище скиду з Пирятинських госпрозрахункових о/с, автодорожний міст Полтава-Суми, Пирятинський район; № 5 – р. Удай, 500 м нижче скиду з Пирятинських госпрозрахункових о/с, с. Велика Круча, Пирятинський район; № 6 – р. Ворскла, Заплава р. Ворскла в районі скиду о/с ЖКК с. Терешки; № 7 – р. Сухий Омельник, 500 м вище скиду з ККП авіамістечка, м. Глобине; № 8 – р. Сухий Омельник, 500 м нижче скиду з ККП авіамістечка, м. Глобине; № 9 – р. Дніпро, Дренажний канал, 50 м вище місця випуску з масловідстійника ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод»; № 10 – р. Дніпро, Дренажний канал, 500 м нижче місця випуску з масловідстійника ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод»; № 11 – р. Оржиця, 500 м нижче місця випуску зворотних вод з о/с ТОВ «Оржицький молокозавод. Три з 11-ти створів дозволяють контролювати стан вод водосховищ: Кременчуцького (один) та Кам'янського (два). Два створи розташовані у руслі р. Удай вище та нижче скиду з Пирятинських госпрозрахункових очисних споруд. По одному функціонують створи на річках Ворскла та Оржиця. Два контрольні пункти розташовані вище та нижче скиду з ККП авіамістечка (м. Глобине) на річці Сухий Омельник. В руслі Дніпра контроль за станом річкової вод відбувається вище та нижче місця випуску стічних вод з масловідстійника ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод». Аналізуючи пункти спостереження за станом поверхневих вод в межах Полтавської області слід відмітити наявність контрольних створів, які дозволяють зафіксувати погіршення стану води за рахунок скидів в них зворотних вод. Таких створів з 11-ти є три.

На першому етапі дослідження виконуємо оцінку якості поверхневих вод за *Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями* (Романенко В.Д., Жукинський В.М., 1998). Це обумовлено тим, що для застосування методики оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів необхідно встановити екологічні нормативи, тому логічним є виконання оцінки якості поверхневих вод саме за цією методикою з дотриманням вимог (Постанова КМУ № 431, 2002) та (Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., 2008).

Результати оцінки та встановлені числові значення екологічних нормативів ($C_{ен}$) представлені в табл. 2.

Аналізуючи результати оцінки якості поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області слід зазначити, що фактичні значення показників стану та якості співвіднесені з градаціями їх зміни, які запропоновані для встановлення відповідної категорії якості. Встановлена категорія якості дозволяє кваліфікувати «екологічний стан» та «ступінь чистоти (забруднення)» поверхневих вод. В табл. 3 представлені можливі варіації екологічного стану та ступеню забрудненості води відповідно до встановленої категорії якості за кожним показником якості.

За результатами виконаної оцінки встановлено, що максимальний вклад в забруднення поверхневих вод вносить категорія трофосапробіологічних (еколого-санітарних) показників, а саме підкатегорія гідрохімічних показників. З їх переліку виділяємо нітрит та нітрат іони та фосфати, які погіршують стан вод до 7-ї категорії з кваліфікацією – «дуже поганий» стан та «дуже забруднені» води за ступенем чистоти.

Результати встановлення ступеню забруднення води у кожному контрольному пункті спостереження полягають в наступному: 1) у Кременчуцькому водосховищі (с. Власівка) екологічний стан та ступінь забруднення води характеризуються 1-5 категоріями якості, найгірша ситуація зумовлена вмістом у воді цинку, хрому, фтору, екологічний стан – «посередній»; 2) у Кам'янському водосховищі (гирло р. Ворскла) екологічний стан та ступінь забруднення води характеризуються 1-5 категоріями, це обумовлено вмістом у воді міді, заліза загального та нітрит-іону; екологічний стан – «посередній»; 3) у Кам'янському водосховищі (с. Придніпрянське) екологічний стан води «посередній» через високий вміст у воді міді та АПАР, води «помірно забруднені»; 4) в р. Удай (вище скиду з Пирятинських о/с) екологічний стан та ступінь забруднення води характеризуються 1-6 категоріями якості, 6 категорія відмічається через вміст у воді нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів, екологічний стан «поганий», вода «брудна»; 5) в р. Удай (нижче скиду з Пирятинських о/с) екологічний стан та ступінь забруднення води характеризуються 2-6 категоріями якості, найгірша ситуація спостерігається через вміст

Таблиця 2

**Результати оцінки якості поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра
в межах Полтавської області за 2019 рік**

Гідрохімічні показники	C _{ен}	Створ № 1	Створ № 2	Створ № 3	Створ № 4	Створ № 5	Створ № 6	Створ № 7	Створ № 8	Створ № 9	Створ № 10	Створ № 11
Компоненти сольового складу												
Сума іонів	750	237,6	570,7	592,0	760,0	781,0	895,0	911,5	919,0	532,0	583,0	790,0
Хлорид-іони	75	19,8	50,9	48,4	47,5	54,5	301,0	299,5	317,5	56,7	72,1	18,0
Сульфат-іони	75	23,4	85,2	74,2	28,5	31,5	127,0	64,5	67,0	22,0	25,0	97,0
Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) показники												
Завислі речовини	20		7,3	7,1	7,7	8,4	12,0	16,0	19,0	18,0	18,7	35,0
pH	<6,5 >8,1	8,0	7,3	7,2	7,7	7,7		8,3	8,4	6,8	7,1	
Амоній-іони	0,3	0,3	0,05	1,5						0,3	0,5	
Нітрит-іони	0,01	0,01	0,03	0,01	0,07	0,08	1,2	0,14	0,14	0,5	0,7	0,8
Нітрат-іони	0,5	0,31	0,08	0,1	1,65	1,85	4,9	1,2	1,1	3,3	3,8	2,7
Фосфат-іони	0,05				0,22	0,3	1,2	0,3	0,6	2,1	2,2	3,8
Розч. кисень, мг О ₂ /дм ³	7,1	9,5	10,4	10,2	8,3	7,2						
Окисл. перм., мг О ₂ /дм ³	8,0	9,05	7,63	8,04								
БСК ₅ , мг О ₂ /дм ³	2,1	2,19	3,97	3,75	2,15	2,4	5,0	10,5	1,35	2,3	2,5	21,0
Специфічні показники токсичної дії, мкг/дм³												
Кадмій	0,2	0,1										
Мідь	2,0	4,0	20,0	20,0			20,0			10,0	10,0	
Цинк	20,0	61,0					5,0					
Свинець	10,0	1,0										
Хром (VI)	5,0	18,0					1,0					
Нікель	10,0	8,0					50,0					
Арсен	5,0	1,0										
Залізо загальне	100,0	191,0	535,0	233,0	265,0	290,0	140,0	500,0	500,0	250,0	250,0	250,0
Марганець	50,0	73,0										
Фтор	150,0	244,0	50,0	68,0								
Нафтопродукти	50,0	57			50	50	50	1000	1000	150	150	1000
Фенол	1,0		1,0	1,0								
АПАР	20,0		100,0	100,0	45,0	60,0		85,0	110,0			

Таблиця 3

**Оцінка якості поверхневих вод
за екологічною класифікацією (категорії)**

Категорія якості води	За екологічним станом	За ступенем чистоти (забрудненості)
1	відмінні	дуже чисті
2	дуже добрі	чисті
3	добрі	досить чисті
4	задовільні	слабко забруднені
5	посередні	помірно забруднені
6	погані	брудні
7	дуже погані	дуже брудні

у воді нітрит-, нітрат-, фосф-іонів, екологічний стан – «поганий», вода – «брудна»; 6) в р. Ворскла (в районі скиду о/с ЖКК с. Терешки) ступінь забруднення води змінюється від 1 до 7 категорії якості, пріоритетними є: нітрит-, нітрат-, фосфат-, хлорид-іони, екологічний

стан – «дуже поганий», води «дуже брудні»; 7) в р. Сухий Омельник (вище скиду з ККП авіамістечка) високий ступінь забруднення води забезпечений присцтністю у воді: хлорид-, нітрит-іонів та нафтопродуктів; 8) в р. Сухий Омельник (нижче скиду з ККП авіамістечка) екологічний стан та ступінь забруднення води характеризуються 3-7 категоріями якості, найгірша ситуація обумовлена вмістом у воді хлорид-, нітрит-, фосфат-іонів; та нафтопродуктів. 9) в р. Дніпро (вище місця випуску з масловідстійника ПАТ «Кременчуцький сталеливарний завод») екологічний стан води – «дуже поганий», а за ступенем забруднення води «дуже брудні»; 10) в р. Дніпро (нижче місця випуску з масловідстійника ПАТ «Кременчуцький СЗ») високий ступінь забруднення води обумовлений вмістом нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів, при

цьому екологічний стан – «дуже поганий», води «дуже брудні»; 11) в р. Оржиця (нижче місця випуску ЗВ з о/с ТОВ «Оржицький МЗ») екологічний стан та ступінь забруднення води характеризуються 1-7 категоріями якості, найгірша ситуація обумовлена вмістом у воді нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів, БСК₅, нафтопродуктів, екологічний стан – «дуже поганий», ступінь забруднення – «дуже брудні» води.

Найгірший екологічний стан та найвища ступінь забруднення води спостерігається у створі № 8 у р. Сухий Омельник (нижче скиду з ККП авіамістечка м. Глобино). Цей створ відноситься до тих, які дозволяють зафіксувати погіршення стану води за рахунок скидів в них зворотних вод. Отже, скид зворотних вод з ККП авіамістечка м. Глобино суттєво погіршує стан річкових вод порівняно з ситуацією з якістю води вище скиду.

Оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів за даними гідрохімічних спостережень виконане з врахуванням того, що за «еталонну» якість води прийнято екологічні нормативи якості поверхневих вод (C_{en} , табл. 2). Ризик, пов'язаний із санітарно-токсикологічними властивостями води, визначається на основі рівняння (1), результати оцінки в табл. 4. Аналізуючи результати дослідження погіршення стану водних об'єктів встановлено, що за значеннями розрахованого екологічного ризику: 1) для пункту № 1 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I, II, III та V класами, найгірша ситуація V-го класу з характеристикою «поганий» стан обумовлена вмістом у воді цинку та хрому; 2) для пункту № 2 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I, II та V класами, найгірша ситуація V-го класу з характеристикою «поганий» стан обумовлена вмістом у воді нітрит-іону, міді, заліза загального та АПАР; 3) для пункту № 3 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I, IV та V класами, найгірша ситуація V-го класу з характеристикою «поганий» стан зумовлена вмістом у воді амоній-іону, міді та АПАР; 4) для пункту № 4 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I, IV та V класами, найгірша ситуація V-го класу з характеристикою «поганий» стан обумовлена вмістом у воді нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів та заліза загального;

5) для пункту № 5 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I та V класами,

найгірша ситуація з характеристикою «поганий» стан обумовлена вмістом у воді нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів, заліза та АПАР; 6) для пункту № 6 ризик погіршення стану води кваліфікується I, IV та V класами, «поганий» стан зумовнюється вмістом у воді хлорид-, нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів, міді та нікелю; 7) для пункту № 7 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I та V класами, найгірша ситуація з характеристикою «поганий» стан обумовлена вмістом у воді хлорид-, нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів, БСК₅, заліза, нафтопродуктів та АПАР; 8) для пункту № 8 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I, III та V класами, найгірша ситуація V-го класу обумовлена вмістом у воді хлорид-, нітрит-, фосфат-іонів, заліза, нафтопродуктів та АПАР; 9) для пункту № 9 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I та V класами, пріоритетними у воді є нітрит-, нітрат-, фосфат-іони, мідь, залізо, нафтопродукти; 10) для пункту № 10 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I, V класами; 11) для пункту № 11 ризик погіршення стану водних об'єктів кваліфікується I, V класами, найгірша ситуація з характеристикою «поганий» стан зумовлена вмістом у воді нітрит-, нітрат-, фосфат-іонів, БСК₅, заліза та нафтопродуктів.

Крім застосованої Методики оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів за даними гідрохімічних спостережень дослідження доповнюємо оцінкою екологічного ризику, який враховує максимальні перевищення ГДК ЗР. Аналізуючи результати встановлюємо, що *за компонентами сольового складу* високий ризик погіршення екологічного стану водних ресурсів відмічається на пунктах спостереження № 6 (р. Ворскла в районі скиду о/сЖКК с. Терешки), № 7 (р. Сухий Омельник, вище скиду з ККП) та № 8 (р. Сухий Омельник, нижче скиду з ККП) за вмістом хлорид-іону. *За еколого-санітарними показниками високий ризик погіршення екологічного стану водних ресурсів відмічається* за вмістом нітрит-, нітрат- фосфат-іонів на всіх пунктах спостереження крім тих, які функціонують на Кременчуцькому (№ 1) та Кам'янському (№ 2, № 3) водосховищах. *За специфічними показниками токсичної дії* високий ризик погіршення екологічного стану водних ресурсів відмічається за вмістом: нафтопродуктів на 7-11 пунктах спо-

Таблиця 4

Результати оцінки екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області за 2019 рік за даними гідрохімічних спостережень

Гідрохімічні показники	Створ № 1		Створ № 2		Створ № 3		Створ № 4		Створ № 5		Створ № 6		Створ № 7		Створ № 8		Створ № 9		Створ № 10		Створ № 11	
	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика	клас	характеристика
Компоненти соляного складу																						
Сума іонів	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.
Хлорид-іони	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	V	пог.	V	пог.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.
Сульфат-іони	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.
Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) показники																						
Завислі речовини			I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.
pH	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.			I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.
Амоній-іони	I	відм.	I	відм.	V	пог.																
Нітрит-іони	I	відм.	V	пог.	I	відм.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.
Нітрат-іони	I	відм.	I	відм.	I	відм.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	III	задов.	V	пог.	V	пог.	V	пог.
Фосфат-іони							V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.
Розчинений кисень, мг O ₂ /дм ³	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	I	відм.												
Окисл.перм., мг O ₂ /дм ³	I	відм.	I	відм.	I	відм.																
БСК ₃ , мг O ₂ /дм ³	I	відм.	II	гарн.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	IV	незад.	V	пог.	I	відм.	I	відм.	I	відм.	V	пог.
Специфічні показники токсичної дії, мкг/дм³																						
Кадмій	I	відм.																				
Мідь	III	задов	V	пог.	V	пог.					V	пог.								V	пог.	
Цинк	V	пог.									I	відм.										
Свинець	I	відм.																				
Хром (VI)	V	пог.									I	відм.										
Нікель	I	відм.									V	пог.										
Арсен	I	відм.																				
Залізо загальне	II	гарн.	V	пог.	IV	незад.	V	пог.	V	пог.	I	відм.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.
Марганець	I	відм.																				
Фтор	I	відм.	I	відм.	I	відм.																
Нафто-продукти	I	відм.					I	відм.	I	відм.	I	відм.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.	V	пог.
Фенол																						
АПАР			V	пог.	V	пог.	IV	незад	V	пог.												

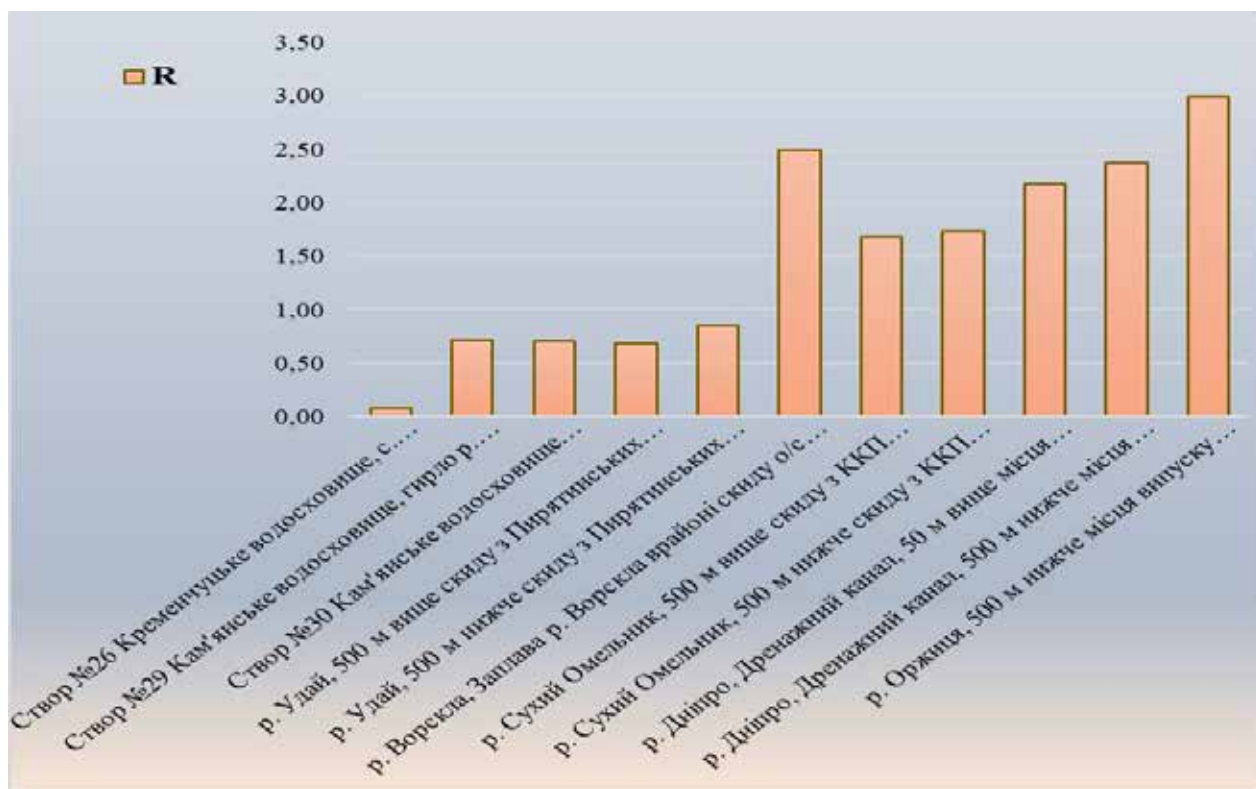


Рис. 1. Ранжування екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області

стерезення; міді на таких пунктах спостереження – 1-3, 6, 9, 10; АПАР на 2-6, 8, 9 створах; заліза загального на всіх контрольних пунктах спостереження. Ранжування комплексного екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод представлено на рис. 1.

Максимальний рівень ризику погіршення стану поверхневих вод відмічається в пункті спостереження № 11, який розташований нижче місця випуску ЗВ з очисних споруд ТОВ «Оржицький молокозавод». Цей створ відноситься до тих, які дозволяють зафіксувати погіршення стану природних вод за рахунок антропогенного втручання в процес формування якості води поверхневих водних об'єктів через скидання недостатньо очищених ЗВ.

Висновки і перспективи подальших досліджень. За результатами оцінки якості поверхневих водних об'єктів в межах Полтавської області встановлено, що максимальний вклад в забруднення вносять гідрохімічні показники трофо-сапробіологічної категорії такі як: нітрит- та нітрат- іони, фосфати, які погіршують стан вод до дуже поганого стану. Найгірший екологічний стан та найвища ступінь забруднення природних вод спостеріга-

ється у створі № 8 на р. Сухий Омельник нижче скиду комунального підприємства авіамістечка м. Глобине. Високий ризик погіршення екологічного стану водних ресурсів відмічається за вмістом хлорид-, нітрит-, нітрат- та фосфат-іонів; нафтопродуктів, міді, поверхнево активних речовин та залізом загальним. Максимальний рівень ризику погіршення стану поверхневих вод в межах суббасейну середнього Дніпра відмічається в пункті спостереження № 11. на р. Оржиця нижче місця випуску зворотних вод з очисних споруд «Оржицького молокозаводу». Отже, саме антропогенні фактори суттєво погіршують стан поверхневих вод регіону та підвищують екологічні ризики погіршення умов життєдіяльності населення Полтавської області. Практична цінність дослідження полягає у тому, що його результати слід використовувати для прийняття управлінських природоохоронних рішень зі зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси шляхом запобігання надходження у поверхневі водні об'єкти недостатньо очищених зворотних вод та для реалізації водоохоронних заходів в суббасейні середнього Дніпра в Полтавській області.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гололобова О.О., Дорогань В.В. Екологічна оцінка якості поверхневих вод малих та середніх річок Полтавської області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2019. (31). С. 84-95.
2. Фесенко О.Г. Стан поверхневих вод Полтавської області (2005–2011 рр.). *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. (4). С. 158-161.
3. Степова О.В., Булаченко Р.В., Рома В.В. Аналіз стану поверхневих вод Полтавської області в контрольних створах. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. (1). С. 181-184.
4. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Окнісюк та ін. К.: Символ-Т, 1998. 28 с.
5. Дем'янова О.О., Рибалова О.В. Новий підхід до оцінювання екологічного ризику погіршення стану басейну річки Інгулець в Херсонській області. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 1/6 (61) 2013. С. 45-49.
6. Афанасьев С.А., Гродзинский М.Д. Методика оценки экологических рисков, возникающих при воздействии источников загрязнения на водные объекты. К.: АйБи, 2004. 59 с.
7. Мітрасова О.П., Селіванова А.М. Оцінка екологічного стану поверхневих водних ресурсів Миколаївської області. *Наукові праці. Екологія*. Випуск 220. Том 232. 2014. С. 92-96.
8. Екологічний паспорт Полтавської області за 2019 рік. Полтава. 2020. 185 с.
9. Правила охорони внутрішніх морських вод і територіального моря України від забруднення та засмічення. Постанова Кабінету Міністрів України. 2002 р. № 431.
10. Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.П., Набиванець Ю.Б. Гідрохімічний довідник. Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ : Ніка – Центр, 2008. 656 с.

REFERENCES:

1. Hololobova, O.O., & Dorohan, V.V. (2019). Ekologichna otsinka yakosti poverkhnevyykh vod malykh ta serednykh richok Poltavskoi oblasti [Ecological assessment of surface water quality of small and medium-sized rivers of Poltava region]. *Man and environment. Problems of neoecology – Liudyna ta dovkillia. Problemy neokolohii*, 31, 84-95 [in Ukrainian].
2. Fesenko O.H. (2013). Stan poverkhnevyykh vod Poltavskoi oblasti (2005–2011 rr.) [The state of surface waters of the Poltava region (2005–2011)]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 4, 158-161 [in Ukrainian].
3. Stepova, O.V., & Bulavenko, R.V., & Roma, V.V. (2012) Analiz stanu poverkhevykh vod Poltavskoi oblasti v kontrolnykh stvorakh [Analysis of the state of surface waters of the Poltava region in control bodies]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 181-184 [in Ukrainian].
4. Romanenko, V.D., Zhukynskiy, V.M., Oknisiuk, O.P. & et al. (1998). Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymy katehoriiami [Methodology of ecological assessment of surface water quality by relevant categories]. Kyiv: Symvol-T [in Ukrainian].
5. Demianova, O.O., & Rybalova, O.V. (2013). Novyi pidkhid do otsiniuvannia ekolohichnoho ryzyku pohirshennia stanu baseinu richky Inhulets v Khersonskii oblasti [A new approach to assessing the environmental risk of deterioration of the Ingulets River basin in the Kherson region]. *Vostochno-Evropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy – Eastern European journal of advanced technologies*. 61(1/6), 45-49 [in Ukrainian].
6. Afanasev, S.A., & Hrodzynskiy, M.D. (2004). Metodyka otsenky ekolohicheskyykh ryskov, vyznykaiushchykh pry vozdeistviyu ystochnykov zahriaznenniia na vodnye objekty [Methodology for assessing environmental risks arising from the impact of pollution sources on water bodies]. Kyiv: AiBy [in Russian].
7. Mitriasova, O.P., & Selivanova, A.M. (2014). Otsinka ekolohichnoho stanu poverkhnevyykh vodnykh resursiv Mykolaivskoi oblasti [Assessment of the ecological state of surface water resources of the Mykolaiv region]. *Naukovi pratsi. Ekolohiia. – Scientific works. Ecology*. 232 (220). 92-96 [in Ukrainian].
8. Ekolohichniy pasport Poltavskoi oblasti za 2019 rik [Environmental passport of the Poltava region for 2019]. (2020) [in Ukrainian].
9. Pravyla okhorony vnutrishnykh morskykh vod i terytorialnoho moria Ukrainy vid zabrudnennia ta zasmichennia [Rules for the protection of internal sea waters and the territorial sea of Ukraine against pollution and clogging]. (2002, № 431). *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy – Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine* [in Ukrainian].
10. Osadchyi, V.I., Nabyvanets, B.I., Osadcha, N.P., & Nabyvanets, Yu.B. (2008). Hidrokhimichniy dovidnyk. Poverkhnevi vody Ukrainy. Hidrokhimichni rozrakhunky. Metody analizu [Hydrochemical handbook. Surface waters of Ukraine. Hydrochemical calculations. Methods of analysis]. Kyiv [in Ukrainian].

УДК 5:378.091.212-048.56

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-7>

Лариса МАРУШКО

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Бібліографічний опис статті: Марушко, Л. (2022). Диференційована та індивідуалізована підготовка майбутніх учителів природничих спеціальностей у закладах вищої освіти. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 70–75, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-7>

ДИФЕРЕНЦІЙОВАНА ТА ІНДИВІДУАЛІЗОВАНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

У статті розглянуто проблему диференційованої та індивідуалізованої підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей у закладах вищої освіти. Встановлено, що впровадження диференціації та індивідуалізації в підготовку майбутніх учителів природничих спеціальностей дає змогу вирішити такі завдання: запобігання прогалин у знаннях, вміннях та навичках студентів, підвищення рівня підготовки усієї групи; розвиток здібностей та інтересів студентів; підвищення якості знань; раціональніше використання навчального часу кожного студента; залучення всіх студентів до активної розумової діяльності; усунення розривів між фронтальними методами викладання та індивідуальним характером знань.

Конкретними ефективними прийомами диференціації та індивідуалізації професійної підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей визначено: надання достатнього часу на обмірковування та підготовку; опитування у першій третині заняття; формування впевненості у власних силах шляхом правильної тактики запитань та заохочень; обережність в оцінюванні невдач; залучення студентів у різноманітні види навчальної діяльності; зміна видів діяльності; пошук різних способів роботи; чергування завдань різних типів. Встановлено, що ефективність диференційованої та індивідуалізованої підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей у закладах вищої освіти забезпечує застосування таких технологічних прийомів: завдання самостійного вибору, завдання на вибір викладача і рівневі завдання.

Встановлено, що специфічною навчальною метою індивідуалізації та диференціації підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей є удосконалення знань, вмінь та навичок студентів, сприяння реалізації навчальних програм шляхом підвищення рівня знань, умінь, навичок кожного студента та групи студентів, і, таким чином, зменшення абсолютного та відносного відставання, поглиблення та розширення знань та спеціальних здібностей.

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

Larysa MARUSHKO

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

To cite this article: Marushko, L. (2022). Dyferentsiiiovana ta indyvidualizovana pidhotovka maibutnix uchyteliv pryrodnychykh spetsialnostei u zakladakh vyshchoi osvity [Differentiated and individualized training of future science teachers in higher education institutions]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 70–75, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-7>

DIFFERENTIATED AND INDIVIDUALIZED TRAINING OF FUTURE SCIENCE TEACHERS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The article examines the problem of differentiated and individualized training of future teachers of natural sciences in higher education institutions. It was determined that the introduction of differentiation and individualization in the training of future teachers of natural sciences makes it possible to solve the following tasks: prevention of gaps in the knowledge, abilities and skills of students; raising the level of training of the entire group; development of students'

abilities and interests; improving the quality of knowledge; more rational use of each student's study time; involvement of all students in active intellectual activity; elimination of gaps between frontal teaching methods and the individual character of knowledge.

Specific effective methods of differentiation and individualization of professional training of future teachers of natural sciences are defined as provision of sufficient time for reflection and preparation; surveying students in the first third of the lesson; formation of confidence in students' own abilities through the correct tactics of questions and encouragement; caution in evaluating failures; involvement of students in various types of educational activities; change of activities; finding different ways of working; alternating tasks of different types. It was established that the effectiveness of differentiated and individualized training of future teachers of natural sciences in institutions of higher education ensures the use of the following technological methods: tasks of own selection, tasks of instructor's choice, and varying level tasks.

It was established that the specific educational goal of individualizing and differentiating the training of future teachers of natural sciences is to improve the knowledge, skills and abilities of students, to promote the implementation of educational programs by increasing the level of knowledge, skills, and abilities of each student and group of students, and, thus, to reduce the absolute and relative lag, deepening and expanding knowledge and special abilities.

Keywords: *higher education institutions, professional training, future teachers of natural sciences, differentiation and individualization of education.*

Актуальність проблеми. Сучасна система професійної підготовки майбутніх учителів в українських закладах вищої освіти зазнає значних інноваційних трансформацій. Вони стосуються не лише змісту освіти, а й способів забезпечення її засвоєння студентами на високому методичному та технологічному рівнях, а також формування творчої особистості, здатної до подальшого професійного самовдосконалення (Liu, 2018). Однак в умовах існуючої системи вищої освіти з її досить суворою регламентацією освітнього процесу формування ініціативної, діяльної, різнобічно розвиненої особистості з яскраво вираженою індивідуальністю викликає певні труднощі. Вже з перших днів навчання у ЗВО студенти зіштовхуються з численними психологічними труднощами та освітніми проблемами, посиленими трьома процесами, які їх одночасно охопили: адаптацією до умов закладу вищої освіти, до специфіки обраної професії та студентського середовища. Найчастіше вирішення подібних проблем знаходять в диференціації та індивідуалізації освітнього процесу, що допомагає забезпечити оптимальну психологічну адаптацію до нового освітнього середовища та безперешкодне навчальне просування студентів. Відтак, диференціація та індивідуалізація навчання є складовими частинами та необхідними умовами гуманізації та демократизації освіти.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема диференціації та індивідуалізації навчання є предметом дослідження представників різних галузей знань, має глибоке історичне коріння у вітчизняній та закордонній психолого-педагогічній науці (Н. Боженова,

С. Дорожкін, Я. Крупський, Г. Кувшинова, В. Михалевич, І. Осмоловська, П. Сікорський, Я. Фруктова та ін.). Науковці наголошують на необхідності урахування індивідуальних особливостей та відмінностей здобувачів освіти як необхідної умови диференційованого та індивідуалізованого навчання (А. Алехнович, Г. Васьківська, І. Дичківська, Г. Кувшинова, І. Осмоловська, П. Сікорський та ін.), на поділі студентів на групи за індивідуальними особливостями (Г. Бурма, Л. Жовтан, Я. Фруктова та ін.); використання інтегративно-диференційованого підходу до структурування змісту природничих (Л. Дольнікова) та фундаментальних (О. Горіна) дисциплін. Однак проблема диференційованої та індивідуалізованої підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей у закладах вищої освіти не набула достатнього висвітлення.

Мета статті полягає в обґрунтуванні необхідності диференційованої та індивідуалізованої підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей у закладах вищої освіти.

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. Сучасна гуманістична парадигма освіти серед завдань, що висуваються до закладів вищої освіти (ЗВО), зокрема й педагогічних, визначає пріоритетним завдання становлення особистості, задоволення її освітніх потреб. Одним із ефективних засобів орієнтації навчання на задоволення освітніх потреб студентів є її диференціація та індиві-

дуалізація. Диференціація та індивідуалізація навчання є невід'ємним аспектом освітнього процесу. Це пов'язано з тим що, по-перше, сучасні гуманістичні підходи у вищій педагогічній освіті висувають на перший план загальнолюдські цінності, і, зокрема, особистості студента як найвищої унікальної людської цінності. По-друге, орієнтація на бажаний образ випускників ЗВО, яким притаманні високий культурний рівень, моральність, освіченість, громадянська позиція, володіння навичками самотворення, креативність, фізичне здоров'я. Використання переваг диференційованого та індивідуалізованого навчання забезпечує кожному студенту можливість досягнення запланованих результатів у навчанні з урахуванням їхніх індивідуальних особливостей.

Варто відзначити, що диференційоване та індивідуалізоване навчання не є новим для теорії та практики професійної освіти. Однак специфіка організації такого навчання залежить від низки чинників, серед яких: постійне інформаційне зростання, активний розвиток інформаційних технологій; інтеграція наукових знань, що потребує міждисциплінарного підходу у дослідженні явищ і реальних процесів; потреба у висококомпетентних кадрах, здатних вирішувати завдання в умовах невизначеності; демократизація, фундаменталізація, гуманітаризація, гуманізація, комп'ютеризація системи вищої освіти, індивідуалізація навчання та праці майбутніх фахівців, зокрема й учителів (Вишківська, Шикиринська, 2021); уніфікація та диференціація розробки змісту вищої педагогічної освіти (Терещук, 2017); гнучкість освітнього процесу, зумовлена необхідністю врахування індивідуальних особливостей студентів, створення умов розвитку їхніх здібностей; активізація особистісного потенціалу; розвиток професійної автономії особистості; інноваційний потенціал вищої школи, що дає змогу розробляти освітні програми – найважливіший продукт діяльності ЗВО (Гончарова, 2015).

Необхідність диференційованої та індивідуалізованої підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей у ЗВО зумовлена:

- необхідністю орієнтації у діяльності вчителя на учня, реалізацію та самореалізацію закладеного в ньому особистісного потенціалу;
- обов'язковістю врахування різних аспек-

тів диференціації, зумовлених багатозначністю та різноманітністю цілей навчання; наявністю основних видів диференціації у системі підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей: зовнішньою та внутрішньою; розвитком різних напрямів змісту різноманітної професійної педагогічної освіти, її гнучкості та варіативності, різноманітності форм (Пісоцька, 2018);

- необхідністю розробки різноманітних завдань, значущих для студентів і які мають можливість вибору способів їхнього виконання, тим самим забезпечуючи вияв їхньої суб'єктності як особистості;

- розробкою технологій вищої педагогічної освіти, які враховують сучасні наукові досягнення, різні умови організації освітнього процесу у ЗВО та професійні придатності особистості;

- необхідністю уточнення методологічних основ вивчення проблеми диференціації та індивідуалізації у системі професійно-педагогічної підготовки.

Здійснений аналіз психолого-педагогічної літератури засвідчив різноманіття видів, форм та способів диференціації, що використовуються у закладах вищої освіти. Традиційні види диференціації – це диференціація за загальними та спеціальними здібностями; за інтересами; за проектною діяльністю. Внутрішньоаудиторна диференціація за здібностями базується, зазвичай, на таких основних формах: завдання різного рівня складності, дозування допомоги викладача, рівнева диференціація. Диференціація за інтересами та проектною діяльністю здійснюється шляхом виконання студентами завдань, зокрема і творчих – написання рефератів, підготовка доповідей тощо. Диференціація за індивідуально-фізіологічними особливостями передбачає індивідуальний підхід, коли враховуються психічні особливості майбутніх учителів природничих спеціальностей: переважаний тип пам'яті, особливості розумових операцій, темперамент, тип мислення тощо.

Найвизнанішою позицією щодо питання видів диференціації є її розподіл на зовнішню та внутрішню. В узагальненому вигляді зовнішня та внутрішня диференціація представлена на рисунку 1. Внутрішня диференціація передбачає різне навчання студентів у досить великій групі, що підібрана за випадковими ознаками.

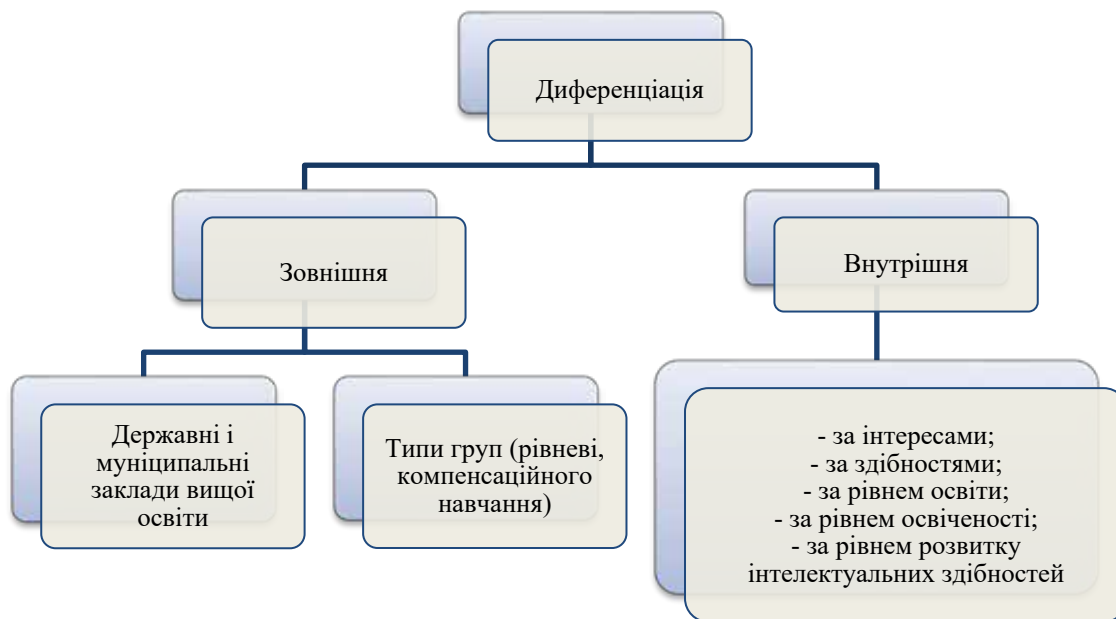


Рис. 1. Типи диференціації

Ця форма заснована на повнішому урахуванні індивідуальних та групових особливостей студентів. Вона передбачає варіативність темпу вивчення матеріалу, диференціацію навчальних завдань, вибір різних видів діяльності, визначення характеру та рівня дозування допомоги з боку викладача (Шпарик, 2015). Зовнішня диференціація передбачає створення на основі деяких принципів (інтересів, нахилів, здібностей, досягнутих результатів, проектованої діяльності) певних стабільних груп, у яких зміст освіти та вимоги до студентів дещо різняться.

У широкому сенсі основними цілями диференціації та індивідуалізації навчання підготовки майбутніх учителів у закладах вищої освіти є:

- з психолого-педагогічної позиції – індивідуалізація навчання, що ґрунтується на створенні оптимальних умов виявлення задатків, розвитку інтересів та здібностей кожного студента (Юзбашева, 2012);

- із соціальної позиції – цілеспрямований вплив на формування творчого, інтелектуального, професійного потенціалу суспільства з метою раціонального використання можливостей кожного члена суспільства (Шпарик, 2015);

- з дидактичної позиції – вирішення назрілих проблем ЗВО шляхом створення інноваційної системи диференційованої та індиві-

дуалізованої підготовки майбутніх вчителів, заснованої на принципово новій мотиваційній основі (Гончарова, 2015).

Ефективна реалізація диференціації та індивідуалізації професійної підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей, на думку А. Клемун та співавторів, передбачає знання та постійний моніторинг індивідуальних особливостей пізнавальної діяльності, рис характеру та здібностей студентів; діагностику реального рівня сформованості у студентів особистісних якостей (спосіб мислення, мотиви, інтереси, установки, спрямованість особистості, ставлення до життя, до майбутньої професії, ціннісні орієнтації); постійне залучення кожного студента до посиленої та поступово ускладнювальної навчально-пізнавальної діяльності; своєчасне виявлення і за можливості усунення причин навчальної неуспішності з дисципліни; максимальна опора на власну активність студентів; допомога кожному студенту у виборі оптимальних процесу навчання у вищій школі способів та прийомів організації розумової діяльності (Klemun, Lackner-Ibesich, Rampetsreiter, 2008).

Конкретними ефективними методами диференціації та індивідуалізації професійної підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей є:

- надання достатнього часу на обмірковування та підготовку;

- опитування у першій третині заняття;
- формування впевненості у власних силах шляхом правильної тактики запитань та заохочень (Хмельяр, Лукашук, 2009);
- обережність в оцінюванні невдач;
- залучення студентів різноманітні види навчальної діяльності для того, щоб дати майбутнім учителям природничих спеціальностей відчутти власні можливості, дізнатися, в яких видах діяльності вони найкраще виявляються;
- зміна видів діяльності (Москалюк, 2017);
- пошук різних способів роботи;
- чергування завдань різних типів.

Також можливим є застосування таких технологічних прийомів: завдання самостійного вибору, завдання на вибір викладача і рівневі завдання. Завдання на вибір викладача дає змогу оцінювати майбутніх учителів природничих спеціальностей у всьому різноманітті (Повідайчик, 2018). І тут студент позбавляється самостійності, його ініціативність зводиться до нуля. Якщо викладач бачить, що у студентів виникають труднощі, він дає йому картку з менш важким завданням. Упоравшись із завданням швидко, студент має змогу отримати картку із завданням вищого рівня. Самостійний вибір завдання дає змогу студенту реально оцінити власні знання, вміння, обравши завдання за своїм рівнем. Використання цього прийому дає змогу студенту бути суб'єктом діяльності, виховує ініціативність. Окрім того, можна виявити самооцінку студента. Рівневе завдання дозволяє реально оцінити рівень освіченості студентів, оскільки вони починають виконувати

завдання з найпростішого (базового) рівня та зупиняється на тому, де у них виникають труднощі. Всі завдання підібрані так, що за єдиної пізнавальної мети та загального змісту, вони відрізняються різним ступенем складності.

Диференціація та індивідуалізація професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей забезпечується на «зовнішньому» рівні на основі різноманіття видів, форм і методів навчання, що сприяють виявленню та формуванню професіоналізму студентів залежно від їхніх особистих схильностей та інтересів, і на «внутрішньому» рівні за допомогою внутрішнього особистісного зростання студентів, специфічної самоорганізації їхнього особистісного (освітнього та розвиваючого) середовища. Цей простір суб'єктивує професійне становлення, виробляє індивідуальний стиль педагогічної діяльності та вибудовує авторську педагогічну систему.

Висновки. Таким чином, глобальні соціальні трансформації зумовили чітку тенденцію у вищій педагогічній освіті – формування нової освітньої парадигми, спрямованої на соціально-особистісну та компетентісно зорієнтовану підготовку майбутніх учителів. Водночас цілком очевидно, що індивідуалізація нарівні з диференціацією у підготовці майбутніх учителів природничих спеціальностей є трендом організації освітнього процесу у ЗВО. Однак, щоб ця актуальна тенденція міцно зайняла своє місце у оновленій практиці ЗВО, необхідна продумана її адаптація до вимог та можливостей сучасної педагогічної дійсності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вишківська В., Шикиринська О. Індивідуалізація та диференціація як необхідні умови вдосконалення освітнього процесу. *Грааль науки*. 2021. Вип. 8. С. 345–347.
2. Гончарова Є. Є. Диференціація навчання фахових дисциплін майбутніх учителів іноземної мови у вищих педагогічних закладах: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.09 / Тернопільський нац. пед. ун-т ім. В. Гнатюка. Тернопіль, 2015. 20 с.
3. Москалюк Н. В. Педагогічні умови формування дослідницьких умінь студентів майбутніх учителів у процесі вивчення біологічних дисциплін. *Фізико-математична освіта*. 2017. Вип. 3(13). С. 111–115.
4. Пісоцька М. Е. Індивідуалізація навчання студентів природничо-математичних спеціальностей у вітчизняних вищих педагогічних навчальних закладах другої половини ХХ – початку ХХІ століття: теорія та практика: монографія. Харків: Вид-во Іванченка І. С., 2018. 533 с.
5. Повідайчик О. С. Реалізація технології диференційованого навчання в процесі науково-дослідницької підготовки магістрів соціальної роботи. *Науковий вісник Ужгородського університету: Серія «Педагогіка. Соціальна робота»*. 2018. Вип. 2 (43). С. 201–205.
6. Терещук Г. Індивідуалізація навчання в контексті ідей концепції нової української школи. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Педагогіка*. 2017. Вип. 2. С. 6–16.

7. Хмельяр І., Лукашук М. Методичні підходи диференціації та індивідуалізації навчання на заняттях хімії та біології. Методика навчання природничо-математичних дисциплін. *Наукові записки. Серія: Педагогіка*. 2009. Вип. 1. С. 121–125.
8. Шпарик О. М. Проблема диференціації навчання в дослідженнях українських учених та науковців близького зарубіжжя. *Український педагогічний журнал*. 2015. Вип. 4. С. 152–164.
9. Юзбашева Г. Диференційоване навчання – запорука успіху. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2012. Вип. 109. С. 159–167.
10. Klemun A., Lackner-Ibesich E., Rampetsreiter V. Individualisierung Und Differenzierung an Standorten der Kooperativen Mittelschulen in Wien. Wien: Stadtschulrat für Wien, 2008. 108 s.
11. Liu L. B. Navigating Individual and Collectivenotions of Teacher Wellbeing as a Complex PhemenShaped by National Context. *Journal of Comparative and International Education*. 2018. Vol. 48 (1). P. 128–146.

REFERENCES:

1. Vyshkivska, V., & Shykyrynska, O. (2021). Indyvidualizatsiia ta dyferentsiatsiia yak neobkhidni umovy vdoskonalennia osvithnoho protsesu [Pedagogical conditions for the formation of research skills of students of future teachers in the process of studying biological disciplines]. *Hraal nauky – The grail of science*, 8, 345–347 [in Ukrainian].
2. Honcharova, Ye. Ye. (2015). *Dyferentsiatsiia navchannia fakhovykh dystsyplin maibutnikh uchyteliv inozemnoi movy u vyshchyykh pedahohichnykh zakladakh [Differentiation of training of professional disciplines of future foreign language teachers in higher pedagogical institutions]: avtoref. dys. ... kand. ped. nauk: 13.00.09 / Ternopil'skyi nats. ped. un-t im. V. Hnatiuka. Ternopil, 20 s [in Ukrainian]*.
3. Moskaliuk, N. V. (2017). Pedahohichni umovy formuvannia doslidnytskykh umin studentiv maibutnikh uchyteliv u protsesi vyvchennia biolohichnykh dystsyplin [Pedagogical conditions for the formation of research skills of students of future teachers in the process of studying biological disciplines.]. *Fyzyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 3(13), 111–115 [in Ukrainian].
4. Pisotska, M. E. (2018). *Indyvidualizatsiia navchannia studentiv pryrodnycho-matematychnykh spetsialnostei u vitchyznianykh vyshchyykh pedahohichnykh navchalnykh zakladakh druhoi polovyny KhKh – pochatku KhKhI stolittia: teoriia ta praktyka [Individualization of education of students of natural and mathematical specialties in domestic higher pedagogical educational institutions of the second half of the 20th – beginning of the 21st century: theory and practice]: monohrafiia. Kharkiv: Vyd-vo Ivanchenko I. S., 2018. 533 s [in Ukrainian]*.
5. Povidaichyk, O. S. (2018). Realizatsiia tekhnolohii dyferentsiiovanoho navchannia v protsesi naukovo-doslidnytskoi pidhotovky mahistriv sotsialnoi roboty [Implementation of the technology of differentiated learning in the process of research training of masters of social work.]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu: Seriiia «Pedahohika. Sotsialna robota» – Scientific Bulletin of Uzhhorod University: Series "Pedagogy. Social work"*, 2 (43), 201–205 [in Ukrainian].
6. Tereshchuk, H. (2017). Indyvidualizatsiia navchannia v konteksti idei kontseptsii novoi ukrainskoi shkoly [Individualization of education in the context of the ideas of the concept of the new Ukrainian school.]. *Naukovi zapysky Ternopil'skoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriiia: Pedahohika – Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatiuk. Series: Pedagogy*, 2, 6–16 [in Ukrainian].
7. Khmeliar, I., & Lukashchuk, M. (2009). Metodychni pidkhody dyferentsiatsii ta indyvidualizatsii navchannia na zaniattiakh khimii ta biolohii. Metodyka navchannia pryrodnycho-matematychnykh dystsyplin [Methodical approaches to differentiation and individualization of learning in chemistry and biology classes. Methods of teaching natural and mathematical disciplines]. *Naukovi zapysky. Seriiia: Pedahohika – Proceedings. Series: Pedagogy*, 1, 121–125 [in Ukrainian].
8. Shparyk, O. M. (2015). Problema dyferentsiatsii navchannia v doslidzhenniakh ukrainskykh uchenykh ta naukovtsiv blyzkoho zarubizhzhia [The problem of differentiation of education in the research of Ukrainian scientists and scientists from near abroad]. *Ukrainskyi pedahohichnyi zhurnal – Ukrainian Pedagogical Journal*, 4, 152–164 [in Ukrainian].
9. Yuzbasheva, H. (2012). Dyferentsiiovane navchannia – zaporuka uspikhu [Differentiated learning is the key to success.]. *Naukovi zapysky. Seriiia: Pedahohichni nauky – Proceedings. Series: Pedagogical sciences*, 109, 159–167 [in Ukrainian].

УДК [61:53(07)+577.3(07)]:37.026

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-8>

Ірина НОВІКОВА

кандидат педагогічних наук, викладач кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульвар Тараса Шевченка, 13, м. Київ, Україна, 01601, e-mail: novikova67irina@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4329-2061

Наталія СТУЧИНСЬКА

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульвар Тараса Шевченка, 13, м. Київ, Україна, 01601, e-mail: nvstuchynska@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5583-899X

Бібліографічний опис статті: Новікова, І., Стучинська Н., (2022). Використання фахово орієнтованих задач у навчанні природничих дисциплін майбутніх лікарів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 76–84, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-8>

ВИКОРИСТАННЯ ФАХОВО ОРІЄНТОВАНИХ ЗАДАЧ У НАВЧАННІ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН МАЙБУТНІХ ЛІКАРІВ

Мета роботи: дослідити перспективи використання фахово орієнтованих задач в процесі навчання природничих дисциплін майбутніх фахівців галузі охорони здоров'я на засадах технологічного підходу та їх вплив на формування професійної, загальних та спеціальних компетентностей майбутніх лікарів; розробити критерії класифікації задачних форм професійного спрямування.

Методологія. У роботі представлено результати впровадження авторської методики навчання природничих дисциплін з використанням фахово орієнтованих задач. Проаналізовані наукові розвідки щодо систем підготовки фахівців, у яких провідна роль належить технологічному підходу до формування фахово спрямованих предметних та загальних компетентностей засобами задач.

Наукова новизна. Запропонована модель технології розв'язування задач з медичної і біологічної фізики як засобу фахової підготовки майбутніх лікарів. Обґрунтована доцільність поєднання технології розв'язування задач з навчально-дослідницькою роботою студентів, яка може містити й елементи наукової роботи. Показано, що навчальна технологія має базуватися на системно-структурному підході до формування наукового знання за допомогою різних типів завдань. Проаналізовано логічну детермінованість послідовного використання методів та прийомів в технологічному процесі як алгоритму, за допомогою якого отримують запланований результат.

Висновки. Реалізовано класифікацію задач згідно з їхніми функціями у навчальній дисципліні «Медична і біологічна фізика» та виокремлено такі три основні типи задач: орієнтовані на формування цілісного фундаменту фізичних знань (навчально-пізнавальні, інформаційного характеру); різнорівневі задачі прикладного змісту; науково орієнтовані задачі й проекти. Визначено роль і місце задач на різних етапах освітнього процесу для формування фахової компетентності майбутнього лікаря.

Ключові слова: теорія та методика навчання, технологія навчання, природничі дисципліни, медична і біологічна фізика, майбутні лікарі, фахово орієнтовані задачі, фахова підготовка майбутніх лікарів.

Ірина NOVIKOVA

Candidate of Pedagogical Sciences, Lecturer at the Department of Medical and Biological Physics and Informatics, O.O. Bogomolets National Medical University, Taras Shevchenko Boulevard, 13, Kyiv, Ukraine, 01601, e-mail: novikova67irina@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4329-2061

Nataliia STUCHYNSKA

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor at the Department of Medical and Biological Physics and Informatics, O.O. Bogomolets National Medical University, Taras Shevchenko Boulevard, 13, Kyiv, Ukraine, 01601, e-mail: nvstuchynska@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5583-899X

To cite this article: Novikova, I., Stuchynska N., (2022). Vykorystannia fakhovo orientovanykh zadach u navchanni pryrodnychikh dystsyplin maibutnikh likariv [Use of professionally-oriented tasks in teaching natural sciences to future doctors]. *Problems in Chemistry and Sustainable Development*, 4, 76–84, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-8>

USE OF PROFESSIONALLY-ORIENTED TASKS IN TEACHING NATURAL SCIENCES TO FUTURE DOCTORS

The goal of the work: to investigate the prospects of using professionally oriented tasks in the process of teaching natural disciplines to future healthcare professionals on the basis of a technological approach and their impact on the formation of professional, general and special competencies of future doctors; to develop criteria for the classification of problematic forms of professional direction.

Methodology. The work presents the results of the implementation of the author's method of teaching natural sciences using professionally oriented tasks. Analyzed scientific research on specialist training systems, in which the leading role belongs to the technological approach to the formation of professionally oriented subject and general competences by means of tasks.

Scientific novelty. The proposed model of technology for solving problems in medical and biological physics as a means of professional training of future doctors. Reasonable expediency of combining problem-solving technology with educational and research work of students, which may also contain elements of scientific work. It is shown that educational technology should be based on a systemic structural approach to the formation of scientific knowledge using various types of tasks. The logical determinism of the consistent use of methods and techniques in the technological process as an algorithm with the help of which the planned result is obtained and analyzed.

Conclusions. The classification of tasks according to their functions in the academic discipline «Medical and Biological Physics» has been implemented and the following three main types of tasks have been identified: focused on the formation of a holistic foundation of physical knowledge (educational and cognitive, informational); different level tasks of applied content; scientifically oriented tasks and projects. The role and place of tasks at various stages of the educational process for the formation of the professional competence of the future doctor are defined.

Key words: theory and methods of teaching, learning technology, natural sciences, medical and biological physics, future doctors, professionally oriented tasks, professional training of future doctors.

Актуальність проблеми визначається потребою формування у майбутніх лікарів здатності комплексно розв'язувати фахові задачі, зміною вимог до професійної підготовки фахівців медичної галузі та відсутністю інноваційних адаптивних методик навчання, спрямованих на розвиток особистісних когнітивних здібностей майбутніх лікарів, що великою мірою може бути подолано через систему задачних форм організації навчання.

Сучасна вища медична освіта спрямована на формування фахової компетентності, професійної ідентичності, здатності до самоосвіти та самовдосконалення, у підґрунті яких – навчання через дослідження, конструювання власної освітньої траєкторії в інформаційно насиченому освітньому середовищі. Природничі навчальні дисципліни («Медична та біологічна фізика», «Медична хімія» тощо) закладають основи професійної компетентності майбутнього фахівця галузі охорони здоров'я; дають ключ до розуміння основ функціонування органів та систем живого організму; механізмів дії фізичних чинників на фізіологічні, біологічні та біохімічні процеси; принципи роботи медич-

ного обладнання; забезпечують формування цілісної наукової картини світу, розвиток когнітивних здібностей, логічного та критичного мислення; формують уміння розв'язування професійних завдань.

Мега роботи: дослідити перспективи використання фахово орієнтованих задач в процесі навчання природничих дисциплін майбутніх фахівців галузі охорони здоров'я на засадах технологічного підходу та їх вплив на формування професійної, загальних та спеціальних компетентностей майбутніх лікарів; розробити критерії класифікації задачних форм професійного спрямування.

Матеріали та методи досліджень:

– теоретичні: контент-аналіз, історико-генезисний та порівняльний аналіз науково-методичної, психолого-педагогічної, філософської та навчальної літератури з проблеми дослідження; моделювання технології розв'язування задач професійного спрямування;

– емпіричні: анкетування викладачів та студентів щодо ролі та місця задач у системі навчання природничих дисциплін майбутніх лікарів, опитування, бесіди зі студентами,

викладачами з метою визначення доміант мотивації до навчання; обсерваційні методи, вивчення та узагальнення передового досвіду, педагогічний експеримент;

– статистичні: опрацювання та узагальнення результатів педагогічного експерименту та соціометричних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Визначаючи роль професійно орієнтованих задач для формування наукового мислення та фахово значущих компетентностей студентів М(Ф)ЗВО, ми спиралися на вимоги, що визначені в Національній рамці кваліфікацій, Стандартах вищої освіти, освітньо-професійних програмах другого рівня вищої освіти за спеціальністю 222 «Медицина», які наразі є узгодженими з Європейською рамкою кваліфікацій для навчання впродовж життя та з Рамкою кваліфікацій Європейського простору вищої освіти.

В освітніх програмах за спеціальністю 222 «Медицина» інтегральна компетентність трактується як «здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у професійній діяльності в галузі охорони здоров'я за спеціальністю «Медицина», або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень і/або здійснення інновацій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов та вимог». Це свідчить про необхідність посилення ролі, поглиблення і розширення дидактичних і методологічних функцій видів навчальної діяльності, основу яких складає розв'язування задач. Ця думка знаходить підтвердження в роботах провідних науковців у галузі теорії та практики сучасної освіти: О.І. Бугайова, С.У. Гончаренка, Є.В. Коршака, Я.Й. Лопушанського, Е.І. Личковського, О.І. Ляшенка, Т.О. Лукіної, Ф.П. Нестереєнка, В.Г. Нижника, А.І. Павленка, А.Я. Потапенка, В.Ф. Савченка, Н.В. Стучинської, В.П. Сергієнка, Б.А. Суся, О.В. Чалого, В.Д. Шарко, W. Норре, А. Hendrich, S. Miekisz, W. Parke, F. Jaroszyka. Застосування задачних форм може стати ефективним засобом фахової підготовки майбутніх фахівців галузі охорони здоров'я за умови поєднання навчальної та науково-дослідницької діяльності студентів. Особлива роль в цьому контексті належить технологічному підходу до розв'язування задач, реалізація якого у відкритому інформаційному освітньому середовищі спирається на систему спеціально підібраних методів, прийо-

мів та форм навчально-пізнавальної діяльності студентів.

Таким чином, серед механізмів формування професійної компетентності майбутнього лікаря непересічна роль належить задачним формам різного характеру та рівня складності (Ляшенко, 2015, с. 255–256; Ляшенко, Стучинська, 2006, с. 29–42). Розроблена нами на прикладі медичної та біологічної фізики методика поєднує традиційні методи розв'язування кількісних та якісних задач з інноваційними (проблемне навчання, метод кейсів, проєктів тощо) і може бути застосована у навчанні інших природничих дисциплін. За такий підхід методика відповідає вимогам динамічного стилю сучасного життя, допомагаючи системі освіти готувати фахівців, здатних оперативно адаптуватися у сучасному інформаційному просторі, навчатися й розвиватися протягом усього життя.

При конструюванні дидактичної моделі ми враховували досвід науковців стосовно важливості охоплення посильними завданнями та задачами дослідницького характеру більшості студентів (Шут, Сегієнко, 2004, с. 20–25). Розроблена на цих засадах методика навчальної діяльності студентів передбачала поєднання навчально-дослідницької та елементів науково-дослідницької діяльності. Розрізняючи ці два види навчальної діяльності, ми розглядаємо першу як підготовчий етап до другої. Науково-дослідницька робота студентів, як правило, супроводжується їх участю у наукових конференціях, симпозіумах, публікаціями в наукових виданнях. Критеріями розрізнення цих видів навчальної діяльності є міра самостійності при виконанні та рівень новизни результатів.

У нашому дослідженні ми виходили з того, що:

– засвоєння будь-якого фрагмента (змістового модуля) навчального матеріалу, наукового знання не може відбуватися поза процесом розв'язування задач, оскільки практично всі знання людство здобувало, розв'язуючи практичні або дослідницькі задачі, здійснюючи дослідницьку діяльність;

– навчання студентів розв'язуванню задач потрібно розглядати як цілісну систему, яка поєднує евристичні та алгоритмічні підходи, репродуктивну та творчу дослідницьку діяльність.

Важливою стає побудова спеціально організованої системи (ланцюга) задач, які процесу-

ально відтворюють науковий пошук відповідно до циклу наукового пізнання. Ми вчимо не фізиці, а за допомогою фізики готуємо фахівця медичної галузі. Навчаючи розв'язувати задачі з фізики, використовуємо їх потенціал для розвитку клінічного мислення, невід'ємними складовими якого є критичне та логічне мислення, вміння формулювати та перевіряти наукову гіпотезу, приймати рішення у нестандартних ситуаціях.

Оскільки технологія розв'язування задач має послідовність розумових дій схожу з циклом наукового пізнання, природним циклом обробки інформації, тому її можна подати логічно детермінованим ланцюжком: 1) факти; 2) гіпотеза, модель; 3) висновки, які побудовані на основі гіпотези та моделі; 4) експериментальна перевірка висновків, які підтверджують правильність гіпотези, яка уточнює або спростовує її.

За допомогою задач різного типу реалізується системно-структурний підхід до пошуку наукового знання. Сутність теоретичного наукового знання зумовлює необхідність системного підходу до підбору задач і завдань, які стають взаємозв'язаними елементами та відтворюють системно-структурну інтерпретацію наукового знання, тобто фізичної теорії, у прикладному контексті. Така система задач виглядає організованою полісистемою та складається з різних блоків, що відрізняються один від одного набором і змістом завдань, вправ, концептуальними засадами та галуззю застосування.

Розв'язок послідовності підібраних навчальних задач з МБФ, які відображають логіку вивчення теоретичного матеріалу або логіку наукового дослідження, складається з декількох послідовних етапів: мотиваційно-орієнтовного, операційно-діяльнісного, рефлексивно-оцінного (рис. 1).

На всіх етапах запропонованої технології використовуються загальні, наукові методи дослідження: експеримент, гіпотеза, ідеалізація, аналогія, моделювання, мислений експеримент. Саме вони сприяють формуванню наукового стилю мислення при реалізації науково-дослідницької діяльності.

Розроблення системи навчально-дослідницьких завдань здійснювалась на основі відповідних критеріїв (вимог) – до діяльності студентів, конструювання навчального матеріалу, змісту навчально-дослідницької діяльності. Профе-

сійна спрямованість передбачала: усвідомлення професійної значущості навчально-дослідницької діяльності; прагнення до самовдосконалення; творчу самореалізацію; міждисциплінарну інтеграцію природничих дисциплін та їх взаємозв'язок з клінічними дисциплінами; урахування особистісного досвіду студента та перспектив розвитку його когнітивних здібностей; багаторівневу систему навчально-дослідницьких завдань, яка передбачає їх поступове розширення й ускладнення.

Варто зазначити, що фахово орієнтовані задачі (навчально-пізнавальні, навчально-дослідницькі, науково-дослідницькі та інші) стають пріоритетним засобом оволодіння навчальним матеріалом природничих дисциплін і водночас самі є елементом змісту навчальних дисциплін; засобом формування професійної компетентності, розвитку ключових та спеціальних компетентностей студентів; інструментом для діагностики рівня сформованості наукового, критичного та логічного мислення. У системі вищої медичної освіти зростає роль практичної спрямованості навчання природничих дисциплін, особливого значення набуває застосування набутих знань у фахових ситуаціях для розв'язування конкретних практичних проблем, що в рамках нашого дослідження класифікується як найвищий рівень опанування навчальним матеріалом.

Спираючись на аналіз наукової літератури та педагогічного досвіду, варто виокремити основні проблемні позиції у реалізації задачного підходу та формуванні у студентів уміння розв'язувати задачі. Найбільш складною є постановка задачі, що спирається на уміння сформулювати проблему в наукових термінах задачного підходу. Також виникають складнощі у визначенні методичного підходу до розв'язування. Таким чином, зрозумілим є потреба конструювання методики професійно орієнтованого навчання конкретної природничої дисципліни через задачі та визначення підходів до конструювання і класифікації задач.

Проведені нами дослідження дали підстави для класифікації задач за такими критеріями: способом подання умови (текстові, графічні, задачі-малюнки (або фотографії), експериментальні задачі); рівнем складності (прості, середньої складності, складні, підвищеної складності); за характером і методом дослі-

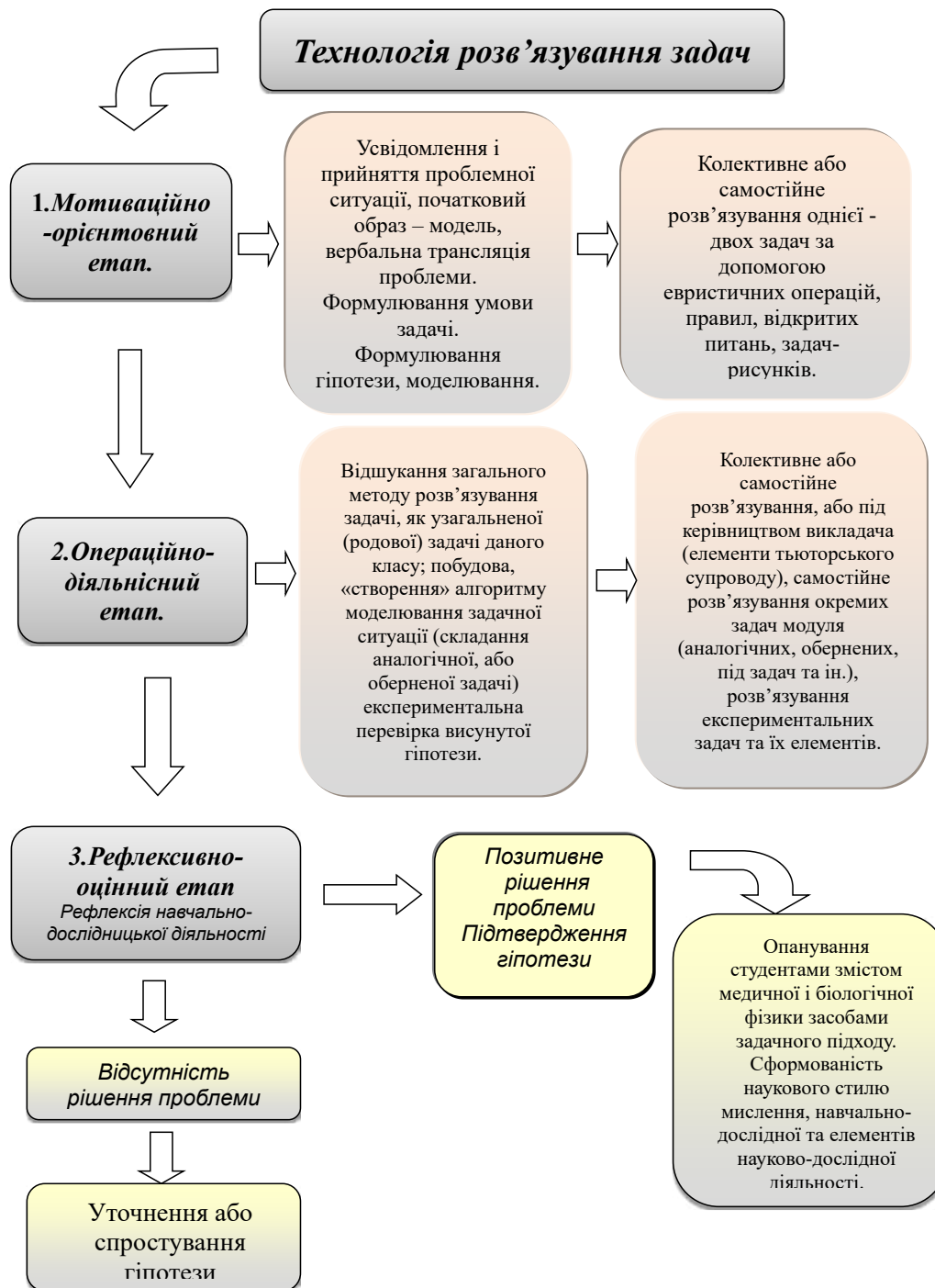


Рис. 1. Відтворення процесу наукового пізнання у технологічному підході до розв'язування задач з медичної і біологічної фізики

дження (якісні і кількісні); змістом (абстрактні і конкретні з практичним змістом та ін.); способом розв'язку (розрахункові, експериментальні, логічні, математичні (алгебраїчні, геометричні), графічні); роллю у формуванні наукового фундаменту навчальної дисципліни (формування і конкретизація понять, уточнення ознак, розширення обсягу знань, диференціювання, систематизація і класифікація,

прикладне застосування понять у професійно значущих ситуаціях); дидактичною метою (тренувальні, творчі, дослідницькі, контрольні та ін.); цільовою вимогою (на віднаходження невідомого, на доведення, на конструювання та ін.).

Фізичні задачі мають бути профілізовані відповідно до вимог професійної підготовки за змістом, процесуальною складовою (способом дій), а головне за кінцевою метою – форму-

вання особистості майбутнього лікаря, а технологію розв'язування задач можна розглядати як пропедевтику елементів клінічного мислення.

Програма з медичної і біологічної фізики передбачає обов'язкове розв'язування задач різних типів. Розв'язування достатньої кількості фахово орієнтованих задач і завдань не тільки створює базу для глибокого і осмисленого засвоєння фундаментальної істини а й формує у майбутнього лікаря вміння самостійно мислити та в подальшому використовувати набуті знання та застосовувати сформовані вміння у своїй лікувальній діяльності. Ретельний аналіз програми МБФ та дослідження науковців щодо різних видів задач дозволив об'єднати всі задачі з медичної і біологічної фізики у три типи: навчально-пізнавальні – інформаційні (орієнтовані на формування цілісного фундаменту фізичних знань); практико-орієнтовані (теоретичні та прикладні фахово спрямовані) задачі, науко орієнтовані (творчі, науково-орієнтовані). Формування фахової компетентності відбувається під час розв'язання структурно-логічної послідовності завдань і задач, спрямованих на формування наукового стилю мислення.

Проведений ретельний аналіз фізичних задач, що використовуються у процесі навчання медичної та біологічної фізики різними авторами, власний педагогічний досвід, досвід колег дають підстави виокремити типи задач відповідно до функцій, що покладаються на них у процесі фахової підготовки майбутніх лікарів з медичної і біологічної фізики (Новікова, 2021, с. 89-90). Узагальнена класифікація, здійснена нами, подана на рисунку 2.

Лікарю важливо вміти трансформувати реальні проблемні ситуації у задачні форми, до створення яких ми активно залучаємо студентів. Не розв'язуємо задачі заради задач, а використовуючи конкретну практичну ситуацію, формуємо у студентів навички складання задач. До прикладу, доволі популярною у фізиці є технологія розв'язування задач, яка характеризується усталеним у фізичних колах терміном «розв'язувати з кінця». Такий алгоритм дій притаманний і професійній діяльності лікаря. Пацієнти здебільшого в анамнезі вказують наслідки, які зумовило те чи інше захворювання, а лікар, розпочинаючи «розв'язувати з кінця» професійну задачу має знайти пер-

шопричини. Необхідно, усвідомивши ситуацію лікаря, навчити студентів такому підходу, конструюючи задачі з фізики. Інша мета тому інший алгоритм – побудова задач за метою. Дослідження психологів довели, що для розвитку мислення необхідно формувати узагальнені прийоми міркування, навчати методам розв'язування різних класів задач. Велику роль при цьому відіграють різні евристики, евристичні прийоми, евристичні орієнтири, які сприяють переведенню нерозв'язаної проблеми в доступне для вирішення завдання (Скафа, 2004, с. 152-153). Оволодіння такими прийомами і методами означає істотне зрушення в інтелектуальному розвитку, розширює можливість переносу знань відносно нових умов.

Розв'язування задач сприяє розвитку різних видів здібностей: загальних (інтелекту (здатність вирішувати завдання на основі наявних знань), здатність до навчання (здатність набувати знання) та креативність (здатність перетворювати знання з допомогою уяви), здатність до опанування різними видами діяльності, як основа успішної пізнавальної діяльності), спеціальних (психологічні властивості, що забезпечують успішність виконання певної діяльності), творчих (зумовлюють успішність у створенні матеріальної та духовної культури – нових ідей, винаходів та ін.) (Копець, 2007, с. 130-133).

Розв'язування задач допомагає індивідуалізувати процес навчання, що є важливим, оскільки доволі складно а подекуди й неможливо зробити це при проведенні лекції та реалізації інших форм роботи зі студентами.

Цілісність системи підготовки майбутніх спеціалістів забезпечується за рахунок посилення міждисциплінарних зв'язків. Продуктивним є співробітництво між викладачами теоретичних та клінічних кафедр (наприклад кафедри дерматології і медичної і біологічної фізики та інформатики) (Івасюк, Остапчук, Стучинська, Бардов, Новікова, Лозинська, 2021, с. 120-126).

Медичною перспективою використання фахово орієнтованих задач у науково спрямованому навчанні майбутніх лікарів у технологічно організованому навчанні стає формування практичної складової професійної компетентності майбутніх лікарів, що сприяє технологічній організації навчального процесу у медичному вузі в аудиторній, змішаній (аудиторно-дистанційній) та синхронній (гібридній)



Рис. 2. Типологія фізичних задач відповідно до їх функцій у курсі МБФ

формах навчання у період карантинних обмежень (Kuchyn, Vlasenko, Melnyk, Stuchynska, Kucherenko, Mykytenko, 2022, p. 1118-1123).

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Аналіз проблеми розв'язування задач у контексті сучасних вимог до професійної підготовки майбутніх лікарів засвідчили перспективність побудови методики навчання розв'язування задач з МБФ на засадах технологічного підходу, яка має достатньо високий дидактичний потенціал для досягнення програмних результатів навчання і не обмежується

рамками конкретної навчальної дисципліни, а орієнтована на формування важливих для подальшої професійної діяльності майбутніх лікарів загальних та спеціальних компетентностей.

З позицій формування професійної компетентності майбутніх лікарів проаналізовано роль і місце задач з медичної і біологічної фізики, здійснено їх класифікацію, схарактеризовано методи розв'язування з акцентуванням на тих, що є визначальними для фахової, навчально-дослідницької та науково-дослідницької діяльності майбутніх лікарів.

На основі аналізу теорій поетапного формування розумових дій, спільності розумових дій при розв'язуванні задач і проведенні наукових досліджень показана доцільність поєднання навчальної діяльності з розв'язування задач з навчально-дослідницькою роботою і елементами науково-дослідної роботи студентів у процесі навчання МБФ.

Розроблено та обґрунтовано модель технології розв'язування задач з МБФ як засобу фахової підготовки майбутніх лікарів, внутрішня структура якої деталізована через такі структурні елементи: цільовий, процесуально-діяльнісний, змістовий, рефлексивно-оцінювальний блоки та організаційно-педагогічні умови (Новікова, 2021, с. 115-126). Функціо-

нування всіх структурних елементів відбувається в хмаро орієнтованому освітньому середовищі і підкріплено: системою організації викладача з формування фахово орієнтованих загальних та спеціальних компетентностей майбутніх лікарів засобами професійно орієнтованих задач з МБФ; поєднанням діяльності з розв'язування задач з дослідницькою діяльністю майбутніх лікарів.

Проведене дослідження (Новікова, 2021, с. 115-126; Novikova, 2021, р. 138-145) не вичерпує всіх можливостей застосування технології розв'язування задач у фаховій підготовці майбутніх лікарів. Потребує розроблення система ситуаційних задач з МБФ, завдань інтегративного змісту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Про затвердження Національної рамки кваліфікації : Постанова Кабінету Міністрів України від 23.11.2011 р. № 1341. Дата оновлення : 25.06.2020 Постанова КМ № 519. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/519-2020-%D0%BF#n10> (дата звернення 25.09.2022).
2. Про освіту : Закон України від 2017 р. № 2145-VIII. Дата оновлення : 27.10.2022 підстава № 2438-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> (дата звернення: 28.11.2022).
3. Про вищу освіту : Закон України від 2014р. № 1556-VII. Дата оновлення : 27.10.2022 підстава № 2438-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення: 28.11.2022).
4. Робоча навчальна програма з навчальної дисципліни МБФ. Національний медичний університет імені О. О. Богомольця : затверджено на засіданні Циклової методичної комісії з природничих дисциплін НМУ імені О.О. Богомольця від 31.08.2022 № 1 URL: <http://nmuofficial.com/zagalni-vidomosti/kafedri/department-medical-biological-physics/navchalno-metodychna-robota/> (дата звернення: 12.10.2022).
5. Ляшенко О.І. Сучасні проблеми навчання фізики в контексті компетентнісного підходу до освіти. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія : Педагогічна.* Кам'янець-Подільськ, 2015. Вип. 21. С. 255–256.
6. Ляшенко О.І., Стучинська Н.В. Оцінювання успішності студентів. Перший досвід : досягнення та помилки. *Педагогіка і психологія.* Київ, 2006. № 4(53). С. 29–42.
7. Шут М.І., Сегієнко В.П. Науково-дослідна робота з фізики у середніх та вищих навчальних закладах: навчальний посібник. Київ : Шкільний світ, 2004. 128 с.
8. Коpecь Л.В. Психологія особистості : навчальний посібник. Київ : Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2007. 460 с.
9. Скафа Е.И. Эвристическое обучение математике : теория, методика, технология: монография. Донецк : Донецкий Национальный университет, 2004. 439 с.
10. Новікова І.М. Технологія розв'язування задач з медичної і біологічної фізики як засіб фахової підготовки майбутніх лікарів : дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. Київ, 2021. 309 с
11. Івасюк, О., Остапчук, О., Стучинська, Н., Бардов, П., Новікова, І., & Лозинська, А. Фізичні основи використання ультразвукових хвиль у косметології. *Multidisziplinäre Forschung: Perspektiven, Probleme und Muster der Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten «ΛΟΓΟΣ» : Materialien der II internationalen wissenschaftlich-praktischen Konferenz*, Wien, 26. November, 2021. Wien-Vinnytsia: List Verlag. in Ullstein Buchverlage GmbH & Europäische Wissenschaftsplattform. В. 3, р. 120-126. DOI:10.36074/logos-26.11.2021.v3.39.
12. Kuchyn I.L., Vlasenko O.M., Melnyk V.S., Stuchynska N.V., Kucherenko I.I., Mykytenko P.V. Simulation training and virtual patients as a component of classroom training of future doctors under covid-19 conditions. *Wiadomości Lekarskie, Official journal of the Polish Medical Association.* Poland : ALUNA Publishing House. 2022. Volume LXXV, Issue 5 Part 1 : 1118-1123.
13. Novikova I.M. Experimental test of efficiency of technology of training and problem solving in medical and biological physics. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*, Warsaw, Poland : RS Global Sp. z O.O. June 30, 2021. № 2(30). p. 138-145. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijtts/30062021/7599

REFERENCES:

1. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro zatverdzhennia Natsionalnoi ramky kvalifikatsii» : pryiniaty 23 lyst. 2011 roku № 1341. Data onovlennia : 25.06.2020 Postanova KM № 519 [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the National Qualifications Framework» from 23.11.2011 № 1341. Date of update : current edition 25.06.2020 Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 519.] (2020, Yiun 25). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/519-2020-%D0%BF#n2> [in Ukrainian].
2. Zakon Ukrainy «Pro osvitu» : pryiniaty 2017 roku № 2145-VIII. Data onovlennia : 27.10.2022 pidstava № 2438-IX [Law of Ukraine «About Education» from 2017 № 2145-VIII. Date of update : current edition 27.10.2022, № 2438-IX] (2022, oktiabro 27). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19#Text> [in Ukrainian].
3. Zakon Ukrainy «Pro vyshchu osvitu» : pryiniaty 2014 roku № 1556-VII. Data onovlennia : 27.10.2022 pidstava № 2438-IX [Law of Ukraine «About higher education» from 2014 № 1556-VII. Date of update : current edition 27.10.2022, № 2438-IX] (2022, oktiabro 27). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> [in Ukrainian].
4. Robocha navchalna prohrama z navchalnoi dystsypliny MBF. Natsionalnyi medychnyi universytet imeni O.O. Bohomoltsia : zatverdzheno na zasidanni Tsyklovoi metodychnoi komisii z pryrodnychkykh dystsyplin NMU imeni O.O. Bohomoltsia vid 31.08.2022 № 1 [Working curriculum in the educational discipline of the MBF. Bogomolets National Medical University : approved at the meeting of the Cyclic Methodical Commission for Natural Sciences of the Bogomolets National Medical University from 31.08.2022 № 1] (2022-2023). <https://nmuofficial.com>. Retrieved from <https://nmuofficial.com/zagalni-vidomosti/kafedri/departament-medical-biological-physics/navchalno-metodychna-robota> [in Ukrainian].
5. Liashenko, O.I. (2015). Suchasni problemy navchannia fizyky v konteksti kompetentnisnoho pidkhodu do osvity [Modern problems of teaching physics in the context of the competence approach to education]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnogo universytetu im. Ivana Ohienka. Seriya: Pedagogichna – Collection of scientific works of the Kamianets-Podilskiyi National University named after Ivan Ohienko. Series: Pedagogical*, 21, 255-256 [in Ukrainian].
6. Liashenko, O.I., Stuchynska, N.V. (2006). Otsiniuvannia uspishnosti studentiv. Pershyi dosvid: dosiahnennia ta pomylky [Assessment of student performance. First experience: achievements and mistakes]. *Pedagogika i psykholohiia – Pedagogy and psychology*, 4(53), 29–42 [in Ukrainian].
7. Shut, M.I., Shiienko, V.P. (2004). *Naukovo-doslidna robota z fizyky u serednikh ta vyshchyykh navchalnykh zakladakh [Research work on physics in secondary and higher educational institutions]*. Kyiv: Shkilnyi svit [in Ukrainian].
8. Kopets, L.V. (2007). *Psykholohiia osobystosti [Personality psychology]*. Kyiv: Vyd. dim «Kyievo-Mohylianska akademiiia» [in Ukrainian].
9. Skafa, E.I. (2004). *Evrysticheskie obuchenie matematike: teoriya, metodika, tehnologiya: monografiya [Heuristic teaching of mathematics: theory, methodology, technology: monograph]*. Donetsk: Don NU [in Ukrainian].
10. Novikova, I.M. (2021). Tekhnolohiia rozviazuvannia zadach z medychnoi i biolohichnoi fizyky yak zasib fakhovoi pidhotovky maibutnikh likariv [The technology of solving medical and biological physics problems as a means of professional training of future doctors]. Candidate's thesis. Kyiv: Bogomolets National Medical University [in Ukrainian].
11. Ivasiuk, O., Ostapchuk, O., Stuchynska, N., Bardov, P., Novikova, I., & Lozynska, A. (2021). Fizychni osnovy vykorystannia ultrazvukovykh khvyl u kosmetolohii [Physical basis of using ultrasonic waves in cosmetology]. *Zbirnyk naukovykh prats AOHOΣ – Collection of scientific papers AOHOΣ*, 3, 120-126 [in Ukrainian].
12. Kuchyn, I., Vlasenko, O., Melnyk, V., Stuchynska, N., Kucherenko I., Mykytenko, P. (2022). Simulation training and virtual patients as a component of classroom training of future doctors under covid-19 conditions. *Wiadomości Lekarskie, Official journal of the Polish Medical Association*, Volume LXXV, Issue 5 Part 1: 1118-1123, Poland: ALUNA Publishing House [in Ukrainian].
13. Novikova, I.M. (2021). Doslidno-eksperymentalna perevirka efektyvnosti tekhnolohii navchannia rozviazuvanniu zadach z medychnoi i biolohichnoi fizyky [Experimental test of efficiency of technology of training and problem solving in medical and biological physics]. *Mizhnarodnyi zhurnal innovatsiynykh tekhnolohii u sotsialnykh naukakh – International Journal of Innovative Technologies in Social Science*, (2)(30). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijitss/30062021/7599 [in Ukrainian].

УДК 371.12

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-9>

Вікторія САВІЦЬКА

кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри освітології і педагогіки, Західноукраїнський національний університет, бульвар Тараса Шевченка, 9, м. Тернопіль, Тернопільська обл., Україна, 46000

ORCID: 0000-0002-9438-1734

Бібліографічний опис статті: Савіцька, В. (2022). Трансфер цифрових освітніх технологій: досвід Європейського Союзу та особливості його реалізації в Україні. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 85–90, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-9>

**ТРАНСФЕР ЦИФРОВИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ:
ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ
ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ В УКРАЇНІ**

У статті розглянуто проблему цифровізації освіти та впровадження цифрових освітніх технологій у сучасну педагогічну практику в Україні та Європейському Союзі. Узагальнено, що цифровізація стає однією з ключових світових тенденцій розвитку всіх рівнів освіти і впливає не лише на зміну засобів навчання та змісту освіти, а й на форму організації освіти та забезпечення освітнього процесу. Метою статті визначено аналіз європейського досвіду трансферу цифрових освітніх технологій та визначення особливостей його імплементації в реаліях сучасної української вищої освіти.

На основі узагальнення проведеного аналізу досвіду впровадження цифрових освітніх технологій в деяких країнах Європейського Союзу, виокремлено чинники, які, впливають на процес упровадження цифрових освітніх технологій в Україні, зокрема: процес вибору цифрових освітніх продуктів; пріоритетність завдань; інфраструктура та ресурси закладу вищої освіти; система впровадження та супроводу; професійне навчання викладачів; корпоративна культура персоналу; підтримка адміністрації; роль викладацької спільноти (їхня готовність до організації освітнього процесу на основі освітніх цифрових продуктів та інструментів); розуміння цілей впровадження цифрових освітніх продуктів в освітній процес).

На основі проведеного порівняльного дослідження досвіду європейських країн щодо впровадження цифрових освітніх технологій уможливилось формулювання для українських університетів практичних рекомендацій щодо впровадження цифрових освітніх технологій: застосування принципу «економії даних» у цифровому форматі; поєднання в освітньому процесі конкретних практичних навичок з фундаментальністю; у виборі форм онлайн-навчання керуватися ключовими параметрами онлайн-курсів; урізноманітнення освітнього процесу матеріалами різноманітними платформами (Coursera, edX, Udacity, DataCamp та ін.), роботою з соціальними мережами та Інтернет-сервісами, різними гаджетами.

Ключові слова: цифрові технології, вища освіта, Європейський Союз, трансфер технологій, цифрова трансформація освіти.

Viktorія SAVITSKA

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Educational Sciences and Pedagogy, West Ukrainian National University, Ukraine, Ternopil, 9, T. Shevchenko Boulevard, 46009

ORCID: 0000-0002-9438-1734

To cite this article: Savitska, V. (2022). Transfer tsyfrovyykh osvitnikh tekhnolohii: dosvid Yevropeiskoho Soiuzu ta osoblyvosti yoho realizatsii v Ukraini [Transfer of digital educational technologies: the experience of the European Union and peculiarities of its implementation in Ukraine]. *Problems of chemistry and sustainable development*, 4, 85–90, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-9>

TRANSFER OF DIGITAL EDUCATIONAL TECHNOLOGIES: THE EXPERIENCE OF THE EUROPEAN UNION AND PECULIARITIES OF ITS IMPLEMENTATION IN UKRAINE

The article has analysed the issue of education digitalization and implementation of digital technologies into modern pedagogical practice in Ukraine and the European Union. It has been generalized that digitalization becomes one of key world tendencies of development of all levels of education and affects not just the change in the means of learning and the content of education, but also the form of organization of education and provision of the educational process. The purpose of article is the analysis of the European experience of transfer of digital educational technologies and identification of peculiarities of its implementation in the realities of modern Ukrainian higher education. Based on the generalization of the analysis of the experience of the implementation of digital educational technologies in some countries of the European Union, the factors influencing the process of the implementation of digital educational technologies in Ukraine have been singled out, in particular: the process of choosing digital educational products; the priority of tasks; the infrastructure and resources of the institution of higher education; the system of implementation and support; vocational study of lecturers; the corporative culture of staff; the administration support; lecturers' community role (their readiness for organization of educational process on the basis of educational digital products and instruments); understanding of goals of implementation of digital educational products into educational process.

Based on the conducted comparative study of the European countries' experience on the implementation of digital educational technologies, it became possible to formulate practical recommendations for the implementation of digital educational technologies for Ukrainian universities: the use of principle of «data economy» in digital format; combination on specific practical skills with fundamentality in the educational process; be guided by the key parameters of online courses while choosing forms of online education; diversification of the educational process with materials on various platforms (Coursera, edX, Udacity, DataCamp etc), with the work of social networks and Internet services or different gadgets.

Key words: digital technologies, higher education, the European Union, transfer of technologies, digital transformation of education.

Актуальність проблеми. Загальносвітові тренди соціально-економічного розвитку, зорієнтовані на впровадження у широку практику цифрових технологій, зумовили розвиток цифрової освіти. Дешеві та надійні цифрові (інформаційні та комунікаційні) технології, що швидко вдосконалюються, сприяють глибоким перетворенням у всіх галузях економіки та соціальної сфери. Ці перетворення часто називають новою технологічною (цифровою чи четвертою індустріальною) революцією (Osburg, 2016), а пов'язані з ними зміни – «цифровою трансформацією» (Буняк, 2014). Тобто нові інформаційно-комунікаційні технології є одним із чинників, що здійснюють найбільший вплив на всі сфери людської діяльності. Стрімкий розвиток та розширення потенціалу нових інформаційних, освітніх, комунікативних технологій та цифрових інструментів вимагає від майбутніх фахівців додаткових знань та навичок. Цифрова трансформація освіти є своєрідним черговим та неминучим етапом оновлення освіти, який розгортається вже не одне десятиліття разом / шляхом цифрових технологій у всі сфери життя суспільства.

Відтак, нова технологічна революція вимагає не лише випереджальних науково-технічних розробок, а й якісної зміни культури

діяльності. Від фахівців усіх спеціальностей та спеціалізацій вимагаються оволодіння здібностями, які часто називають «компетентностями XXI століття» (Панесенко, 2021); ґрунтовна гуманітарна і природничо підготовка, високий рівень цифрової грамотності. У цьому аспекті актуалізується необхідність аналізу європейського досвіду трансферу цифрових освітніх технологій з його адаптацією до сучасних українських реалій та подальшою імплементацією в систему вищої освіти України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема інформатизації та цифровізації освіти активно досліджується вітчизняними (В. Биков, А. Гуржій, М. Жалдак, А. Коломієць, В. Лапінський, С. Литвинової, Н. Морзе, С. Савченка та ін.) та закордонними науковцями А. Феррарі (A. Ferrari), С. Марш (C. Marsh), Ю. Пуні (Y. Punie), К. Редекер (C. Redecker), Л. Шиндлер (L. Schindler) та ін.). У сучасних наукових пошуках відображено можливі шляхи та досвід реалізації цифрових технологій в освітньому процесі вищої школи (Л. Гаврілова, О. Співаковський, Л. Тимчук, Я. Топольник, І. Хижняк; П. Берстром (P. Bergstrom), С. Голдман (S. Goldman), М. Зелізінський (M. Zielezinski) та ін.); проектування інноваційних цифрових педагогічних систем (Н. Бори-

сова, В. Докучаєва, О. Ярошинська, С. Вурдінгер (S. Wurdinger), Х. Спекелс (H. Speckels) та ін.); проектування та використання системи електронного навчання (О. Глазунова, О. Щербина), хмаро зорієнтованого освітнього середовища (Т. Вакалюк, К. Колос, С. Литвинова); формування й розвиток хмаро орієнтованого освітньо-наукового середовища закладу вищої освіти (Я. Топольник, М. Шишкіна); проектування цифрових наративів у навчанні майбутніх магістрів освіти (Л. Тимчук) та ін. Проте питання дослідження європейського досвіду трансферу цифрових освітніх технологій та особливостей його реалізації в Україні не набули належного висвітлення.

Мета статті полягає в аналізі європейського досвіду трансферу цифрових освітніх технологій та визначення особливостей його імплементації в реаліях сучасної української вищої освіти.

Виклад основного матеріалу. В останнє десятиліття електронний контент значно розширився, що зумовило збільшення вимог до професійної діяльності, використання у ній комп'ютерних технологій (Churchill, 2018). Сьогодні будь якому фахівцю необхідно орієнтуватися в електронному просторі, користуватися електронними пошуковими системами, журналами, створювати практико зорієнтований контент у предметній сфері. Водночас в Україні спостерігається суперечність між потенційними можливостями інформаційного та цифрового освітнього середовища у закладах вищої освіти (ЗВО) як соціокультурного явища та недостатньою реалізацією їхньої розвиваючої, освітньої, дистанційної, мобільної, комунікаційної функцій. Тому інноваційний досвід країн Європейського Союзу (зокрема, Німеччини, Фінляндії, Франції) дасть змогу спрогнозувати, спланувати та вивчати подальший розвиток цифрових технологій в освіті.

Зростаючу значущість інституційного використання цифрових технологій у Німеччині затверджено на державному рівні. З метою експансивного просування цифровізації вищої освіти в Німеччині створено експертну раду «Німецький форум вищої освіти у цифрову епоху» (Hochschulforum Digitalisierung) (Burnett, 2019). У робочій доповіді форуму зацентровано увагу на таких положеннях, що стосуються цифровізації освіти:

– інновації в цифровій освіті – це не просто технічні інновації, а, швидше, академічні, освітні, організаційні та структурні інновації;

– інтеграція цифрових медіа у викладання та навчання – це складний процес переговорів між різними зацікавленими сторонами в університетах;

– в університетах не бракує інновацій у галузі цифрового викладання та навчання, але їхнє структурне та стратегічне просування є недостатнім (Hochschulforum Digitalisierung, 2016).

Німеччина, хоч і є провідним розробником та виробником високотехнологічної продукції в багатьох сферах, виявилася не зовсім готовою до різкого переходу на цифрове навчання. Це пов'язано з високим рівнем бюрократичних процедур, яким змушені підпорядковуватися державні університети, а також спротивом деяких батьків, які рішуче виступають навіть проти встановлення бездротової локальної мережі, вважаючи, що комп'ютери та мережі Wi-Fi негативно впливають на здоров'я дітей (DeVries, 2019). Ситуація посилюється також і суворою заборонаю використання викладачами хмарних сервісів, соціальних платформ, мікроблогів та інструментів обміну електронними документами, розміщеними за межами Європейського союзу, через невідповідність цих технологій стандартам конфіденційності та захисту даних (Heinzl, Kor, Orange, & Kaufmann, 2012). У Німеччині дотримуються ідеї «економії даних» (нім. *Datensparsamkeit*), протилежної принципу «захоплення всього». Суть її полягає в тому, що чим менше даних зберігається, тим менша ймовірність їхнього не привильного використання (Heinzl, Kor, Orange, & Kaufmann, 2012), водночас у деяких країнах вони сприймаються як «нова нафта» (DeVries, 2019), сировина для цифрових операцій. Німецькі університети у партнерстві заснували компанію «Університетська інформаційна система» (нім. *Hochschul-Informationssystem eG*) – розробника адміністративних програмних рішень, що працюють згідно з положеннями ЄС щодо захисту даних.

У Фінляндії акцентується значна увага на розвитку цифрових технологій, особливо у підготовці студента до роботи майбутнього, де необхідне поєднання соціальних та робочих мереж, навчальних середовищ. Актуалізу-

ється створення багатофункціональних приміщень, що передбачають створення багатофункціональної платформи для комунікації, спільної роботи та зв'язку з акцентом на електронне навчання (Agostini, Galati, & Gastaldi, 2020). Сьогодні майже немає відмінностей між дистанційним навчанням та навчанням безпосередньо в університетському класі завдяки інформаційно-комп'ютерним технологіям. Тобто впровадження цифрових освітніх технологій у Фінляндії базується на організації у програмах магістра багатофункціональних приміщень, у яких здійснюються такі види діяльності: місцеві лекції, робота у локальній групі, місцеві наради та презентації, виробництво інтелектуального продукту. Такі багатофункціональні приміщення надають технічну основу об'єднання університетів крізь міжнародні кордони.

У сучасній освітній ситуації Франції важливо відзначити запуск та функціонування «цифрового робочого простору» (L'ENT c'est quoi, 2017) – освітнього Інтернет-порталу, що забезпечує за допомогою єдиної та безпечної точки доступу до набору інформаційних послуг будь-якому актору освітнього співтовариства (студенти, викладачі, батьки) у конкретному закладі освіти. У цьому просторі, введеному в межах державного проекту впровадження цифрових освітніх технологій, доцільно виокремити такі функції:

- контроль освітньої діяльності – контроль успішності, відвідування, розклад, домашнє завдання, електронні підручники тощо;

- комунікація – спілкування з іншими членами спільноти, розміщення даних щодо кадрів, сім'ї тощо;

- організація освітньої діяльності – загальні діяльнісні середовища та простори з розміщення різноманітної інформації для студентів та викладачів, інструменти для спільного використання, блоги, форуми, цифрові зошити (що надають повну інформацію щодо дисциплін, розкладів, домашніх завдань, документів, що стосуються певної дисципліни, «життя» групи тощо).

Французькими закладами освіти відзначається активне використання різноманітних відкритих освітніх майданчиків на основі Moodle (додатки, що дають змогу створювати сайти для онлайн навчання) та технологій Web

2.0, робота в яких не вимагає спеціальних технічних знань та навичок. Функціонально Web 2.0 втілюють глобальний сервіс зі спеціальними сховищами інформації, спільнотами (багатоавторські та особисті блоги, мережеві спільноти) та різноманітними інструментами (перекладачі, календарі тощо) (Dutta, Lanvin, Wunsch-Vincent, & Rivera León, 2021). Завдяки неймовірній різноманітності функцій на базі цієї платформи здійснюється створення та розміщення нових матеріалів та знань, співробітництво. Також варто відзначити сегмент платіжних систем, мобільних додатків та технологій речей, що представляють розвиток технологій Web 3.0.

Здійснений аналіз міжнародних цифрових освітніх технологій засвідчив, що у світі за наявності різноманіття технологічних та організаційних рішень більшість з них не дає повною мірою добиватися тих самих соціальних та освітніх результатів, які дає «звичайний» університет під час очного навчання (Ашиток, Галь, 2021). Для порівняння, в Україні у процесі швидкого переходу на дистанційні форми навчання великою проблемою є дефіцит інтерактивних навчальних матеріалів, цікавих завдань із зворотним зв'язком, а також досвіду та інструментів колективної роботи у цифровому середовищі. Проблемою є й недостатнє знайомство викладачів із такими інструментами. У сучасних закладах вищої освіти значна кількість викладачів почали застосовувати найпростіші способи організації навчання за схемою «надання нового матеріалу – контроль» та онлайн-заняття з використанням інструментів відеоконференцзв'язку.

У поточних умовах для української системи освіти особливу актуальність набуває питання розробки та впровадження українських платформ для організації та управління освітнім процесом, а також розробки електронних освітніх ресурсів для широкого та повсюдного використання у педагогічній практиці, що актуалізує значущість дослідження та адаптації закордонного досвіду впровадження цифрових освітніх технологій.

На основі проведеного порівняльного дослідження уможлиблюється формулювання для українських університетів практичних рекомендацій щодо впровадження цифрових освітніх технологій:

1. Застосування принципу «економії даних» у цифровому форматі у питаннях управління даними та навчанні з метою зниження ризиків зловживання інформацією у злочинних цілях, зменшення «перевантаженості» навчальних курсів та скорочення навантаження на цифрові платформи.

2. Поєднання в освітньому процесі конкретних практичних навичок з фундаментальністю, що передбачає, наприклад, відмову в онлайн-навчанні традиційної академічної системи поділу навчальних занять суворо на лекції та семінари, використовуючи і теоретичну, і практичну частину в межах однієї онлайн-сесії (одного сеансу підключення).

3. У виборі форм онлайн-навчання керуватися тим, що онлайн-курси – це не лише текстові презентації та відеолекції, їхня методологія базується на дев'яти ключових параметрах, які дають змогу гнучкіше підходити до особливостей програм навчання з різних напрямів підготовки, враховуючи їхню специфіку, а також робити навчальні онлайн-курси менше шаблонними та однотипними.

4. Використання для навчання не лише платформи Moodle та «текстового» підходу,

а урізноманітнення освітнього процесу матеріалами інших платформ (Coursera, edX, Udacity, DataCamp та ін.), роботою з соціальними мережами та Інтернет-сервісами, а також різними гаджетами, намагаючись задіяти тілесні, матеріальні та соціальні аспекти навчання.

Висновки. Таким чином, на основі здійсненого аналізу досвіду впровадження цифрових освітніх технологій в деяких країнах Європейського Союзу, виокремимо чинники, які, імовірно, впливають на успіх чи невдачу впровадження цифрових освітніх технологій в Україні, зокрема: процес вибору цифрових освітніх продуктів; пріоритетність завдань; інфраструктура та ресурси закладу вищої освіти (обладнання, технічне та програмне забезпечення, Інтернет, фінансування); система впровадження та супроводу; професійне навчання викладачів; корпоративна культура персоналу; підтримка адміністрації; роль викладацької спільноти (їхня готовність до організації освітнього процесу на основі освітніх цифрових продуктів та інструментів); розуміння цілей впровадження цифрових освітніх продуктів в освітній процес).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ашиток Н., Галь Ю. Проблеми впровадження цифрових технологій в дистанційне навчання у вищій школі. *Молодь і ринок*. 2021. Вип. 11–12. С. 33–38.
2. Буняк Н. М. Роль трансферу технологій у розвитку національної інноваційної системи. *Вісник Волинського інституту економіки та менеджменту*. 2014. Вип. 10. Том 2. С. 56–62.
3. Панасенко І. В. Дистанційне навчання в Україні: аналіз загроз і викликів. *Бізнес Інформ*. 2021. Вип. 6. С. 78–83.
4. Agostini L., Galati F., & Gastaldi L. The digitalization of the innovation process: Challenges and opportunities from a management perspective. *European Journal of Innovation Management*. 2020. Vol. 23 (1). P. 1–12.
5. Burnett N. Immersive technology and Education – Deep dive #2. Medium. 2019, September 4. URL: <https://medium.com/dataseries/immersive-technology-andeducation-deep-dive-2-85862981fd6b>.
6. Churchill D. Curriculum, learning design and digital resources for STEM education. *Journal of international scientific publications. Educational alternatives*. 2018. Vol. 16. P. 49–61.
7. DeVries I. Open Universities and Open Educational Practices: A Content Analysis of Open University Websites. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*. 2019. Vol. 20 (4). P. 167–178.
8. Dutta S., Lanvin B., Wunsch-Vincent S., & Rivera León L. Global Innovation Index 2021. Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. *WIPO – World Intellectual Property Organization*. 2021. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf.
9. Heinzl J., Kor A., Orange G., & Kaufmann H. R. Technology transfer model for Austrian higher education institutions. *The Journal of Technology Transfer*. 2012. Vol. 38 (5). P. 607–640.
10. Hochschulforum Digitalisierung : Discussion Paper. 20 Theses on Digital Teaching and Learning in Higher Education. Working Paper no. 18. Berlin, 2016. 20 p.
11. L'ENT c'est quoi? 2017. URL: <http://ponthieu.clg.ac-amiens.fr/spip.php?article17>
12. Osburg T. Industry 4.0 needs education 4.0. Published on October 27, 2015. www.linkedin.com/pulse/industry-40-needs-education-thomas-os-burg+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=en

REFERENCES:

1. Ashytok, N., & Hal, Yu. (2021). Problemy vprovadzhennia tsyfrovyykh tekhnolohii v dystantsiine navchannia u vyshchii shkoli [Problems of implementing digital technologies in distance learning in higher education]. *Molod i rynok – Youth and the market*, 11–12, 33–38.
2. Buniak, N. M. (2014). Rol transferu tekhnolohii u rozvytku natsionalnoi innovatsiinoi systemy [The role of technology transfer in the development of the national innovation system]. *Visnyk Volynskoho instytutu ekonomiky ta menedzhmentu – Bulletin of the Volyn Institute of Economics and Management*, 10 (2), 56–62.
3. Panasenko, I. V. (2021). Dystantsiine navchannia v Ukraini: analiz zahroz i vyklykiv [Distance education in Ukraine: analysis of threats and challenges]. *Biznes Inform – Business Inform*, 6, 78–83.
4. Agostini, L., Galati, F., & Gastaldi, L. (2020). The digitalization of the innovation process: Challenges and opportunities from a management perspective. *European Journal of Innovation Management*, 23 (1), 1–12.
5. Burnett, N. (2019). Immersive technology and Education – Deep dive #2. *Medium*, September 4. URL: <https://medium.com/dataseries/immersive-technology-andeducation-deep-dive-2-85862981fd6b>.
6. Churchill, D. (2018). Curriculum, learning design and digital resources for STEM education. *Journal of international scientific publications. Educational alternatives*, 16, 49–61.
7. DeVries, I. (2019). Open Universities and Open Educational Practices: A Content Analysis of Open University Websites. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 20 (4), 167–178.
8. Dutta, S., Lanvin, B., Wunsch-Vincent, S., & Rivera León, L. (2021). Global Innovation Index 2021. Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. *WIPO – World Intellectual Property Organization*. URL: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021.pdf.
9. Heinzl, J., Kor, A., Orange, G., & Kaufmann, H. R. (2012). Technology transfer model for Austrian higher education institutions. *The Journal of Technology Transfer*, 38 (5), 607–640.
10. Hochschulforum Digitalisierung: Discussion Paper (2016). 20 Theses on Digital Teaching and Learning in Higher Education. Working Paper no. 18. Berlin, 20.
11. L'ENT c'est quoi? (2017). URL: <http://ponthieu.clg.ac-amiens.fr/spip.php?article17>
12. Osburg, T. (2016). Industry 4.0 needs education 4.0. Published on October 27, 2016. www.linkedin.com/pulse/industry-40-needs-education-thomas-os-burg+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=en

УДК 547.78+547.789+615.31

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-10>

Леся САЛІЄВА

кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Наталія СЛИВКА

кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Лариса МАРУШКО

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Олена КОМАРОВСЬКА-ПОРОХНЯВЕЦЬ

кандидат хімічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка», пл. Св. Юра, 2, м. Львів, Україна, 79013

ORCID: 0000-0003-2439-481X

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

Наталія КОВАЛЕНКО

кандидат хімічних наук, завідувач лабораторії кафедри хімії, Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

ORCID: 0000-0003-2782-2787

Михайло ВОВК

доктор хімічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділу хімії функціональних гетероциклічних систем, директор Інституту органічної хімії НАН України, вул. Академіка Кухаря, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

Бібліографічний опис статті: Салієва, Л., Сливка, Н., Марушко, Л., Комаровська-Порохнявець, О., Толмачова, В., Коваленко, Н., Вовк, М. (2022). Оцінка бактерицидної та фунгіцидної активності сірковмісних 2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*]тіазолів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 91–96, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-10>

ОЦІНКА БАКТЕРИЦИДНОЇ ТА ФУНГІЦИДНОЇ АКТИВНОСТІ СІРКОВМІСНИХ 2,3-ДИГІДРОІМІДАЗО[2,1-*b*]ТІАЗОЛІВ

Імідазо[2,1-*b*]тіазоли належать до привілейованих гетероциклічних систем та користуються підвищеною увагою дослідників, що обумовлено їх потужним медико-біологічним потенціалом. З метою пошуку нетоксичних антимікробних засобів видавалось доцільним вивчити бактерицидну та фунгіцидну активність сіркофункціоналізованих імідазо[2,1-*b*]тіазолів. Модельні об'єкти, *S*-(тетрагідроімідазо[2,1-*b*]тіазолілметил)тіоацетати **2a,b**, *O*-бутил *S*-(тетрагідроімідазо[2,1-*b*]тіазолілметил)карбондитіоати **3a-d** та 6-(пропан-2-

іліден)-2-тіоціанатометилімідазо[2,1-*b*]тіазолон **4**, були синтезовані реакцією нуклеофільного заміщення атомів бромом та йоду у 2-галогенометил-2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*]тіазолонах на тіоацетатну, бутилксантогенатну та тіоціанатну функції. Результати проведеного біоскринінгу засвідчили, що досліджувані сполуки характеризуються помірною бактерицидною та фунгіцидною активностями, які оцінювали за величинами зон пригнічення росту тест-культур, а також за величинами мінімальної інгібуючої концентрації (МІК) і мінімальної бактерицидної концентрації (МБК) методом серійних розведень. Встановлено, що найкращою антимікробною та протигрибковою дією відзначається 6-(пропан-2-іліден)тіоацетат **2b**, який за концентрації 0,5% пригнічує ріст бактерій *Micrococcus luteus* в діаметрі 12 мм та грибів *Aspergillus niger* в діаметрі 13 мм. При визначенні мінімальної бактериостатичної концентрації (МБСК) та мінімальної фунгістатичної концентрації (МФСК) сполук **2-4** методом серійних розведень встановлено, що вони виявляють протимікробну дію в концентраціях 15.6-500 мкг/мл. Знайдено, що *O*-бутил *S*-(6-бензилідентетрагідроімідазо[2,1-*b*]тіазолілметил)карбондитіоат **3d** в концентрації 31.2 мкг/мл проявляє інгібуючу активність проти *Micrococcus luteus*, а 6-(пропан-2-іліден)-2-тіоціанатометилімідазо[2,1-*b*]тіазолон **4** – проти *Candida tenuis* вже за концентрації 15.6 мкг/мл.

Ключові слова: функціоналізовані імідазо[2,1-*b*]тіазоли, біоскринінг, бактерицидна активність, фунгіцидна активність.

Lesya SALIYEVA

Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Nataliia SLYVKA

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Larysa MARUSHKO

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Olena KOMAROVSKA-POROKHNYAVETS

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Lviv Polytechnic National University, 2 St. Yura square, Lviv, Ukraine, 79013

ORCID: 0000-0003-2439-481X

Valentina TOLMACHEVA

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry, National Pedagogical Dragomanov University, 9 Pirogova str., Kyiv, Ukraine, 01601

ORCID: 0000-0002-4082-3381

Nataliia KOVALENKO

Candidate of Chemical Sciences, Head of the laboratory of the Department of Chemistry, National Pedagogical Dragomanov University, 9 Pirogova str., Kyiv, Ukraine, 01601

ORCID: 0000-0003-2782-2787

Mykhailo VOVK

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

ORCID: 0000-0003-1753-3535

To cite this article: Saliyeva, L., Slyvka, N., Marushko, L., Komarovska-Porokhnyavets, O., Tolmacheva, V., Kovalenko, N., Vovk, M. (2022). Otsinka bakterytsydnoi ta funhitysdnoi aktyvnosti

sirkovmisnykh 2,3-dihydroimidazo[2,1-*b*]thiazoliv [Evaluation of bactericidal and fungicidal activity of Sulfur-containing 2,3-dihydroimidazo[2,1-*b*]thiazoles]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 91–96, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-10>

EVALUATION OF BACTERICIDAL AND FUNGICIDAL ACTIVITY OF SULFUR-CONTAINING 2,3-DIHYDROIMIDAZO[2,1-*b*]THIAZOLES

*Imidazo[2,1-*b*]thiazoles belong to privileged heterocyclic systems and use the increased attention of researchers, due to their powerful medical and biological potential. In order to find non-toxic antimicrobial agents, it was advisable to study the bactericidal and fungicidal activity of sulfonated imidazo[2,1-*b*]thiazoles. Model objects, *S*-(tetrahydroimidazo[2,1-*b*]thiazolylmethyl)thioacetates **2a,b**, *O*-butyl *S*-(tetrahydroimidazo[2,1-*b*]thiazolylmethyl)carbonodithioates **3a-d** and 6-(propan-2-ylidene)-2-thiocyanatomethylimidazo[2,1-*b*]thiazolone **4**, were synthesized by the reaction of nucleophilic substitution bromine and iodine atoms in 2-halogenomethyl-2,3-dihydroimidazo[2,1-*b*]thiazolones on thioacetate, butylxantogenate and thiocyanate functions. The results of bioscreening showed that the investigated compounds are characterized by moderate bactericidal and fungicidal activity, which were estimated by the quantities of inhibition of test cultures, as well as by the quantities of minimal inhibitory concentration (MIC) and minimal bactericidal concentration (MBC) by the serial dilutions technique. It is established that the best antimicrobial and antifungal effect is 6-(propan-2-ylidene)thioacetate **2b**, which at a concentration of 0.5% inhibits the growth of bacteria *Micrococcus luteus* in diameter 12 mm and fungus *Aspergillus niger* in diameter 13 mm. In determining the minimum bacteriostatic concentration (MBC) and the minimum fungistatic concentration (MFC) of the compounds **2-4** by the method of serial dilutions technique it was established that they have antimicrobial action at concentrations of 15.6-500 µg/ml. Found that *O*-butyl *S*-(6-benzylidenetetrahydroimidazo[2,1-*b*]thiazolylmethyl)carbonodithioate **3d** at a concentration of 31.2 µg/ml shows an inhibitory active against *micrococcus luteus*, and 6-(propan-2-ylidene)-2-thiocyanatomethylimidazo[2,1-*b*]thiazolone **4** – against *Candida tenuis* at a concentration of 15.6 µg/ml.*

Key words: functionalized imidazo[2,1-*b*]thiazoles, bioscreening, bactericidal activity, fungicidal activity.

Важливою проблемою сучасної медицини є пошук діючих методів лікування інфекційних захворювань, викликаних резистентними штамами мікроорганізмів (Hecht, 2004). В силу цього створення нетоксичних та ефективних протимікробних засобів на основі оригінальних типів органічних сполук набуває актуального значення.

Детальний аналіз літературних джерел засвідчив, що функціоналізовані імідазо[2,1-*b*]тіазоли займають чільне місце в хімічному просторі гетероциклічних сполук, що обумовлено широким спектром їх біологічних властивостей (Kamal, Reddy, Viswanath, 2013; Fascio, Errea, D'Accorso, 2015; Tojo, Kohno, Tanaka, Kamioka, Ota, Ishii, Kamimoto, Asano, Isobe, 2014; Saliyeva, Diachenko, Vas'kevich, Slyvka, Vovk, 2020). Так, в ряду гідрованих похідних імідазо[2,1-*b*]тіазолу був відкритий антигельмінтний препарат левамизол (Amarouchi, Loiseau, Vacha, Caujolle, Payard, Loiseau, Bories, Gayral, 1987), анксиолітичний агент WAY-181187 (SAX-187) (Liu, Robichaud, Bernotas..., 2010) та антинеопластичний агент піфітрин-β (Da Pozzo, La Pietra, Cosimelli..., 2014). Саме тому видавалось доцільним здійснити оцінку бактерицидної та фунгіцидної активності модифікованих сірковмісними фрагментами 2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазолів.

Для реалізації поставленого завдання як модельні об'єкти дослідження реакцією нуклеофільного заміщення атомів бром та йоду у молекулах 2-галогенометил-2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*]тіазолонів **1** були синтезовані *S*-(тетрагідроімідазо[2,1-*b*]тіазолілметил)тіоацетати **2**, *O*-бутил*S*-(тетрагідроімідазо[2,1-*b*]тіазолілметил)карбонодитіоати **3** та 6-(пропан-2-іліден)-2-тіоціанатометилімідазо[2,1-*b*]тіазолон **4** (схема 1) (Салієва, Васькевич, Сливка, Вовк, 2018).

Скринінг антимікробної та протигрибкової активності одержаних похідних **2-4** проводили методом оцінки величини зон пригнічення росту тест-культур (таблиця 1) (NCCLS, 1990), а також за величиною мінімальної інгібуючої концентрації (МІК) і мінімальної бактерицидної концентрації (МБК) методом серійних розведень (таблиця 2) (NCCLS, 1998).

Проведені експериментальні дослідження показали, що *S*-(6,6-дифенілтетрагідроімідазо[2,1-*b*]тіазолілметил)тіоацетат **2a** у концентрації 0,5% пригнічує ріс мікроорганізмів *M. luteus* в діаметрі 12 мм. Натомість, 6-(пропан-2-іліден)-тіоацетат **2b** за такої ж концентрації проявив кращу активність, пригнічуючи ріс бактерій *M. luteus* в діаметрі 12 мм та грибів *Asp. niger* в діаметрі 13 мм.

Результати біоскринінгу показали, що сполуки **2-4** виявляють протимікробну дію в концентраціях 15.6-500 мкг/мл. Встановлено, що *O*-бутил *S*-(6-бензилідентетрагідроімідазо[2,1-*b*]тіазолілметил)карбонотіоат **3d**

в концентрації 31.2 мкг/мл відзначається інгібуючою активністю проти *M. luteus*, а 6-(пропан-2-іліден)-2-тіоціанатометилімідазо[2,1-*b*]тіазолон **4** проявляє інгібуючу дію проти *C. tenuis* вже за концентрації 15.6 мкг/мл.

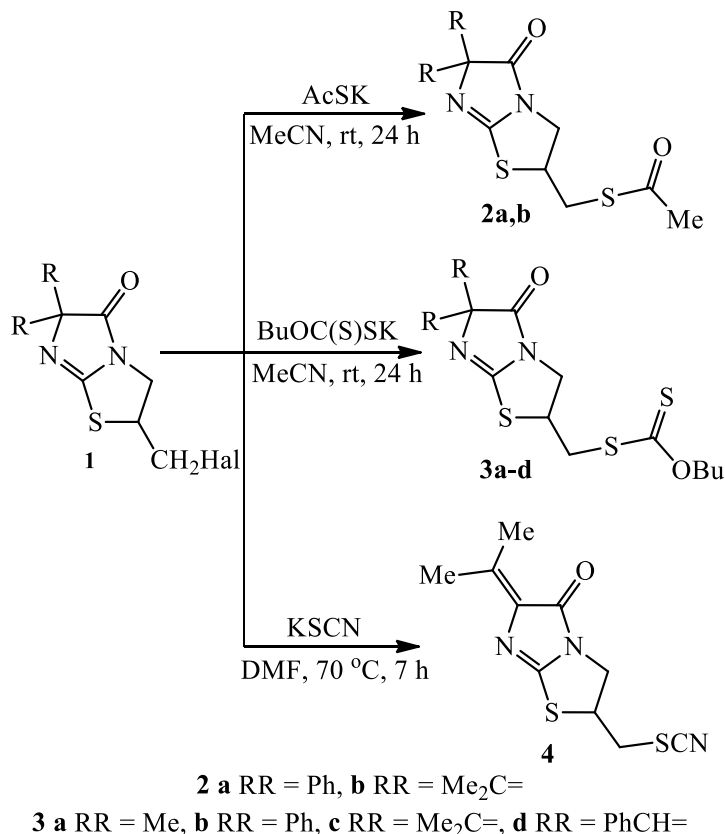


Рис. 1. Загальна схема синтезу сірковмісних 2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*]тіазолів 2-4

Таблиця 1

Бактерицидна та фунгіцидна активності сполук 2-4 методом дифузії речовин в агар (метод А)

Сполука	Концентрація, %	Діаметр зон пригнічення росту мікроорганізмів, мм				
		<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>M. luteus</i>	<i>C. tenuis</i>	<i>Asp. niger</i>
2a	0,5	0	0	12,0	0	0
	0,1	0	0	0	0	0
2b	0,5	0	0	12,0	0	13,0
	0,1	0	0	8,0	0	0
3a	0,5	0	0	0	0	0
	0,1	0	0	0	0	0
3b	0,5	0	0	0	0	0
	0,1	0	0	0	0	0
3c	0,5	0	0	0	0	0
	0,1	0	0	0	0	0
3d	0,5	0	0	0	0	0
	0,1	0	0	0	0	0
4	0,5	0	0	0	0	0
	0,1	0	0	0	0	0
Конт-роль*	0,5	14,0	15,0	18,0	19,0	20,0

* При визначенні антибактеріальної активності як контроль використовували препарат «Ванкоміцин»; при визначенні протигрибкової активності як контроль використовували препарат «Ністатин».

Експериментальна частина

Визначення антимікробної активності сполук 2-4 методом дифузії в агар.

Антимікробну активність сполук вивчали методом дифузії речовин в агар на твердому поживному середовищі (м'ясо-пептонний агар – для бактерій, сусло-агар – для грибів). Мікробне навантаження 10⁹ клітин (спор) на 1 мл. Тривалість інкубації бактерій 24 год при температурі 35 °С, грибів – 48-72 год при 28-30 °С.

У дослідах використовувались наступні тест-культури: бактерії *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium luteum* та гриби *Candida tenuis*, *Aspergillus niger*.

Ступінь активності досліджуваних сполук оцінювали за величиною зон пригнічення росту тест-культур мікроорганізмів згідно параметрів, що наведені в таблиці 3. Повторюваність досліду трикратна.

Визначення мінімальної бактерицидної концентрації (МБцК), мінімальної бактериостатичної концентрації (МБСК), мінімальної фунгіцидної концентрації (МФцК) та мінімальної фунгістатичної концентрації (МФСК) сполук 2-4 методом серійних розведень.

Досліджувану речовину розчиняли у відповідному розчиннику (ДМСО) досягаючи необхідної концентрації.

Визначення МБсК (МФсК). Певний об'єм розчину речовини вносили у поживне середовище (МПБ – м'ясо-пептонний бульйон – для бактерій; неохмелене пивне сусло – для грибів).

У поживне середовище інокували посівний матеріал бактерій або грибів. Засіяні пробірки витримували у термостаті при відповідній температурі (37 °С – для бактерій; 30 °С – для грибів) протягом 24-72 годин.

Результати оцінювали за наявністю чи відсутністю росту мікроорганізмів (за ступенем мікробної мутності поживного середовища).

Визначення МБцК (МФцК) здійснювали наступним чином: з пробірок, в яких розчини середовища виявились візуально прозорими відбирали по 0.02 мл середовища і наносили на стерильне МПА (для бактерій) або СА (для грибів) у стерильних чашках Петрі, які інкубували в термостаті.

Оцінку результатів здійснювали для тест-бактерій через 24 год, для тест-грибів – 48-72 год. За відсутністю росту колоній мікроорганізмів на інкубованих чашках Петрі, визначали мінімальну бактерицидну концентрацію (МБцК) чи мінімальну фунгіцидну концентрацію (МФцК) досліджуваної речовини. Повторюваність досліду трикратна.

Таблиця 2

Показники мінімальної інгібуючої концентрації (МІК) і мінімальної бактерицидної концентрації (МБК) сполук 2-4 методом серійних розведень (метод Б)

Сполука	Культури бактерій									
	<i>E. coli</i>		<i>S. aureus</i>		<i>M. luteus</i>		<i>C. tenuis</i>		<i>Asp. niger</i>	
	МІК, мкг/мл	МБК, мкг/мл	МІК, мкг/мл	МБК, мкг/мл	МІК, мкг/мл	МБК, мкг/мл	МІК, мкг/мл	МБК, мкг/мл	МІК, мкг/мл	МБК, мкг/мл
2a	+	+	+	+	500,0	*	+	+	500,0	*
2b	+	+	+	+	250,0	*	+	+	500,0	*
3a	+	+	+	+	250,0	500,0	+	+	250,0	*
3b	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3c	+	+	+	+	+	+	+	+	500,0	*
3d	+	+	+	+	31,2	*	+	+	+	+
4	+	+	+	+	125,0	250,0	15,6	125,0	125,0	250,0

«+» – в досліджуваних концентраціях біоцидного ефекту не спостерігалось (спостерігався ріст мікроорганізму);

«*» – в досліджуваних концентраціях показники біоцидного ефекту не встановлено.

Таблиця 3

Параметри оцінювання результатів за методом дифузії в агар

№	Діаметр зон затримки росту мікроорганізмів, мм	Ступінь чутливості мікроорганізмів
1.	11 – 15	малочутливий
2.	16 – 25	чутливий
3.	> 25	високочутливий

ЛІТЕРАТУРА:

1. Hecht, D. W. Prevalence of Antibiotic Resistance in Anaerobic Bacteria: Worrying Developments. *Clin. Infect. Dis.* 2004. 39(1). P. 92-97.
2. Kamal, A., Kashi Reddy, M., Viswanath, A. The design and development of imidazothiazole-chalcone derivatives as potential anticancer drugs. *Expert Opin. Drug Discov.* 2013. 8(3). P. 289-304.
3. Fascio, M.L., Errea, M.I., D'Accorso, N.B. Imidazothiazole and related heterocyclic systems. Synthesis, chemical and biological properties. *Eur. J. Med. Chem.* 2015. 90. P. 666-683.
4. Tojo, S., Kohno, T., Tanaka, T., Kamioka, S., Ota, Y., Ishii, T., Kamimoto, K., Asano, S., Isobe Y. Crystal Structures and Structure-Activity Relationships of Imidazothiazole Derivatives as IDO1 Inhibitors. *ACS Med. Chem. Lett.* 2014. 5(10). P. 1119-1123.
5. Saliyeva, L. N., Diachenko, I. V., Vas'kevich, R. I., Slyvka, N. Yu., Vovk, M. V. Imidazothiazoles and their hydrogenated analogs: methods of synthesis and biomedical potential. *Chem. Heterocycl. Comp.* 2020. 56(11). P. 1394-1407.
6. Amarouchi, H., Loiseau, P. R., Bacha, C., Caujolle, R., Payard, M., Loiseau, P. M., Bories, C., Gayral, P. Imidazo[2,1-*b*]thiazoles: analogues du levamisole. *Eur. J. Med. Chem.* 1987. 22. P. 463-466.
7. Liu, K. G., Robichaud, A. J., Bernotas, R. C., Yan, Y., Lo, J. R., Zhang, M.-Y., Hughes, Z. A., Huselton, C., Zhang, G. M., Zhang, J. Y., Kowal, D. M., Smith, D. L., Schechter, L. E., Comery, T. A. 5-Piperazinyl-3-sulfonylindazoles as Potent and Selective 5-Hydroxytryptamine-6 Antagonists. *J. Med. Chem.* 2010. 53. P. 7639-7646.
8. Da Pozzo, E., La Pietra, V., Cosimelli, B., Da Settimo, F., Giacomelli, C., Marinelli, L., Martini, C., Novellino, E., Taliani, S., Greco, G. p53 Functional Inhibitors Behaving Like Pifithrin- β Counteract the Alzheimer Peptide Non- β -amyloid Component Effects in Human SHSY5Y Cells. *ACS Chem. Neurosci.* 2014. 5. P. 390-399.
9. Салієва Л. М., Васькевич Р. І., Сливка Н. Ю., Вовк М. В. Синтез і структурна функціоналізація 6-заміщених 2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазол-5-онів. *Журн. орг. фарм. хім.* 2018. 16(2). С. 31-41.
10. NCCLS, Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests – Fourth Edition: Approved Standards, Document M2-A4, NCCL S, Villanova, PA, 1990.
11. NCCLS, Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Conidium Forming Filamentous Fungi: Proposed Standard, Document M38-P, NCCL S, Wayne, PA, 1998.

REFERENCES:

1. Hecht, D. W. (2004). Prevalence of Antibiotic Resistance in Anaerobic Bacteria: Worrying Developments. *Clin. Infect. Dis.*, 39(1), 92-97 [in English].
2. Kamal, A., Kashi Reddy, M., Viswanath, A. (2013). The design and development of imidazothiazole-chalcone derivatives as potential anticancer drugs. *Expert Opin. Drug Discov.*, 8(3), 289-304 [in English].
3. Fascio, M.L., Errea, M.I., D'Accorso, N.B. (2015). Imidazothiazole and related heterocyclic systems. Synthesis, chemical and biological properties, *Eur. J. Med. Chem.*, 90, 666-683 [in English].
4. Tojo, S., Kohno, T., Tanaka, T., Kamioka, S., Ota, Y., Ishii, T., Kamimoto, K., Asano, S., Isobe Y. (2014). Crystal Structures and Structure-Activity Relationships of Imidazothiazole Derivatives as IDO1 Inhibitors. *ACS Med. Chem. Lett.*, 5(10), 1119-1123 [in English].
5. Saliyeva, L. N., Diachenko, I. V., Vas'kevich, R. I., Slyvka, N. Yu., Vovk, M. V. (2020). Imidazothiazoles and their hydrogenated analogs: methods of synthesis and biomedical potential. *Chem. Heterocycl. Comp.*, 56(11), 1394-1407 [in English].
6. Amarouchi, H., Loiseau, P. R., Bacha, C., Caujolle, R., Payard, M., Loiseau, P. M., Bories, C., Gayral, P. (1987). Imidazo[2,1-*b*]thiazoles: analogues du levamisole. *Eur. J. Med. Chem.*, 22, 463-466 [in French].
7. Liu, K. G., Robichaud, A. J., Bernotas, R. C., Yan, Y., Lo, J. R., Zhang, M.-Y., Hughes, Z. A., Huselton, C., Zhang, G. M., Zhang, J. Y., Kowal, D. M., Smith, D. L., Schechter, L. E., Comery, T. A. (2010). 5-Piperazinyl-3-sulfonylindazoles as Potent and Selective 5-Hydroxytryptamine-6 Antagonists. *J. Med. Chem.*, 53, 7639-7646 [in English].
8. Da Pozzo, E., La Pietra, V., Cosimelli, B., Da Settimo, F., Giacomelli, C., Marinelli, L., Martini, C., Novellino, E., Taliani, S., Greco, G. (2014). p53 Functional Inhibitors Behaving Like Pifithrin- β Counteract the Alzheimer Peptide Non- β -amyloid Component Effects in Human SHSY5Y Cells. *ACS Chem. Neurosci.*, 5, 390-399 [in English].
9. Saliyeva L. M., Vas'kevych R. I., Slyvka N. Yu., Vovk M. V. (2018). Syntez I struktorna funktsionalizatsiia 6-zamishchenykh 2,3-duhidroimidazo[2,1-*b*][1,3]tiazol-5-oniv. [The synthesis and structural functionalization of 6-substituted 2,3-dihydroimidazo[2,1-*b*][1,3]thiazol-5-ones]. *J. Org. Pharm. Chem.*, 54(2), 130-137 [in Ukrainian].
10. NCCLS, Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests – Fourth Edition: Approved Standards, Document M2-A4, NCCL S, Villanova, PA, 1990 [in English].
11. NCCLS, Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Conidium Forming Filamentous Fungi: Proposed Standard, Document M38-P, NCCL S, Wayne, PA, 1998 [in English].

УДК 615.451.1+ 613.49

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-11>

Мар'яна ФЕДОРОВСЬКА

доктор фармацевтичних наук, професор кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0001-6479-6042

Марія ДАНИЛЯК

старший лаборант кафедри хімії, фармацевтичного аналізу та післядипломної освіти, Івано-Франківський національний медичний університет, вул. Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018

ORCID: 0000-0002-7251-8787

Тетяна ВОЛОШЕНЮК

старший викладач кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-1477-941X

Наталія СЛИВКА

кандидат хімічних наук, завідувач кафедри органічної хімії та фармації, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Бібліографічний опис статті: Федоровська, М., Даниляк, М., Волошенюк, Т., Сливка, Н. (2022). Розробка складу емульсійної основи косметичного крему живильної дії. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 97–106, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-11>

РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙНОЇ ОСНОВИ КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ ЖИВИЛЬНОЇ ДІЇ

Косметичні креми (КК) живильної дії є поширеними косметичними засобами. Вони відіграють важливі гігієнічні функції, а саме: доставляють у структури шкіри живильні речовини, виявляють регенерувальні властивості завдяки вмісту біологічно активних речовини (БАР) природного походження, утримують вологу у тканинах і на поверхні шкіри. Емульсійні основи живильних КК у складі олійної фази містять рослинні і тваринні жири й олії, які здатні проникати через шкіру і є активними носіями БАР. У рецептурі КК промислового виготовлення часто використовують компоненти, які не відповідають призначенню засобу чи навіть виявляють шкідливий ефект, такі як вуглеводні, силіконові сполуки, агресивні емульгатори аніонної і катіонної природи, консерванти тощо. Альтернативою КК промислового виробництва можуть бути препарати індивідуального виготовлення у виробничих аптеках з оптимальним складом допоміжних речовин.

У роботі наведено результати експерименту з опрацювання рецептури емульсійної основи живильного КК. Було розроблено 9 разків основ-носіїв живильного КК, у яких поєднували різні комбінації емульгаторів (Nature Mulse, Planta M, Еркалан ПЕГ-75) і загушувачів (натрію альгінат, гуарова камедь, ксантанова камедь). Використовуючи дані органолептичних, фізико-хімічних (колоїдна і термостабільність, рН), фармакотехнологічних (структурна в'язкість, однорідність та розміри дисперсної фази емульсійної системи) і біофармацевтичних досліджень встановлено, що найкращими властивостями характеризувалась емульсійна основа наступного складу: олія мигдалева – 25,0 г, масло каріте – 7,0 г, віск рисових висівок – 3,0 г, емульгатор Planta M – 3,0 г, натрію альгінат – 1,0 г, гліцерин – 5,0 г, вода очищена – до 100,0 г.

Ключові слова: живильний крем, емульсійна основа, фізико-хімічні властивості, фармакотехнологічні властивості, біофармацевтичні дослідження.

Mariana FEDOROVSKA

Doctor of Pharmacy (Dr. habil.), Professor of the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0001-6479-6042

Mariia DANYLIAK

Laboratory assistant of the Department of Chemistry, Pharmaceutical Analysis and Postgraduate Education, Ivano-Frankivsk National Medical University, 2 Galytska str., Ivano-Frankivsk, 43025

ORCID: 0000-0002-7251-8787

Tetiana VOLOSHENIUK

Senior Lecturer of the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1477-941X

Nataliia SLYVKA

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

To cite this article: Fedorovska, M., Danyliak, M., Volosheniuk, T., Slyvka, N. (2022). Rozrobka skladu emulsiinoi osnovy kosmetychnoho kremu zhyvylnoi dii [Development of the emulsion cream base with nutritive properties]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 97–106, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-11>

DEVELOPMENT OF THE EMULSION CREAM BASE WITH NUTRITIVE PROPERTIES

Nutritive cosmetic creams (NCC) are common cosmetic products. They possess the important hygienic functions such as delivering nutrients into the skin, regenerative activity due to biologically active substances (BAS) of natural origin, moisturising of the skin. Emulsion bases of NCCs contain vegetable and animal fats and oils, which are able to penetrate through the skin and are BAS active carriers. Ingredients, such as hydrocarbons, silicone compounds, aggressive emulsifiers of anionic and cationic nature, preservatives etc., which are used in manufactured NCC often do not correspond to the cosmetic purpose or even have harmful effects. An alternative to manufactured NCC can be individually compounded remedies in pharmacies which have the optimal formulations of auxiliary substances.

The article presents the experiment results about development of the emulsion cream base formulation of the NCC. It was worked out 9 samples of NCC bases, which included various combinations of emulsifiers (Nature Mulse, Planta M, Erkalan PEG-75) and thickeners (sodium alginate, guar gum, xanthan gum). Using the data of organoleptic, physical and chemical (colloidal and thermal stability, pH), pharmacotechnological (structural viscosity, homogeneity and dimensions of the dispersed phase of the emulsion system) and biopharmaceutical studies, it was established that the emulsion base with the following composition possessed the best properties: almond oil – 25.0 g, shea butter – 7.0 g, rice bran wax – 3.0 g, Planta M emulsifier – 3.0 g, sodium alginate – 1.0 g, glycerol – 5.0 g, purified water – up to 100.0 g.

Key words: nutritive cream, emulsion base, physical and chemical properties, pharmacotechnological properties, biopharmaceutical research.

Актуальність проблеми. Креми косметичні (КК) є найбільш розповсюдженими косметичними засобами завдяки їх широкому спектру гігієнічної дії, ефективності і позитивним споживчим властивостям. За функціональним призначенням КК поділяють на очищувальні, зволожувальні, захисні, відбілювальні, живильні, для масажу та ін. (Ткаченко, Ланженко, Дец, та ін., 2018; Chauhan, Gupta, 2020). Живильні креми (Nutritive) займають значний сегмент косметичного ринку, оскільки відіграють важливі гігієнічні функції, а саме: насичення структур шкіри вітамінами, мікро-елементами, амінокислотами, пептидами, поліненасиченими жирними кислотами, стеринами, фосо-

фоліпідами та іншими поживними речовинами; стимуляція регенеративних процесів в шкірі за рахунок вмісту біологічно активних речовин (БАР) природного походження; утримання вологи в тканинах і на поверхні шкіри (Башура, Тихонов, Россіхін, та ін., 2017).

Залежно від віку людини, типу шкіри обличчя, фізіологічному стану шкіри живильні КК можуть відрізняються за складом основноносія. Основи живильних КК для сухої, в'ялої шкіри є, переважно, емульсійними типу вода/олія з високим вмістом гідрофобних компонентів, рідше – повністю жирові; для нормальної шкіри – емульсійні основи типу олія/вода чи вода/олія/вода (множинна емульсія) з достатньо

високим вмістом олійної фази (в межах 30-50 %), рідше – емульсійні типу вода/олія; для жирної шкіри – основи емульсійні типу олія/вода чи множинні емульсії з незначним вмістом жирів (в межах 10-20 %), паралельно використовуються гідрофільні КК чи гелі (Chauhan, Gupta, 2020).

Спільною ознакою всіх живильних КК кремів є наявність у складі олійної фази твердих жирів і рідких олій природного рослинного чи тваринного походження, які надають здатності основі проникати через структури шкіри і бути носієм живильних активних речовин. Проте в рецептурі КК промислового виготовлення часто використовують компоненти, які не відповідають призначенню засобу чи навіть виявляють шкідливий ефект. До таких субстанцій належать вуглеводні (вазелинове масло, парфумерна олія, вазелін, церезин, парафін та ін.). Хоча вуглеводні добре змішуються у всіх співвідношеннях з природними жирами і восками, володіють належними формоутворювальними властивостями, вони не всмоктуються шкірою, тому не можуть бути носіями БАР і, як наслідок, не відповідають призначенню живильного КК. Додатково ці речовини створюють на поверхні тонку плівку, яка перешкоджає фізіологічним процесам дихання і екскреції в шкірі, що є шкідливим при тривалому зовнішньому застосуванні (Перцев, 2007).

Також у складі КК промислового виробництва використовують (Пелех, Білоус, 2018; Ткаченко, Ланженко, Дец, та ін., 2018):

- синтетичні агресивні емульгатори (натрію стеарат та інші мила одновалентних металів чи амінів, натрію лаурилсульфат, поліоксиетиленмонолаурат, полісорбати та ін.), які можуть руйнувати епідермальний бар'єр шкіри, виявляти подразнювальну дію;

- кремнійорганічні полімери чи силіконові сполуки (диметікон, циклометікон та ін.) – хоча надають живильним КК додаткових позитивних споживчих властивостей, проте не всмоктуються шкірою і не є носіями БАР;

- синтетичні консерванти (парабени, четвертинні амонієві сполуки, донори формальдегіду, хлоркрезол та ін.), які здатні подразнювати шкіру, впливати на гормональний стан організму, виявляти алергізувальну, канцерогенну дію; надавати КК вираженого антимікробного ефекту, що не передбачено функціональним

призначенням засобу, оскільки він матиме негативний вплив на природню мікрофлору шкіри;

- синтетичні барвники і ароматизатори тощо.

Альтернативою КК промислового виробництва можуть бути препарати індивідуального чи малосерійного виготовлення у виробничих аптеках чи косметичних кабінетах. У складі живильних КК застосовують природні рослинні і тваринні олії, жири, воски; відсутні (чи незначний вміст) консерванти та інші шкідливі речовини; має місце індивідуальний підхід до підбору компонентів залежновід віку, типу і фізіологічного стану шкіри.

Отже, актуальним є розробка складу і дослідження органолептичних, фізико-хімічних, фармакотехнологічних властивостей живильного КК з регенерувальними властивостями на основі природніх ліпідів, «м'яких» емульгаторів і БАР сухого екстракту нагідок лікарських.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Питання розробки складу і дослідження КК і дерматологічних лікарських засобів описано у (Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М., 2020; Пелех І.Р., Білоус С.Б., 2018; Путятін Б.В., Левчук І.В., 2020; Тарасенко В.О., Давтян Л.Л., Mank V., Polonska T., 2016).

Мета роботи – опрацювання складу емульсійної основи живильного крему і вивчення її органолептичних, фізико-хімічних, фармакотехнологічних, біофармацевтичних властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження.

На першому етапі дослідження було опрацьовано рецептури емульсійних основ КК, які повинні володіти низкою властивостей, а саме: легко вивільняти БАР і проникати в глибші шари шкіри; рівномірно розподіляти БАР як гідрофобної так і гідрофільної природи; не руйнувати шкірно-епідермальний бар'єр; не перешкоджати шкірному газообміну та екскреції; проявляти зволожуючу, пом'якшуючу та живильну дію; володіти необхідними структурно-механічними властивостями (в'язкість, намащувальна здатність) (Єфімова, Пилипенко, 2020; Перцев, 2007).

У складі гідрофобної фази основи живильного крему використовують тваринні і рослинні жири, воски, жирні спирти й кислоти, рослинні олії, які забезпечують penetрацію БАР через структури шкіри, а також виконують формоутворювальну функцію, обумовлюють споживчі характеристики косметичного засобу

(Ткаченко, Ланженко, Дец, та ін., 2018; Тихонов, 2003; Hung, 2007; Mank, Polonska, 2016). В якості базової рослинної олія ми обрали мигдалеву, яка широко використовується у фармацевції і косметичці як формоутворювач для мазей і кремів. Додатково, за рахунок вмісту жиророзчинних вітамінів олія володіє позитивними властивостями на шкіру: вітамін Е (природний антиоксидант) уповільнює старіння клітин і усуває запальні процеси; вітамін F нормалізує функцію сальних залоз і попереджає розширення вивідних проток (Blaak, Staib, 2022). Для створення належної в'язкості, а також забезпечення вологоутримувальної функції крему, до складу рецептури ввели рослинний віск рисових висівків. Для підсилення живильної функції основи, ми обрали рослинне тверде масло каріте (масло ши) (Basarkar, 2013; Thioune, 2019; Rajeev, Khirsagar, 2017).

Сумарна концентрація компонентів олійної фази емульсійної системи становить 35%, що відповідає призначенню живильних КК, які повинні вміщувати достатньо високий вміст гідрофобних речовин. Надто високу кількість ліпідів не доцільно застосовувати, оскільки вони: погіршують споживчі характеристики крему (надають маслянистість, липкість); повністю не всмоктуються шкірою, що фізіологічно і економічно не обгрунтовано; вимагають підвищення кількості емульгаторів, що негативно позначатиметься на шкірі при тривалому застосуванні.

Для отримання стабільної емульсійної основи ми обрали емульгатори, які одержують з природної сировини методом напівсинтезу

і належать до відносно безпечних речовин. Емульгатор NatureMulse – суміш ПАР: гліцерил стеарат і цетарилловий спирт – емульгатори 2-го роду; натрію стеарил лактилат – емульгатор 1-го роду. Емульгатор Planta M (полігліцерил-3 метилглюкози дистеарат) – емульгатор рослинного походження, який здатен стабілізувати емульсію як 1-го так і 2-го роду (в залежності від технологічних прийомів приготування). Емульгатор Еркалан ПЕГ-75 (сухий ланолін) – поліетиленгліколевий ефір ланоліну (Путятін, Левчук, 2020).

Для підвищення стабільності емульсій і одночасного зменшення концентрації емульгаторів (не вище 3%) були обрані гелеутворювачі рослинного (натрію альгінат, гуарова камедь) і біотехнологічного (ксантанова камедь) походження в концентрації 1 %. Використовуючи різну комбінацію стабілізаторів-емульгаторів і стабілізаторів-загущувачів, було складено 9 рецептур основ розроблюваного живильного КК, які наведено в табл. 1.

Приготування основ. Основи готували методом зворотного емульгування: до сплаву жирів й емульгатора частинами додавали дисперсійне водне середовище. Для прискорення розчинення гелеутворювачів, їх диспергували із гліцерином. Для кожного із 9 складів основ готували по 5 зразків (n = 5).

Приготовлені основи оцінювали за органолептичними властивостями, визначали однорідність, колоїдну і термостабільність, рН, структурну в'язкість, дисперсність часток олійної фази теми і ступінь пенетрації БАР сухого екстракту нагідок лікарських в агаровий гель.

Таблиця 1

Рецептура модельних основ живильного КК (на 100 г)

№ за/п	Назва компонента	Кількість компонентів, г								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Олія мигдалева	25	25	25	25	25	25	25	25	25
2	Nature Mulse	3	3	3						
3	Planta M				3	3	3			
4	Еркалан ПЕГ-75							3	3	3
5	Гуарова камедь	1			1			1		
6	Ксантанова камедь		1			1			1	
7	Натрію альгінат			1			1			1
8	Масло каріте	7	7	7	7	7	7	7	7	7
9	Віск рисових висівків	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10	Гліцерин	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11	Вода очищена	до 100	до 100	до 100	до 100	до 100	до 100	до 100	до 100	до 100

Визначення однорідності. Визначення однорідності зразків основ проводили за методикою, наведеною в ДФУ 1.0, ст. 511. Брали чотири проби кожного зразка по (20 – 30) мг кожна, розміщували по дві проби на предметне скло, накривали другим предметним склом і міцно притискали до утворення плям діаметром близько 2 см. Отримані проби розглядали неозброєним оком (на відстані близько 30 см від очей). Зразок вважали однорідним, якщо у всіх чотирьох пробах не виявлялися видимі частки, сторонні вclusions і ознаки фізичної нестабільності: агрегація і коалесценція часток, коагуляція. Якщо одна з проб не витримувала випробування, визначення проводили додатково ще на восьми пробах, при цьому всі вісім проб мали витримувати тест (Тарасенко, Давтян, 2018).

Визначення термостабільності. В експерименті для кожної основи використовували по 5 скляних пробірок діаметром 15 мм і висотою 150 мм, які наповнювали 8–10 мл досліджуваним зразком і поміщали їх у термостат марки ТС-80М-2 з температурою $42,5 \pm 2,5$ °С на 7 діб. Після цього зразки переносили на 7 діб у холодильник за температури 8 – 12 °С, потім протягом 3 діб витримували їх за кімнатної температури. Стабільність визначали візуально: якщо в жодній пробірці не спостерігали розшарування, то зразок уважали стабільним (Тарасенко, Давтян, 2018).

Визначення колоїдної стабільності. Пробірки (по 5 пробірок для кожного зразка основи) наповнювали на 2/3 об'єму (приблизно 9 г) досліджуваними зразками (так, щоб маси пробірок зі зразками не відрізнялись більше ніж на 0,02 г) і зважували з точністю до 0,01 г. Потім пробірки поміщали у водяну баню за температури $42,5 \pm 2,5$ °С на 20 хв, тоді насухо витирали із зовнішнього боку, розміщували у гнізда центрифуги і центрифугували протягом 5 хв зі швидкістю 6000 об/хв. Стабільність визначали візуально. Зразки вважали стабільними, якщо після центрифугування у пробірках не було розшарування. Якщо хоча б в одній із пробірок спостерігали розшарування зразка або виділення осаду, аналіз проводили повторно з новими порціями. Якщо при повторному тесті виявляли хоча б одну пробірку із розшаруванням, зразок вважали нестабільним (Тарасенко, Давтян, 2018).

Потенціометричне визначення рН. Рівень рН досліджуваних зразків визначали за допомогою приладу «рН-150 МИ» (ДФУ 2 вид., том 1, п. 2.2.3) (Державна Фармакопея України, 2015). В якості буферних розчинів слугували 0,05 М розчин калію гідрофталату (рН = 4.00 – 4.02) і суміш розчинів 0,0087 М розчин калію дигідрофосфату і 0,0303 М розчин натрію гідрофосфату (рН = 7,39 – 7,45). Прилад «рН-150 МИ» відтворює значення рН до 0,05 одиниць, наявна функція стандартизації шкали рН, корекції потенціалу і регулювання значень рН залежно від температури. Перед проведенням експериментальних досліджень проводили калібрування приладу відповідно до інструкції виробника і вимог ДФУ 2.0. Всі вимірювання рН проводили за однакових температур в інтервалі від 20 до 25 °С. Для дослідження виготовляли 10 % водні суміші експериментальних зразків основ (n = 5). Для цього відважували 5,0 г зразка, поміщали у конічну колбу на 100 мл, додавали 50 мл води очищеної, перемішували до отримання однорідної рідини протягом 5 – 10 хв.

Вимірювання структурної в'язкості модельних зразків основ проводили на ротаційному віскозиметрі “Myr 3000 V2R” (Viscotech, Іспанія) за температури $20 \pm 0,1$ °С. Температуру вимірювали лабораторним термометром з ціною поділки від 0,1 °С. до 0,5 °С. Наважку зразка (50,0 г) поміщали в камеру й опускали туди шпindel SC4-21. Після цього надавали шпindelю руху з швидкістю деформації 20 об/хв й фіксували показники віскозиметра (ДФУ 2 вид., том 1., 2.2.10) (Державна Фармакопея України, 2015).

Дисперсність часток олійної фази емульсійної системи проводили за допомогою електронного мікроскопа «Delta Optical Genetic Pro» з вмонтованою камерою (об'єктив 40/0,65 160/0.17; окуляр WF 10×/18) (ДФУ 2 вид., том 1., 2.9.37) (Державна Фармакопея України, 2015). Із середньої проби приготує емульсійних основ брали наважку 0,05 г і переносили на предметне скло. Тоді поміщали над водяною банею до розплавлення основи, додавали краплю 0,15 % розчину метиленового синього і перемішували. Пробу накривали покривним склом, фіксували його шляхом легкого натискання, тоді розглядали під мікроскопом і фотографували.

Визначення ефективності вивільнення БАР екстракту нагідок лікарських основами проводили біофармацевтичним методом дифузії в агар. Для цього готували 4 основи (№ 1, 3, 4, 6) з 5% вмістом календули екстракту сухого. У 12 чашок Петрі (по 3 чашки для кожного зразка) з підготовленим 2 % агаровим гелем вносили по 0,5 г зразка (по 3 проби в кожену чашку). Чашки ставили в термостат на 30 хв при температурі 37 °С. Діючі речовини екстракту вивільнялися з основи і взаємодіяли з реактивом (10 % розчин NaOH), внаслідок чого утворювалися забарвлені зони (жовто-оранжеве забарвлення). Кожні 30 хвилин лінійкою проводилися вимірювання діаметрів забарвлених зон. Розмір діаметру забарвлених зон, що наростає в процесі дослідження, свідчить про швидкість penetрації та ефективність вивільнення основою БАР (Тихонов, 2003).

Результати дослідження та їх обговорення. За зовнішнім виглядом всі основи були однорідні, білого кольору із жовтуватим відтінком, ледь специфічного запаху. Для виявлення здатності емульсійних носіїв протидіяти руйнуванню під впливом високих чи низьких температур, а також механічних чинників, було здійснено визначення їх колоїдної і термостабільності. Результати дослідження свідчать (табл. 2), що основи, які містили емульгатор еркалан ПЕГ-75 (№ 7-9) не витримали випробу-

вання. Інші носії з емульгаторами Nature Mulse і Planta M володіли належними термо- та колоїдною стабільністю.

Важливим показником якості засобів для нашкірного застосування є показник рН. Поверхня шкіри людини має слабокисле рН в межах 4,5-5,5. Такі фізіологічні властивості запобігають розвитку патогенних мікроорганізмів і підтримують життєздатність корисної мікрофлори на поверхні шкіри. Тому косметичні засоби повинні характеризуватись значеннями рН у межах фізіологічної норми – не більше 8 (Перцев, 2007).

В'язкість косметичних засобів з пружно-пластичним дисперсійним середовищем – вагомий показник, що впливає на споживчі характеристики продукту, а саме якість намащування, відчуття стягнутості й липкості на шкірі, зручність витискування з пакування та ін. Показник в'язкості для кремів за стандартних умов (20 об/хв., 20 °С) повинен бути в межах 5000-20000 мПа·с (Перцев, 2007; Chauhan, Gupta, 2020).

Результати визначення рН і структурної в'язкості основ КК наведено у таблиці 3. Всі зразки характеризувались значенням рН, що відповідали вимогам до засобів для дерматологічного застосування, і були в межах від 6,3 до 7,1. Для основи № 6 показник рН 6,3 був найближчим до показника поверхні шкіри 4,5-5,5.

Таблиця 2

Показники колоїдної та термостабільності досліджуваних основ

Кремові основи, №	Колоїдна стабільність		Термостабільність	
	Візуальне спостереження	Кремаж, мл	Візуальне спостереження	Кремаж, мл
1	стабільна	0	стабільна	0
2	стабільна	0	стабільна	0
3	стабільна	0	стабільна	0
4	стабільна	0	стабільна	0
5	стабільна	0	стабільна	0
6	стабільна	0	стабільна	0
7	нестабільна	0,3	нестабільна	0,2
8	нестабільна	0,25	нестабільна	0,08
9	нестабільна	0,1	нестабільна	0,05

Таблиця 3

Показники рН і в'язкості кремових основ

Параметр визначення	Кремові основи					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
рН	6,8±0,01	6,7±0,03	7,1±0,03	6,6±0,04	6,5±0,01	6,3±0,02
В'язкість, мПа·с (20 об/хв., 20 °С)	17500 ± 5,5	21000 ± 6,0	1165 ± 4,0	16650 ± 8,0	20300 ± 10,0	9100 ± 8,0

Структурна в'язкість основ (№ 2 і 5) із гелеутворювачем ксантановою камеддю була вищою за 20000 мПа·с. Ці основи за органолептичними показниками були надто густими, нерівномірно намащувались на шкірі, надавали відчуття липкості. Відповідно ці зразки були вилучені з наступних випробувань. Основи із загущувачем натрію альгінатом характеризувались в'язкістю 9100 мПа·с (№ 6) і 11650 мПа·с (№ 3) і переважали інші носії за органолептичними відчуттями.

Отже, в наступному експерименті були використані чотири основи КК (№ 1, 3, 4, 6), які мали переваги перед вилученими зразками за фізико-хімічними і фармакотехнологічними показниками.

При проведенні мікроскопічних досліджень (рис. 1) виявили, що зразки № 1 і № 4 (загущувач гуарова камідь) є неоднорідними за дисперсністю, оскільки значний відсоток стано-

вили великі фракції (7-8 мкм). Зразки № 3 і № 6 (загущувач натрію альгінат) характеризуються меншими розмірами і розбіжностями в діаметрі частинок олії. Найменший середній розмір (2,6 мкм) і однорідність часток дисперсної фази характерні для зразок № 6 (емульгатор Planta M).

Важливим показником якості основи є її здатність легко й швидко вивільняти БАР. Інтенсивність вивільнення активного інгредієнта впливає на час настання і тривалість терапевтичного ефекту, а також обґрунтовує доцільність зменшення кількості активного інгредієнту, у зв'язку з чим знижується можливість виникнення побічних ускладнень і вартість кінцевого продукту. Для вивчення впливу виду основи КК на ефективність вивільнення БАР сухого екстракту нагідок лікарських застосовували метод «агарових пластинок» *in vitro*.

Результати біофармацевтичних випробувань, які наведено на рис. 2, показали, що досліджу-

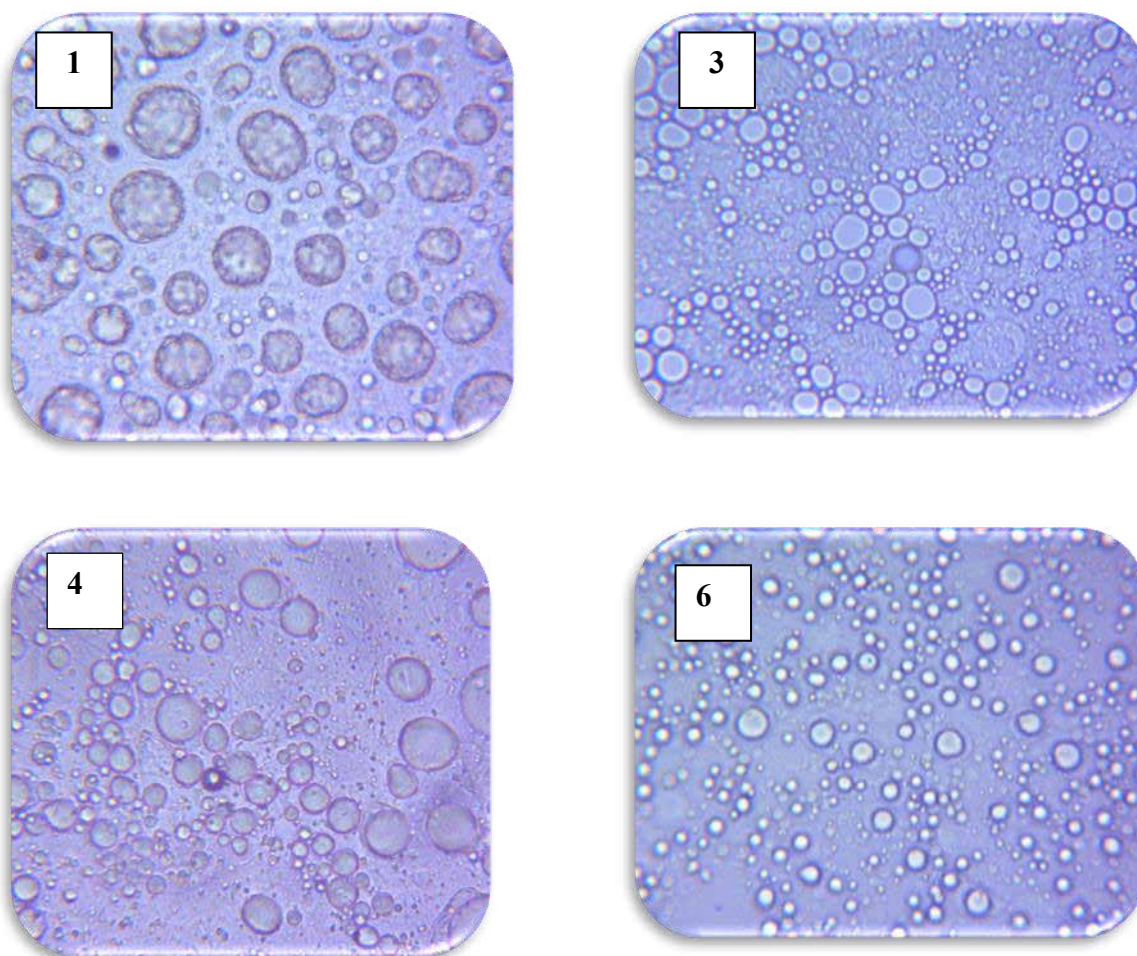


Рис. 1. Дисперсність емульсійних основ: основа № 1 (гуарова камедь, Nature Mulse); основа № 3 (Na альгінат, Nature Mulse); основа № 4 (гуарова камедь, Planta M); основа № 6 (Na альгінат, Planta M)

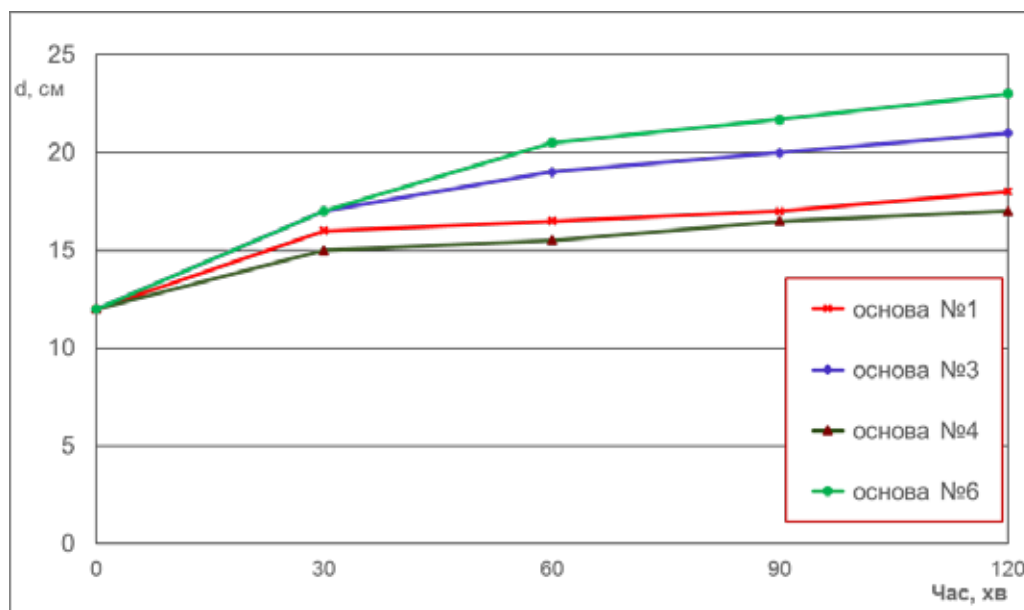


Рис. 2. Визначення ступеня вивільнення флавоноїдів сухого екстракту нагідок лікарських з емульсійних основ КК

вані зразки по різному вивільняють БАР. Протягом всього терміну спостереження найменші діаметри забарвлених зон, а саме 17 і 20,5 мм, спостерігалися в основах на № 1 і № 3 відповідно. Діаметр забарвлених зон від початку та до кінця вимірювань змінився для зразка № 1 з 16 мм до 17 мм, а для основи № 3 – від 16,5 мм до 20,5 мм. Для емульсійної основи № 4 діаметр забарвленої зони змінився від 17 мм (30 хв витримування у термостаті) до 20,7 мм (максимальний термін дослідження), що свідчить про середню здатність вивільняти носієм БАР. Основа № 6 з показниками діаметру від 18 мм до 23 мм характеризується найвищою пенетровальною здатністю.

Отже, проведений комплекс органолептичних фізико-хімічних (колоїдна і термостабільність, рН) фармакотехнологічних (структурна в'язкість, дисперсність частинок олійної фази) і біофармацевтичних досліджень дозволив запропонувати кінцеву рецептуру основи-носія живильного КК (на 100 г):

Олія мигдалева – 25,0;

Масло каріте – 7,0;

Віск рисових висівок – 3,0;

Емульгатор Planta M – 3,0;

Натрію альгінат – 1,0;

Гліцерин – 5,0;

Вода очищена до 100,0.

Висновки:

1. Теоретично опрацьовано склад і виготовлено 9 разків основ-носіїв живильного КК, що вміщують: олійна фаза – олія мигдалева, масло каріте, віск рисових висівок; водна фаза – гліцерин, вода очищена; стабілізатори – різні комбінації емульгаторів (Nature Mulse, Planta M, Еркалан ПЕГ-75) і загущувачів (натрію альгінат, гуарова камедь, ксантанова камедь).

2. На основі проведених органолептичних, фізико-хімічних, фармакотехнологічних і біофармацевтичних досліджень опрацьовано оптимальний склад основи-носія живильного КК, а саме: олія мигдалева – 25,0 г, масло каріте – 7,0 г, віск рисових висівок – 3,0 г, емульгатор Planta M – 3,0 г, натрію альгінат – 1,0 г, гліцерин – 5,0 г, вода очищена – до 100,0 г.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Державна Фармакопея України / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів» 2-е вид. Х.: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. Т. 1. 1128 с., Т. 2. 724 с., Т. 3. 732 с.

2. Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М. Розробка складу та визначення фізико-хімічних показників антицелюлітного емульсійного крему з кофеїном / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2020. Том 31 (70) Ч. 2 № 2. С. 118-121.

3. Пелех І. Р., Білоус С. Б. Сучасні підходи до застосування емульгаторів та консервантів у складі дерматологічних лікарських засобів / Фармацевтичний часопис. 2018. № 3. С. 52-57.
4. Перцев І.М. Фармацевтичні та медико-біологічні аспекти ліків. Навчальний посібник / І.М. Перцев, О.Х. Пімінов, М.М. Слободянюк; за ред. І.М. Перцева. Видання друге, перероблене та доповнене. Вінниця: Нова книга, 2007. 728 с.
5. Путятін Б.В., Левчук І.В. Аспекти вибору емульгаторів для косметичних засобів у вигляді спреї-піни / Інтегровані технології та енергозбереження 2020. № 3. С. 63-74.
6. Тарасенко В. О., Давтян Л. Л. Дослідження фізико-хімічних показників крему комплексної дії для лікування ранового процесу поранених військовослужбовців / *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*. 2018. Т. 11, № 1(26). С. 69-73.
7. Технологічні аспекти виробництва косметичних емульсій і кремів / Н. А. Ткаченко, Л. О. Ланженко, Н. О. Дец, та ін. : ОНАХТ, 2018. 151 с.
8. Технологія косметичних засобів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / О. Г. Башура, О. І. Тихонов, В. В. Россіхін, та ін.; за ред. О. Г. Башури і О. І. Тихонова. Х.: НФаУ «Оригінал», 2017. 552 с.
9. Тихонов О.І. Біофармація: підручник / О.І. Тихонов, Т.Г. Ярних, І.А. Зупанець [та ін.]; за ред. О.І. Тихонова. Харків: вид-во НФаУ «Золоті сторінки», 2003. 262 с.
10. Basarkar UG. Rice bran wax – a novel excipient for pharmaceutical topical dosage forms / *International Journal of Bioassays*. 2013. Vol. 02 (05). P. 828-832.
11. Blaak J, Staib P. An updated review on efficacy and benefits of sweet almond, evening primrose and jojoba oils in skin care applications. *Int J Cosmet Sci*. 2022. Vol. 44. P. 1–9.
12. Chauhan L., Gupta S. Creams: A review on classification, preparation methods, evaluation and its applications. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 2020. Vol. 10 (5). P. 281-289.
13. Hung C. F. The effect of oil components on the physicochemical properties and drug delivery of emulsions: tocol emulsion versus lipid emulsion / *Int. J. Pharm*. 2007. Vol. 35, № 1-2. P. 193-202.
14. Mank V., Polonska T. Use of natural oils as bioactive ingredients of cosmetic products / *Ukrainian Food Journal*. 2016. Vol. 5. Iss. 2. P. 281-289.
15. Thioune O et al., Focus on the use of Shea butter as excipient for ointment / *American Journal of PharmTech Research*. 2019. Vol.9(06). P. 254-266.
16. Rajeev Malviya, M.D. Khirsagar, A.V. Chandewar. Studies on Rice bran wax as modified pharmaceutical excipient / *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*. 2017. Vol. 8 (3). P. 15-22.

REFERENCES:

1. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy / Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyi tsentr yakosti likarskykh zasobiv» 2-e vyd. Kh.: Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovyi farmakopeinyi tsentr yakosti likarskykh zasobiv», 2015. Т. 1. 1128 s., Т. 2. 724 s., Т. 3. 732 s.
2. Yefimova V.H., Pylypenko T.M. Rozrobka skladu ta vyznachennia fizyko-khimichnykh pokaznykiv antytseliulitnoho emulsiinoho kremu z kofeinom / *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky*. 2020. Tom 31 (70) Ch. 2 № 2. S.118-121.
3. Pelekh I. R., Bilous S. B. Suchasni pidkhody do zastosuvannia emulhatoriv ta konservantiv u skladi dermatolohichnykh likarskykh zasobiv / *Farmatsevtichnyi chasopys*. 2018. № 3. S. 52-57.
4. Pertsev I.M. Farmatsevtichni ta medyko-biolohichni aspekty likiv. Navchalnyi posibnyk / I.M. Pertsev, O.Kh. Piminov, M.M. Slobodianiuk; za red. I.M. Pertseva. Vydannia druhe, pereroblene ta dopovnene. Vinnytsia: Nova knyha, 2007. 728 s.
5. Putiatin B.V., Levchuk I.V. Aspekty vyboru emulhatoriv dlia kosmetychnykh zasobiv u vyhliadi sprej-piny / *Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia* 2020. № 3. S.63-74.
6. Tarasenko V. O., Davtian L. L. Doslidzhennia fizyko-khimichnykh pokaznykiv kremu kompleksnoi dii dlia likuvannia ranovoho protsesu poranenykh viiskovoslužbovtiv / *Aktualni pytannia farmatsevtichnoi i medychnoi nauky ta praktyky*. 2018. Т. 11, № 1(26). С. 69-73.
7. Tekhnolohichni aspekty vyrobnytstva kosmetychnykh emulsi i kremiv / N. A. Tkachenko, L. O. Lanzhenko, N. O. Dets, ta in. : ONAKhT, 2018. 151 s.
8. Tekhnolohiia kosmetychnykh zasobiv: pidruchnyk dlia stud. vyshch. navch. zakladiv / O. H. Bashura, O. I. Tykhonov, V. V. Rossikhin, ta in.; za red. O. H. Bashury i O. I. Tykhonova. Kh.: NFaU «Oryhinal», 2017. 552 s.
9. Tykhonov O.I. Biofarmatsiia: pidruchnyk / O.I. Tykhonov, T.H. Yarnykh, I.A. Zupanets [ta in.]; za red. O.I. Tykhonova. Kharkiv: vyd-vo NFAU «Zoloti storinky», 2003. 262 s.
10. Basarkar UG. Rice bran wax – a novel excipient for pharmaceutical topical dosage forms / *International Journal of Bioassays*. 2013. Vol. 02 (05). P. 828-832.

11. Blaak J, Staib P. An updated review on efficacy and benefits of sweet almond, evening primrose and jojoba oils in skin care applications. *Int J Cosmet Sci.* 2022. Vol. 44. P. 1–9.
12. Chauhan L., Gupta S. Creams: A review on classification, preparation methods, evaluation and its applications. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics.* 2020. Vol. 10 (5). P. 281-289.
13. Hung C. F. The effect of oil components on the physicochemical properties and drug delivery of emulsions: tocol emulsion versus lipid emulsion / *Int. J. Pharm.* 2007. Vol. 35, № 1-2. P. 193-202.
14. Mank V., Polonska T. Use of natural oils as bioactive ingredients of cosmetic products / *Ukrainian Food Journal.* 2016. Vol. 5. Iss. 2. P. 281-289.
15. Thioune O et al., Focus on the use of Shea butter as excipient for ointment / *American Journal of PharmTech Research.* 2019. Vol.9(06). P. 254-266.
16. Rajeev Malviya, M.D. Khirsagar, A.V. Chandewar. Studies on Rice bran wax as modified pharmaceutical excipient / *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives.* 2017. Vol. 8 (3). P. 15-22.

УДК 556.55:502.211(477.82-35)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-12>

Василь ФЕСЮК

доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри фізичної географії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

ORCID: 0000-0003-3954-9917

Діана ЯРМОЛЮК

здобувач другого рівня вищої освіти, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

Бібліографічний опис статті: Фесюк, В., Ярмолук, Д. (2022). Озера Турійської територіальної громади як центральний об'єкт перспективного регіонального ландшафтного парку «Турійське поозер'я». *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 107–113, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-12>

ОЗЕРА ТУРІЙСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ЯК ЦЕНТРАЛЬНИЙ ОБ'ЄКТ ПЕРСПЕКТИВНОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «ТУРІЙСЬКЕ ПООЗЕР'Я»

Метою статті є визначення ролі і значення озер Турійської територіальної громади для організації перспективного регіонального ландшафтного парку «Турійське поозер'я». Для досягнення мети потрібно оцінити їх гідроекологічний стан і можливості рекреаційного використання.

Методологічною основою роботи є напрацювання українських та зарубіжних вчених у галузі лімнології, гідрології, гідрохімії, геокології. Застосовані методи: аналіз гідрометричних характеристик озер, аналіз гідрологічного режиму озер, екологічна оцінка якості води, геокологічна оцінка стану водозбору озер, гідроекологічна оцінка сучасного стану озер, оцінка евтрофікації озер методами дистанційного зондування Землі.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що у статті обґрунтовано роль і значення озер Турійської територіальної громади для організації перспективного регіонального ландшафтного парку (РЛП) «Турійське поозер'я», оцінено їх гідроекологічний стан, рівень евтрофікованості, можливості рекреаційного використання.

Висновки і перспективи досліджень: Україна ратифікувала міжнародні угоди, що визначають високі вимоги до рівня заповідності її території. Для досягнення цього рівня необхідно проводити пошук шляхів створення нових та розширення мережі існуючих об'єктів і територій ПЗФ. Одним із таких шляхів є створення регіональних ландшафтних парків. Організація їх дозволить не лише розширити мережу ПЗФ, розвинути екомережу, але й забезпечити рекреаційні потреби населення. При створенні РЛП особливо важливим ресурсом є озеро, оскільки їх наявність суттєво підвищує атрактивність майбутнього парку для рекреантів. Прикладом РЛП, сформованого для раціонального використання та охорони озер, є перспективний РЛП «Турійське поозер'я».

Ключові слова: озеро, лімносистема, гідроекологічний стан озера, регіональний ландшафтний парк, територіальна громада.

Vasyl FESYUK

Doctor of Geographical Sciences, professor, Head of Department of Physical Geography, Lesia Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-3954-9917

Diana YARMOLYUK

Second-level graduate of higher education, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

To cite this article: Fesyuk, V., Yarmolyuk, D. (2022). Oзера Turiiskoi terytorialnoi hromady yak tsentralnyi ob'iekt perspektyvnoho rehionalnoho landshafthnoho parku «Turiiske poozeria». [The lakes of the Turiysk territorial community as the central object of the prospective regional landscape park "Turiysk lakes"]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 107–113, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-12>

THE LAKES OF THE TURIYSK TERRITORIAL COMMUNITY AS THE CENTRAL OBJECT OF THE PROSPECTIVE REGIONAL LANDSCAPE PARK "TURIYSK LAKES"

The purpose of the article is to determine the role and importance of the Turiysk territorial community lakes for the organization of a promising regional landscape park "Turiysk lakes". To achieve the goal, it is necessary to evaluate their hydroecological state and the possibility of recreational use.

The methodological basis of work is the development of Ukrainian and foreign scientists in the field of limnology, hydroecology, hydrochemistry, geoecology. Methods used: analysis of hydrometric characteristics of lakes, analysis of the hydrological regime of lakes, ecological assessment of water quality, geoecological assessment of the state lakes water intake, hydroecological evaluation of the current state of lakes, evaluation of eutrophication of lakes by methods of remote sensing.

The scientific novelty of the work is that the article substantiates the role and importance of the Turiysk territorial community lakes for the organization promising regional landscape park (RLP) "Turiysk lakes", evaluated their hydroecological state, level of eutrophication, possibility of recreational use.

Conclusions and prospects of research: Ukraine ratified international agreements that determine high requirements for the level of conservation of its territory. To achieve this level, necessary to search for ways to create new and expand the network of existing environmental objects and territories. One of these ways is the creation of regional landscape parks. Organizing them will allow to expand the nature reserve network, develop an eco-network and provide recreational needs of the population. Lakes are a particularly important resource to create a RLP. Their presence significantly increases the attractiveness of the future park for recreants. An example of a RLP formed for the rational use and protection of lakes is the promising RLP "Turiysk lakes".

Key words: lake, limnological system, hydroecological condition of the lake, regional landscape park, territorial community.

Актуальність проблеми. Пріоритетом зовнішньої політики України є прагнення до інтеграції з ЄС. Проте там діють досить жорсткі природоохоронні вимоги, котрим Україна поки що не зовсім відповідає. Коефіцієнт заповідності України – 6,77%, Волинської області – 10,92%. Європейські вимоги – понад 15%. Державною стратегією регіонального розвитку на період до 2020 року, затвердженою постановою КМУ № 385 від 06.08.2014 р., було визначено, що площа земель ПЗФ Волинської області станом на 1.01.2020 р. повинна складати 469355,2 га або 23,3% території. Проте реально вона більш ніж удвічі менша. Вся територія нашої держави інтенсивно використовується в господарстві. Земельні ресурси знаходяться у приватній власності чи оренді, водні об'єкти та лісові масиви, значною мірою, вже охоплені природно-заповідним режимом. Як же досягти високих європейських вимог стосовно коефіцієнта заповідності території? Де шукати просторовий резерв для створення нових та розширення існуючих об'єктів і територій ПЗФ? Один із перспективних шляхів такого розширення – максимально широко створювати регіональні ландшафтні парки (РЛП). Згідно ст. 23 ЗУ «Про природно-заповідний фонд», регіональні ландшафтні парки є природоохоронними рекреаційними установами місцевого чи регіонального значення, що створюються з метою збереження

в природному стані типових або унікальних природних комплексів та об'єктів, а також забезпечення умов для організованого відпочинку населення. Обґрунтуванню створенню РЛП для охорони і раціонального використання озер Турійщини присвячена ця стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукових робіт, присвячених дослідженню Турійських озер, досить багато. Зокрема, детально досліджено природно-ресурсний потенціал лімносистем Турійського району, розмежування типів озер Турійського району на основі сучасних європейських критеріїв (Шевчук & Сергушко, 2016), природозаповідний фонд Турійського району (Павловська, Ковальчук & Чижевська, 2013; Фесюк & Дем'яненко, 2017; Карпюк, Фесюк & Антипюк, 2018), екологічну якість води озер (Боярин & Савчук, 2015; Музиченко & Лавринюк, 2016), можливості використання озер для рекреації (Каліновський, 2013), добування сапропелів (Каліновський & Ільїн, 2009; Шевчук, 1996). Проте лімнологічна та гідроекологічна вивченість озер Турійщини поки що недостатня. Необхідно й надалі проводити лімнологічні, гідроекологічні, геоекологічні дослідження з метою наукового обґрунтування ефективного використання та охорони озер.

Мета дослідження: визначення ролі і значення озер Турійської ТГ для організації пер-

спективного регіонального ландшафтного парку «Турійське поозер'я».

Виклад основного матеріалу дослідження.

В межах колишнього Турійського району (за старим адміністративно-територіальним устроєм – АТУ) виділяють 5 груп озер (Шевчук & Сергушко, 2016): Бузька група – Мале, Велике, Неретва; північна група – озера Окунин, Сомин; західна (Дольська) група – Дольське, Святе, Бабино, Городжене, Охотники, Мишно, Туричанське; центральна (Турійська) група – Кустичі, Селище, Турійське, Клюське, Черепаха, Кошляково, Рудно, Батинське, Тагачинське, Велище, Батинське; східна (Озерянська) група – Пересіка, Гнильбище, Погоріле, Бережисте, Болотне, Озерянське, Пісочне, Перевірське, Щуче, Зміїнець.

Фактично три останніх групи озер знаходяться в межах Турійської ТГ. Вони налічують 30 озер, здебільшого невеликих. От, власне, для їх збереження і раціонального використання пропонується створити перспективний регіональний ландшафтний парк «Турійське поозер'я». Озера розміщені в межах Поліської низовини, їх висота менше 200 м над р.м., відносяться до класу низинних озер. Сумарна площа водного дзеркала 22 озер, для яких вдалось встановити морфометричні показники, становить 227,6 га. Озера, переважно, невеликі за площею. Так п'ять озер мають площу до 5 га, шість – 5-10 га, сім – 10-15 га, чотири – 15-20,2 га. Розміри озер порівнювані для всіх трьох груп. Діапазони площ: Озерянської групи (9 озер) – 2,1-20,2 га, Турійської (8 озер) – 3,3-17,1 га, Дольської (5 озер) – 4,3-19,2 га. При середній площі озер 10,35 га вони володіють різними запасами водних ресурсів, загальний об'єм заакумульованих прісних вод 9,5 млн.м³. Лише 2 озера (Перевірське і Дольське) мають об'єм понад 1 млн.м³, що за термінологією Водного кодексу України відповідає штучним водоймам типу водосховище. Інші 20 озер мають менший об'єм води, що відповідає об'єму штучної водойми типу ставок.

За розподілом глибин переважна кількість озер неглибокі – до 5 м. Найглибшими в Турійській групі є оз. Селище (максимальна глибина 12 м, середня 7 м), Велище (10 м, 4,3 м), Тагачинське (9,5 м, 5,6 м), в Дольській – Охотники (17 м, 6,5 м), Дольське (22,4 м, 6,7 м), в Озерянській – Перевірське (21 м, 7,5 м), Пересіка (12 м, 5,2 м).

За гідрологічним режимом більшість озер є безстічними із замкнутою площею водозбору, оз. Кошляково й Святе – проточні, а оз. Пісочне – стічне. У багатьох озерах берегова смуга по всьому периметру заросла водноболотними видами гідрофітів: рогозом, лепехою, очеретом, ситником, осокою. Пояс гідрофітів простягається на відстань до 50 м від берега (Болотне, Клюське, Турійське). Береги за рельєфом – від низьких (Туричанське, Святе, Болотне) до пологих (більшість озер). За складом ґрунтів переважають береги заторфовані (Гнильбище, Кошляково, Рудно, Святе, Туричанське, Щуче) або піщані (Бережне, Пересіка, Турійське) (Шевчук & Сергушко, 2016). Береги озер, найчастіше, зарослі чагарниками, в деревному покриві поширені верба, вільха, береза, трохи далі від берегової лінії поширені змішані лісові насадження.

Довкола окремих озер сформувалися населені пункти, мешканці яких ведуть господарську діяльність безпосередньо на їх берегах (Кустичі, Селище) або використовують їх як сінокоси (Тагачинське). Окремі озера (біля більших населених пунктів) інтенсивно використовуються в рекреації (Велище, Пісочне), як правило, нерегульованій.

Більшість озер Турійщини розміщені в межах геологічних структур льодовикового походження, де на неглибоких закарстованих мергельно-крейдових породах, пісках і супісках залягають донні відклади озер у вигляді сапропелю різної потужності, складу і якості. Пошуково-оціночні роботи та детальна розвідка, проведені на озерах колишнього Турійського району (за старим АТУ), засвідчили, що у 27 озерах промислові балансові запаси сапропелю 60% вологості за категоріями А+С₂ становлять понад 6 млн.т., за категорією С₂ на 14 озерах розвідано 2,2 млн т., за категорією А (детально розвідані) на 13 озерах розвідано 1,9 млн. т (Каліновський & Ільїн, 2009).

Результати наших досліджень свідчать, що екологічний стан озер територіальної громади з року в рік погіршується. Для багатьох озер евтрофікація набула незворотних масштабів, вони втрачають гідрологічну роль, заростають вищою водною рослинністю, перетворюються у болота. Нагромадження сапропелів в озерах Полісся відбувається одночасно як з dna, так і з поверхні водозбору. Площі озер у нульовій

границі відкладів сапропелю в колишньому Турійському районі до 10 га розвідані на 10 озерах, 10-20 га – 11 озерах, понад 20 га – двох озерах (озеро Болотне – 39,1 га, Перевірське – 20,2 га). Середня глибина залягання сапропелю – від 2,4 м (Кошляково) до 5,7 м (Мале).

На рис. 1 наведено результати порівняння озер Турійської ТГ за показником відношення площі дна озера, зайнятою сапропелем, до площі озера. Це показник, по суті, є критерієм заповненості озерної улоговини сапропелем. Всі озера ТГ класифіковано на такі групи: озера, де відношення площі дна, зайнятої сапропелем, до площі озера, менше 0,75 (в Турійській групі – Кошляково – 0,68, Рудно – 0,59, в Дольській – Дольське – 0,65, Святе – 0,67, Туричанське – 0,7). Це або відносно глибокі карстові озера (Дольське) або невеликі озера із конічною формою улоговини, коефіцієнт глибинності для яких більше за 0,66 (Рудно, Святе, Кошляково). Сапропель у цих озерах заповнює лише найглибшу частину улоговини і, як правило, має не дуже велику потужність. До другої групи із показником 0,75-0,9 належать більшість озер з трьох груп (в Турійській групі – Велище – 0,84, Кустичі – 0,82, Турійське – 0,78, Ключьське – 0,75, Селище – 0,79, в Дольській – Охотники – 0,81, в Озерянській – Пісочне – 0,76, Гнильбище – 0,89, Болотне – 0,77, Бережисте – 0,8). Потужність сапропелю в цих озерах більша і він заповнює більшу частину озерної улоговини. Також це зумовлено положою параболічною формою улоговин озер. Для цієї групи озер

доцільність добування сапропелю також очевидна, але не настільки гостра як для наступної. Третя група – це озера, в яких коефіцієнт заповнення більше ніж 0,9 – Перевірське – 1, Мишно – 1, Озерянське – 0,92, Пересіка – 0,93, Щуче – 0,95. Потужність сапропелів в них теж найбільша: Мишно – 5,4 м, Озерянське – 3,9 м, Пересіка – 3,9 м, Щуче – 6,2 м. Тому саме ці озера найбільш страждають від евтрофікації і є першочерговими об'єктами для добування сапропелю.

Існує багато технологій поліпшення екологічного стану озер і боротьби з евтрофікацією. Один з них – технічна меліорація озер шляхом екскавації донних відкладів. Ця технологія є дієвим, а нерідко і єдиним способом відновлення замулених і відмираючих водойм. Адже відновлення оптимального гідрологічного режиму озер сприятиме не лише охороні й відтворенню їх ресурсного потенціалу, але й раціональному використанню донних ресурсів. Внаслідок екскавації донних відкладів відбувається поглиблення дна озера, збільшення об'єму водної маси, швидкості водообміну, видового складу й рівня розвитку гідробіонтів, стабілізація газового та температурних режимів. Звісно ж добування й використання сапропелів повинно відбуватись з використанням екологічно безпечних технологій. Паралельно слід зарезервувати найбільш цінні озера для їх подальшого заповідання [5].

Тут постає ще одне логічне питання: чи є доцільність в технічній меліорації озер

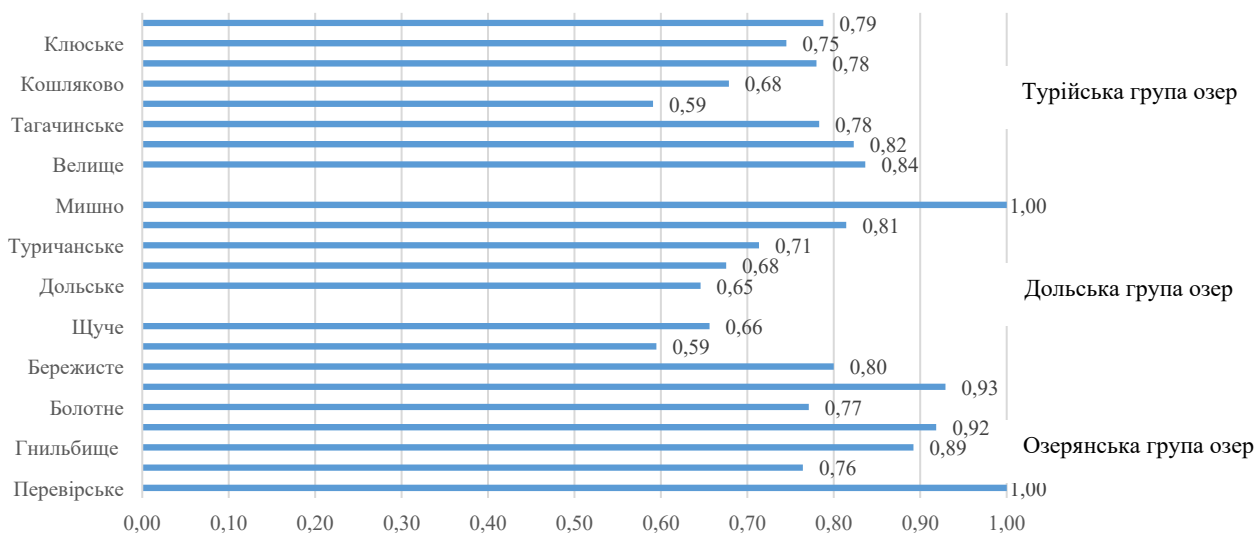


Рис. 1. Розподіл озер Турійської ТГ за показником наповненості озерної улоговини сапропелем

в межах регіонального ландшафтного парку? Адже ж це об'єкт природно-заповідного фонду. На нашу думку, така доцільність є. Звісно не всіх озер. Як вище сказано, найцінніші озера слід зарезервувати для їх подальшого заповідання. А інші озера, які планується використовувати в рекреації, доцільно очистити від надлишкового сапропелю. Адже поряд із природно-заповідною функцією РЛП виконують ще й рекреаційну функцію.

В Турійській ТГ хоч і багато озер, але далеко не всі вони рекреаційно освоєні, або можуть бути рекреаційно освоєними на перспективу. Причинами є: погана транспортна доступність, невеликі розміри озер через що недоцільно будувати на них великі рекреаційні бази, низький рівень розвитку рекреаційної інфраструктури. Проте ці причини не є нездоланими. Розвиток туризму та рекреації в перспективному регіональному парку сприятиме інвестиційній привабливості громади. А стосовно малих розмірів озер, на нашу думку, перспективний РЛП не повинен позиціонувати себе виключно як місце пляжного відпочинку, натомість пропонувати різноманітні види відпочинку і туризму, в т.ч. послуги, які визначатимуть саме його оригінальність і унікальність.

Також розвитку туризму у громаді сприяє якість води в озерах (Боярин & Савчук, 2015). Загальна мінералізація води змінюється в межах 286-312 мг/дм³. Переважають аніони HCO_3^{2-} та катіони Ca^{2+} , тому вода озер – гідрокарбонатно-кальцієва. Також у воді озер присутні біогенні речовини, насамперед, сполуки азоту, фосфору, заліза. Основними джерелами емісії біогенів до озер є поверхневий стік з с/г угідь, ферм, населених пунктів та стихійних сміттєзвалищ, атмосферні опади.

Для вмісту багатьох сполук характерні перевищення ГДК. Зокрема, концентрація нітрат-іонів у озерній воді змінюється в межах 0,41-0,52 мг/дм³ і дещо перевищує ГДК лише для озер Пересіки і Соловичівського. Концентрація нітритів незначно перевищує ГДК майже в усіх озерах, крім Пересіки і Дольського, де вона знаходиться на межі ГДК. Вміст фосфатів у воді озер коливається в межах 0,35-0,48 мг/дм³, що перевищує ГДК у 6-9 разів. Слід зазначити, що концентрація фосфатів понад 0,05 мг/дм³ може бути критичною для водойм із сповільненим зарегульованим стоком, оскільки

це може стати причиною інтенсивної антропогенної евтрофікації. Високий вміст фосфатів зумовлений потраплянням до озер господарсько-побутових стоків, які містять синтетичні мийучі засоби та поверхневого стоку з полів і стихійних сміттєзвалищ.

Вміст феруму в озерній воді перевищує ГДК у 2,35-2,5 рази. Це перевищення зумовлене високим фоновим вмістом сполук феруму в елементах ландшафту. Також у воді озер незначно перевищений вміст важких металів. Вміст хрому у воді озер становить перевищує ГДК на 20% (Охотники, Туричанське, Соловичівське) – 40% (Пересіка, Дольське) (Боярин & Савчук, 2015).

Отже, на формування хімічного складу води досліджуваних озер впливають як природні чинники, так і антропогенне навантаження. В цілому озера Турійської ТГ є слабо забруднені, за переважною більшістю гідрохімічних показників ГДК не перевищується. Проте окремі показники вмісту хімічних речовин перевищують значення ГДК.

В першу чергу це стосується біогенних речовин (сполук азоту і фосфору). Надмірний їх вміст спричинює евтрофікацію водойм. Різні озера уражені евтрофікацією різною мірою. Як видно з рис. 2, найвищі значення NDVI (нормалізованого диференційного вегетаційного індексу) характерні для озер із найвищою евтрофікованістю, що повільно перетворюються в болота (Гнильбище, Болотне, Туричанське – 0,3-0,4), а найменші – для найчистіших і найглибших озер (Велище, Дольське – 0,1-0,2).

На гідроекологічний стан озер дуже сильно впливають процеси, що відбуваються на водозборі. Озера Турійської ТГ невеликі, як правило, карстового походження, а тому їх водозбори мають малі розміри і зв'язок між озером і водозбором дуже сильний. Спектр наслідків такого впливу дуже широкий. Наприклад, якщо озера знаходяться в лісовому масиві, господарський вплив мінімальний, стан озера також буде кращим. Якщо озеро знаходиться в межах населеного пункту, на його берегах розміщуються садиби, городи, поля, ферми, машинно-тракторні станції, то всі ці чинники будуть погіршувати стан водойми.

Також на гідроекологічний стан впливає інтенсивність рекреаційного використання

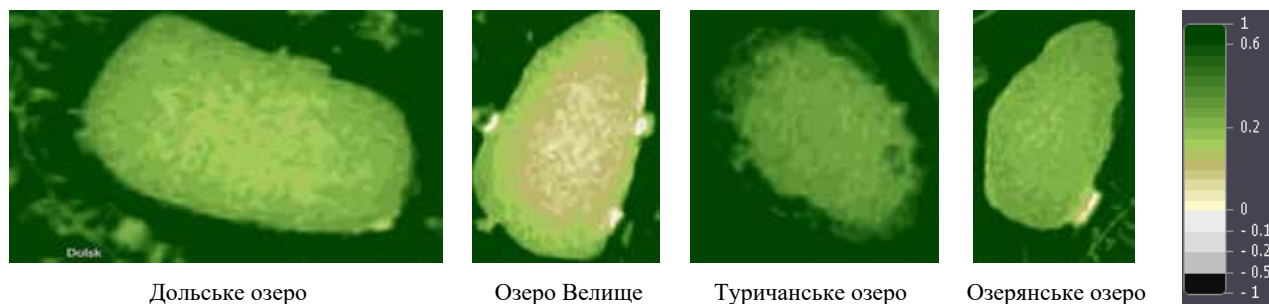


Рис. 2. Індекс NDVI для озер Турійської ТГ станом на 24.08.2022 за даними супутникових знімків місії Sentinel-2

озер та розвиток рекреаційної інфраструктури. Наприклад, Пісочне – одне із найбільш задіяних у рекреації озер громади. Воно відноситься до Озерянської групи. Береги озера забудовані базами відпочинку настільки щільно, що до самого озера важко дістатись. Причому забудова безсистемна, більшість її – спадок радянських часів, різноманітні тимчасові споруди (будки, трейлери тощо), інфраструктура, зокрема, каналізація відсутня, стан доріг поганий. Санітарний стан берегів озера просто жахливий: скрізь купи сміття, несанкціоновані сміттєзвалища, які приваблюють комах. Перед тим як говорити про перспективи рекреаційного використання озера, слід привести його до нормального санітарного стану. І це теж одне із завдань майбутнього РЛП.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Для досягнення рівня заповідності території, визначеного міжнародними угодами, що ратифіковані Україною, необхідним є пошук шляхів створення нових та розширення мережі існуючих об'єктів і територій ПЗФ. Одним із таких шляхів є створення регіональних ландшафтних парків, організація їх дозволить не лише розширити мережу ПЗФ, розвинути екомережу, але й забезпечити рекреаційні потреби населення. При створенні РЛП особливо важливим ресурсом є озера, оскільки їх наявність суттєво підвищує атрактивність майбутнього парку для рекреантів. Прикладом РЛП, сформованого для раціонального використання та охорони озер, є перспективний РЛП «Турійське поозер'я».

ЛІТЕРАТУРА:

1. Боярин М.В., Савчук Л.А. Оцінка ступеня придатності озер Турійського району для цілей рекреації. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2015. № 1-2. С. 110-114.
2. Закон України «Про природно-заповідний фонд України». URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2456-12>
3. Ільїн Л.В., Мольчак Я.О. Озера Волині: лімно-географічна характеристика. Луцьк: Надстир'я, 2000. 140 с.
4. Каліновський Д.І., Ільїн Л.В. Донні відклади природних водойм Волинської області та перспективи їх використання у рекреації. *Культура народів Причорномор'я*. 2009. № 176. С. 120-122.
5. Каліновський Д.І. Рекреаційна привабливість природних водойм Волинської області і можливості їх використання в рекреації та туризмі. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки*. 2013. № 6. С. 43-47.
6. Карпюк З.К., Фесюк В.О., Антипюк О.В. Природно-заповідний фонд Волинської області: альбом-каталог. К.: ОК-Поліграф, 2018. 136 с.
7. Музиченко О.С., Лавринюк З.В. Екологічний стан та використання рекреаційних ресурсів озер Величча та Сомине Волинської області. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2016. Вип. 15. С. 67-74.
8. Павловська Т.С., Ковальчук І.П., Чижевська Л.Т. Сучасний стан природно-заповідної мережі басейну р. Турія. *Фізична географія та геоморфологія*. 2013. Вип. 1(69). С. 44-53
9. Фесюк В.О., Дем'яненко І.В. Озера Турійського району як складові природозаповідного фонду. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія «Географічні науки»*. 2017. № 9(358). С. 32-38.
10. Шевчук М.Й. Сапропелі України: запаси, якість та перспективи використання. Луцьк: Надстир'я, 1996. 384 с.
11. Шевчук М.Й., Сергушко О.Г. Природно-ресурсний потенціал озерних екосистем Турійського району Волинської області. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія «Біологічні науки»*. 2016. № 7. С. 102-106.

REFERENCES:

1. Boiaryn, M.V., Savchuk, L.A. (2015). Otsinka stupenia prydatnosti ozer Turiiskoho raionu dlia tsilei rekreatsii. [Evaluation of the degree of suitability of the lakes of the Turiysk district for recreation purposes]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekolohii*, 1-2, 110-114 [in Ukrainian].
2. Zakon Ukrainy «Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy» [About the Nature Reserve Fund of Ukraine]. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2456-12> [in Ukrainian]
3. Ilin, L.V., Molchak, Ya.O. (2000). *Ozera Volyni: limno-heohrafichna kharakterystyka* [Lakes of Volyn: limno-geographic characteristics]. Lutsk: Nadstyria [in Ukrainian].
4. Kalinovskiy, D.I., Ilin, L.V. (2009). Donni vidklady pryrodnykh vodoim Volynskoi oblasti ta perspektyvy yikh vykorystannia u rekreatsii [Bottom sediments of natural reservoirs of the Volyn region and prospects for their use in recreation]. *Kultura narodov Prychernomoria*, 176, 120-122[in Ukrainian].
5. Kalinovskiy, D.I. (2013) Rekreatsiina pryvablyvist pryrodnykh vodoim Volynskoi oblasti i mozhlyvosti yikh vykorystannia v rekreatsii ta turyzmi [Recreational attractiveness of natural reservoirs of the Volyn region and the possibilities of their use in recreation and tourism]. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Heohrafichni nauky*, 6, 43-47 [in Ukrainian].
6. Karpiuk, Z.K., Fesiuk, V.O., Antypiuk, O.V. (2018). *Pryrodno-zapovidnyi fond Volynskoi oblasti: albom-kataloh* [Nature reserve fund of the Volyn region: catalog album]. Kyiv: OK-Polihraf [in Ukrainian].
7. Muzychenko, O.S., Lavryniuk, Z.V. (2016). Ekolohichniy stan ta vykorystannia rekreatsiinykh resursiv ozer Velymche ta Somyne Volynskoi oblasti [Ecological condition and use of recreational resources of lakes Velymche and Somyne of the Volyn region]. *Visnyk KhNU imeni V.N. Karazina. Seriiia «Ekolohiia»*, 15, 67-74 [in Ukrainian].
8. Pavlovska, T.S., Kovalchuk, I.P., Chyzhevska, L.T. (2013). Suchasnyi stan pryrodno-zapovidnoi merezhi baseinu r. Turiiia [The current state of the nature reserve network of the Turia river basin]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia*, 1(69), 44-53 [in Ukrainian].
9. Fesiuk, V.O., Demjanenko, I.V. (2017). Ozera Turiiskoho raionu yak skladovi pryrodnozapovidnoho fondu [Lakes of the Turiysk district as components of the nature reserve fund]. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Seriiia «Heohrafichni nauky»*, 9 (358), 32-38 [in Ukrainian].
10. Shevchuk, M.Y. (1996). *Sapropeli Ukrainy: zapasy, yakist ta perspektyvy vykorystannia* [Sapropel of Ukraine: reserves, quality and prospects of use]. Lutsk: Nadstyr'ia [in Ukrainian].
11. Shevchuk, M.Y., Serhushko, O.H. (2016). Pryrodno-resursnyi potentsial ozernykh ekosystem Turiiskoho raionu Volynskoi oblasti [Natural resource potential of lake ecosystems of the Turiysk district of the Volyn region]. *Naukovyi visnyk Skhidnoievropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Seriiia «Biolohichni nauky»*, 7, 102-106 [in Ukrainian].

ЗМІСТ

Орися БЕРЕЗНЮК, Олександр СМІТЮХ, Людмила ПІСКАЧ ВЗАЄМОДІЯ ПО ПЕРЕРІЗАХ $\text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$	3
Орися БЕРЕЗНЮК, Мохамед АЛРІКІК, Юрій КОГУТ, Людмила ПІСКАЧ ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СИСТЕМАХ $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$	17
Назарій БЛАШКО, Олег МАРЧУК, Анатолій ФЕДОРЧУК, Ярослав РОМАНЮК КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$	31
Людмила ГЕРАСИМЧУК, Євгеній МЕДВЕДОВСЬКИЙ, Руслана ВАЛЕРКО ДЕРЖАВНИЙ НАГЛЯД (КОНТРОЛЬ) У СФЕРІ ОХОРОНИ, ЗАХИСТУ, ВИКОРИСТАННЯ ТА ВІДТВОРЕННЯ ЛІСІВ НА ТЕРИТОРІЇ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	38
Любомир ГУЛАЙ, Руслан ВОЙЦЕХОВСЬКИЙ, Зоряна ЛАВРИНЮК, Ольга КАРАЇМ, Олена ДЖАМ ЕКОЛОГО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ АСПЕКТІВ ВЕДЕННЯ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВОЛИНСЬКОГО ОУЛМГ.....	48
Алла КОЛІСНИК, Віктор ПИЛИП'ЮК ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ПОГІРШЕННЯ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД СУББАСЕЙНУ СЕРЕДНЬОГО ДНІПРА В МЕЖАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	61
Лариса МАРУШКО ДИФЕРЕНЦІЙОВАНА ТА ІНДИВІДУАЛІЗОВАНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ.....	70
Ірина НОВІКОВА, Наталія СТУЧИНСЬКА ВИКОРИСТАННЯ ФАХОВО ОРІЄНТОВАНИХ ЗАДАЧ У НАВЧАННІ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН МАЙБУТНІХ ЛІКАРІВ.....	76
Вікторія САВІЦЬКА ТРАНСФЕР ЦИФРОВИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ: ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ В УКРАЇНІ.....	85
Леся САЛІЄВА, Наталія СЛИВКА, Лариса МАРУШКО, Олена КОМАРОВСЬКА-ПОРОХНЯВЕЦЬ, Валентина ТОЛМАЧОВА, Наталія КОВАЛЕНКО, Михайло ВОВК ОЦІНКА БАКТЕРИЦИДНОЇ ТА ФУНГЦИДНОЇ АКТИВНОСТІ СІРКОВМІСНИХ 2,3-ДИГІДРОІМІДАЗО[2,1- <i>b</i>]ТІАЗОЛІВ.....	91
Мар'яна ФЕДОРОВСЬКА, Марія ДАНИЛЯК, Тетяна ВОЛОШЕНЮК, Наталія СЛИВКА РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙНОЇ ОСНОВИ КОСМЕТИЧНОГО КРЕМУ ЖИВИЛЬНОЇ ДІЇ.....	97
Василь ФЕСЮК, Діана ЯРМОЛЮК ОЗЕРА ТУРІЙСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ЯК ЦЕНТРАЛЬНИЙ ОБ'ЄКТ ПЕРСПЕКТИВНОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «ТУРІЙСЬКЕ ПООЗЕР'Я».....	107

CONTENTS

Orysia BEREZNYUK, Oleksandr SMITIUKH, Lyudmyla PISKACH INTERACTION IN CROSS SECTIONS $\text{Cu}(\text{Ag})_7\text{PS}_6 - \text{Cu}(\text{Ag})_8\text{Ge}(\text{Sn})\text{S}_6$	3
Orysia BEREZNYUK, Mohammed ALRIQIQ, Yuri KOGUT, Lyudmyla PISKACH PHASE EQUILIBRIA IN THE SYSTEMS $\text{Cu}(\text{Ag})_2\text{S} - \text{Sb}_2\text{S}_3 - \text{SnS}_2$	17
Nazarii BLASHKO, Oleg MARCHUK, Anatolii FEDORCHUK, Yaroslav ROMANYK THE CRYSTAL STRUCTURE OF $\text{Ce}_{1.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Ga}_{1.67}\text{S}_7$	31
Liudmyla HERASYMCHUK, Yevhenii MEDVEDOVSKIY, Ruslana VALERKO STATE SUPERVISION (CONTROL) IN THE FIELD OF SECURITY, PROTECTION, USE AND REPRODUCTION OF FORESTS IN THE TERRITORY OF ZHYTOMYR OBLAST.....	38
Lubomir GULAY, Ruslan VOITSEHOVSKIY, Zoryana LAVRYNYUK, Olha KARAIM, Olena DZHAM ECOLOGICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE MAIN ASPECTS OF ECONOMIC ACTIVITY OF THE VOLYN REGIONAL FORESTRY AND HUNTING MANAGEMENT.....	48
Alla KOLISNYK, Victor PYLYPIUK ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISK OF DETERIORATION OF SURFACE WATERS OF THE MIDDLE DNIEPER SUB-BASIN WITHIN THE POLTAVA REGION.....	61
Larysa MARUSHKO DIFFERENTIATED AND INDIVIDUALIZED TRAINING OF FUTURE SCIENCE TEACHERS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS.....	70
Iryna NOVIKOVA, Nataliia STUCHYNSKA USE OF PROFESSIONALLY-ORIENTED TASKS IN TEACHING NATURAL SCIENCES TO FUTURE DOCTORS.....	76
Viktoriya SAVITSKA TRANSFER OF DIGITAL EDUCATIONAL TECHNOLOGIES: THE EXPERIENCE OF THE EUROPEAN UNION AND PECULIARITIES OF ITS IMPLEMENTATION IN UKRAINE.....	85
Lesya SALIYEVA, Nataliia SLYVKA, Larysa MARUSHKO, Olena KOMAROVSKA-POROKHNYAVETS, Valentina TOLMACHEVA, Nataliia KOVALENKO, Mykhailo VOVK EVALUATION OF BACTERICIDAL AND FUNGICIDAL ACTIVITY OF SULFUR-CONTAINING 2,3-DIHYDROIMIDAZO[2,1-b]THIAZOLES.....	91
Mariana FEDOROVSKA, Mariia DANYLIAK, Tetiana VOLOSHENIUK, Nataliia SLYVKA DEVELOPMENT OF THE EMULSION CREAM BASE WITH NUTRITIVE PROPERTIES.....	97
Vasyl FESYUK, Diana YARMOLYUK THE LAKES OF THE TURIYSK TERRITORIAL COMMUNITY AS THE CENTRAL OBJECT OF THE PROSPECTIVE REGIONAL LANDSCAPE PARK "TURIYSK LAKES".....	107

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 4

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Юрій Васильович Ковальчук

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 13,49. Замов. № 0123/056. 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.