

Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 4



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Журнал ухвалено до друку Вченою радою
Волинського національного університету імені Лесі Українки
20 грудня 2023 р., протокол № 14

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

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

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

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

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

© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2023

ХІМІЯ

УДК 547.781 + 547.869 + 547.79

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-1>

Наталія СЛИВКА

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Леся САЛІЄВА

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Елла КАДИКАЛО

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

ORCID: 0000-0002-5613-1662

Роман ШАНДРУК

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

Олександр ПРИЙМАЧУК

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

Богдан ЛУКАШЕВИЧ

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

Ірина МАЗУРЕНКО

вчитель хімії Волинського наукового ліцею Волинської обласної ради, вул. Селищна, 2-В, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43006

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: Сливка, Н., Салієва, Л., Кадикало, Е., Шандрук, Р., Приймачук, О., Лукашевич, Б., Мазуренко, І., Вовк, М. (2023). Скринінг потенційних інгібіторів росту *Cisutis sativus* серед похідних (імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилатів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 3–11, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-1>

**СКРИНІНГ ПОТЕНЦІЙНИХ ІНГІБІТОРІВ РОСТУ
CUCUMIS SATIVUS СЕРЕД ПОХІДНИХ
(ІМІДАЗО[2,1-*b*][1,3]-ТІАЗИН-6-ІЛ)-1,2,3-ТРИАЗОЛО-5-КАРБОКСИЛАТІВ**

Робота присвячена дослідженню отриманих взаємодією 6-азидо-2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазину та 3-азидо-3,4-дигідро-2*H*-бенз[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазину з ацетиленкарбоксилатами відповідних алкіл 1-[(бензо)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл]-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбоксилатів та продукту їх гідролізу – 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбонової кислоти на ріст регулюючи активність, оцінюючи вплив різних концентрацій даних речовин та їх будови на особливості раннього росту і розвитку рослинного організму *Cucumis sativus* на стадіях проростання насіння та формування проростків.

За результатами проведеного експерименту встановлено, що перебіг фізіологічних процесів у рослинному організмі носить різноплановий характер. Однаковий результат характерний лише при замочування насіння *Cucumis sativus* в 0,01–0,001 % розчинах, де усі сполуки показали сильну інгібуючу дію, яка спричинила повну ембріональну загибель насіння. В цілому найвищою пригнічуючою дією володіє 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбонова кислота **4a**, інгібуюча дія якої характеризується зниженням показника маси і довжини проростка відповідно на 52,5 та 70,4% в порівнянні з контролем.

Аналізуючи будову досліджуваних сполук, встановлено, що замісники *Me*, *Et*, *t*-*Vi* в карбоксильній групі сприяють послабленню інгібуючої дії (імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилатів, а присутність двох фенільних груп у імідазольному фрагменті спричиняє посилення пригнічуючого ефекту на ріст і розвиток проростків *Cucumis sativus*.

Ключові слова: алкіл 1-[(бензо)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл]-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбоксилати, 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбонова кислота, ріст регулююча дія, пригнічуючий ефект, інгібуюча активність.

Nataliia SLYVKA

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Lesya SALIYEVA

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Ella KADYKALO

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

ORCID: 0000-0002-5613-1662

Roman SHANDRUK

graduate student of the Department of Organic and Pharmaceutical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

Oleksandr PRYMACHUK

graduate student of the Department of Organic and Pharmaceutical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

Bohdan LUKASHEVYCH

graduate student of the Department of Organic and Pharmaceutical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

Iryna MAZURENKO

chemistry teacher of the Volyn Scientific Lyceum of the Volyn Regional Council, 2v Selyshchna str., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43006

Mykhailo VOVK

Doctor of Chemistry, Professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of the Department of Mechanisms of Organic Reactions, Director of Institute of Organic Chemistry NAS of Ukraine, 5 Akademia Kukharia str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

To cite this article: Slyvka, N., Saliyeva, L., Kadykalo E., Shandruk, R., Pryimachuk, O., Lukashevich, B., Mazurenko, I., Vovk, M. (2023). Skryyninh potentsiinykh inhibitoriv rostu Cucumis sativus sered pokhidnykh (imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazyn-6-il)-1,2,3-tryazolo-5-karboksylativ [Screening of potential Cucumis sativus growth inhibitors among (imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazin-6-yl)-1,2,3-triazolo-5-carboxylate derivatives]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 3–11, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-1>

**SCREENING OF POTENTIAL CUCUMIS SATIVUS
GROWTH INHIBITORS AMONG (IMIDAZO[2,1-*b*][1,3]-THIAZIN-6-YL)-
1,2,3-TRIAZOLE-5-CARBOXYLATE DERIVATIVES**

The work is devoted to the study of 6-azido-2,3-diphenyl-6,7-dihydro-5H-imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazine and 3-azido-3,4-dihydro-2H-benz[4,5]imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazine with acetylene carboxylates of the corresponding alkyl 1-[(benzo)imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazin-6-yl]-1H-1,2,3-triazole-5-carboxylates and their hydrolysis product – 1-(2,3-diphenyl-6,7-dihydro-5H-imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazine-6-yl)-1H-1,2,3-triazole-5-carboxylic acid on the growth-regulating activity, evaluating the influence of different concentrations of these substances and their structure on the features of the early growth and development of the plant organism *Cucumis sativus* at the stages of seed germination and seedling formation.

According to the results of the conducted experiment, it was established that the course of physiological processes in the plant organism has a multifaceted nature. The same result is characteristic only when *Cucumis sativus* seeds are soaked in 0.01–0.001% solutions, where all compounds showed a strong inhibitory effect, which caused complete embryonic death of the seeds. In general, 1-(2,3-diphenyl-6,7-dihydro-5H-imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazin-6-yl)-1H-1,2,3-triazole-5-carboxylic acid **4a** has the highest inhibitory effect, the inhibitory effect of which is characterized by a decrease in seedling mass and length by 52.5 and 70.4%, respectively, compared to the control.

Analyzing the structure of the studied compounds, it was established that Me, Et, *t*-Bu substituents in the carboxyl group help to weaken the inhibitory effect of (imidazo[2,1-*b*][1,3]-thiazin-6-yl)-1,2,3-triazolo-5-carboxylates, and the presence of two phenyl groups in the imidazole fragment increases the inhibitory effect on the growth and development of *Cucumis sativus* seedlings.

Key words: alkyl 1-[(benzo)imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazin-6-yl]-1H-1,2,3-triazole-5-carboxylates, 1-(2,3-diphenyl-6,7-dihydro-5H-imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazin-6-yl)-1H-1,2,3-triazole-5-carboxylic acid, growth regulating effect, suppressive effect, inhibitory activity.

Тенденції останнього часу пов'язані із реалізацією підходів до створення нових гетероциклічних структур, на основі яких отримано значну кількість біоперспективних сполук та розроблено комерційно доступні лікарські препарати та засоби захисту рослин. Імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазини займають чільне місце серед наявного масиву гетероциклічних сполук завдяки своїй синтетичній значимості та широкому спектру біологічної дії. Системи, які містять у своїй будові такий фрагмент, проявляють антиоксидантну, протівірусну, протитуберкульозну, холестеринемічну активності, цитоток-

сичну активність відносно неракових (F2408) та ракових (5RP7) клітин [1-5]. Імідазотіазино-вий цикл є важливою фармакоформною групою антагоністів канабіноїдних рецепторів GPR18 та GPR55 [6] та сполук, що зв'язують бензодіазепінові рецептори [7].

Не менш цікавими з позицій пошуку біологічно активних молекул є похідні 1,2,3-триазолу для яких характерна антибактеріальна, протигрибкова, гіпоглікемічна, антигіпертензивна, знеболювальна, протизапальна, протипухлинна, протівірусна активності [8-12]. Відомим є той факт, що похідні з 1,2,3-триа-

зольним циклом входять до найбільшої групи фунгіцидів. Дані препарати можуть застосовуватися для обробки рослин на ранніх фазах розвитку захворювання плодівих і овочевих культур або для профілактичних обробок [13]. Узагальнення літературних джерел вказує на перспективність використання в ролі об'єктів дослідження саме 1,2,3-триазольних структур, які інкорпоровані в імідазотіазинові цикли. Такого роду хімічне поєднання може позитивно впливати на наявність різноманітної біологічної дії нових гібридних сполук. Саме тому вдалось обґрунтованим провести оцінку ристрегулюючої активності низки вперше синтезованих молекул, які б містили у своїй структурі фармакофорні імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазиновий та 1,2,3-триазольний цикли.

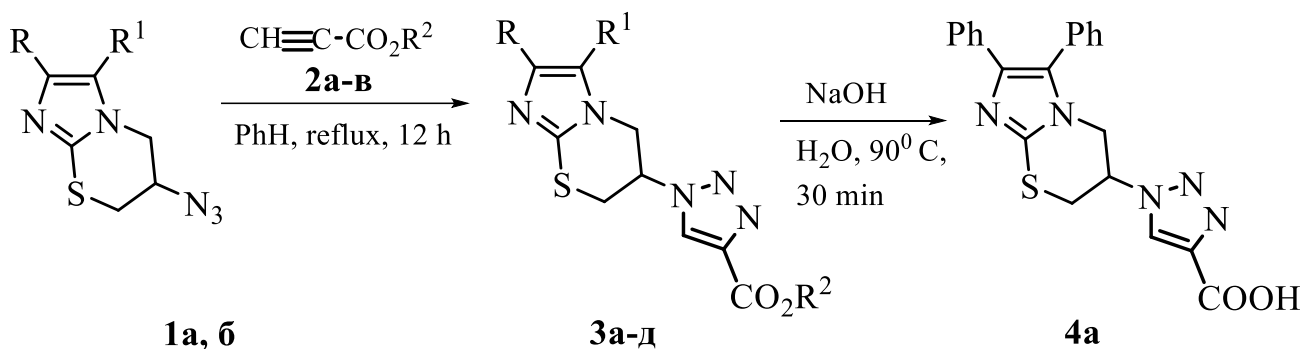
Для реалізації поставленого завдання, як модельні об'єкти дослідження, були обрані алкіл 1-((бензо)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбоксилати **3а-д** та 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбонова кислота **4а**. Синтез карбоксилатів **3а-д** здійснювали взаємодією азидо(бенз)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазинів **1а, б** із ацетилен-карбоксилатами **2а-в** в умовах реакції Хьюзена, а карбонову кислоту **4а** було одержано лужним гідролізом відповідних 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбоксилатів **3а-в** (схема 1) [13, 14].

Скринінг інгібуючої активності одержаних алкіл 1-((бензо)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазиніл-

1*H*)-1,2,3-триазол-5-карбоксилатів **3а-д** та 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбонової кислоти **4а** проводили, оцінюючи вплив різних концентрацій даних речовин та їх будови на особливості раннього росту і розвитку рослинного організму *Cucumis sativus* на стадіях проростання насіння та формування проростків.

В результаті проведених досліджень виявлено, що досліджувані сполуки **3а-д** та **4а** проявляють різноплановий вплив на особливості розвитку проростків *Cucumis sativus*. Однаковий результат показало лише замочування насіння в 0,01–0,001 % розчинах, де для усіх сполук була відзначена сильна інгібуюча дія, яка спричинила повну ембріональну загибель насіння. Щодо контрольного варіанту, то показник схожості коливався в межах 98,3–100 %, тобто не було виявлено суттєвої статистичної різниці між варіантами досліджень (таблиця 1).

Аналіз результатів досліджень у розрізі відповідних сполук свідчить, що за замочування насіння у розчинах (2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбокси кислоти **4а** спостерігається, як зазначалось, повна загибель рослинних організмів. Обробка проростків (імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазиніл)-1,2,3-триазол-5-карбоновою кислотою **4а** викликала негативний вплив на ріст і розвиток рослинного організму зі значною інтенсивністю, причому зафіксовано, що зниження концентрації сприяло зменшенню прояву інгібуючого ефекту. При цьому значення



3а R = R¹ = Ph, R² = Me; **б** R = R¹ = Ph, R² = Et; **в** R = R¹ = Ph, R² = *t*-Bu;

г RR¹ = (CH=CH)₂, R² = Et; **д** RR¹ = (CH=CH)₂, R² = *t*-Bu;

Схема 1. Синтез алкіл 1-((бензо)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбоксилатів **3а-д** та відповідної 1,2,3-триазол-5-карбонової кислоти **4а**

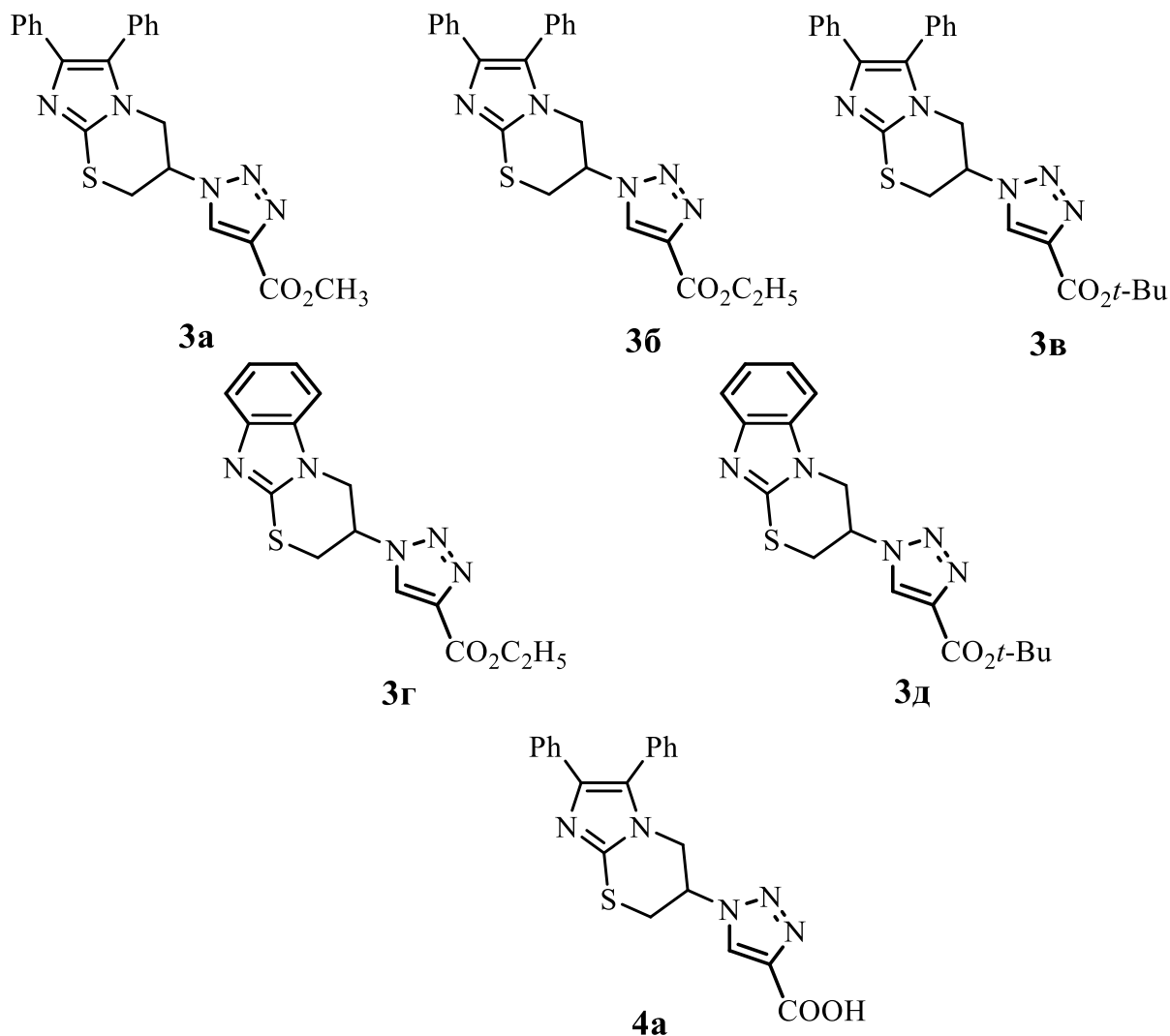


Рис 1. Сполуки, які досліджувалися на рістінгібуючу активність

показника життєздатності коливалось у межах 92,67–97,3 %. Відповідно за використання 0,1 %–0,0001 % концентрацій робочих розчинів показник маси проростка коливався від 0,021 г до 0,033 г та довжини – від 2,71 см до 3,81 см, що відповідно було нижче контролю на 0,019–0,007 г та 1,14–0,04 см. За умов обробки дистильованою водою (контроль) маса проростків становила 0,040 г, довжина – 3,85 см.

Близьким за дією характеризувався вплив на ріст і розвиток проростків *Cucumis sativus* сполук трет-бутил 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5H-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1H-1,2,3-триазол-5-карбоксилату **3в** та метил 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5H-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1H-1,2,3-триазол-5-карбоксилату **3а**. Замочування насіння у їх 0,01–0,001 % розчинах викликало загибель рослинного організму. Проте під час оцінки впливу

цих сполук на біометричні параметри зафіксовано певну закономірність їх дії. Так, під час оброблення 0,1–0,001 % розчинами сполуки **3в** показники маси проростка коливались у межах 0,048–0,052 г, довжини – 5,34–7,03 см. А під час оброблення сполуки **3а** 0,1–0,001 % розчинами показники маси проростка знаходились у межах 0,049–0,056 г, довжини – 4,86–6,57 см, тобто характеризувались майже однаковою силою росту і розвитку. У обох варіантах за використання сполук в концентрації 0,0001% спостерігалось пониження інтенсивності вияву інгібуючого ефекту, що забезпечило формування паростків масою 0,052 г та довжиною 7,03 см у **3в** й паростків масою 0,056 г та довжиною 6,57 см у **3а**. У контексті взаємозв'язку «структура – інгібуюча активність» слід зауважити, що особливістю досліджених сполук **3а**, **3в** є наявність метильного і трет-бутильного замісни-

Таблиця 1

Вплив (імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилатів на основні параметри *Cucumis sativus* на ранніх етапах органогенезу

Сполука	Показник	Варіант досліджу										НІР ₀₅
		Оброблення насіння					Оброблення проростка					
		дист. вода	0,1 %	0,01 %	0,001 %	0,0001 %	дист. вода	0,1 %	0,01 %	0,001 %	0,0001 %	
3а	Схожість/Життєздатність, %	100	–	–	–	–	100	96,7	97,3	98,3	100	3,12
	Маса одного проростка, г	0,058	–	–	–	–	0,058	0,049	0,051	0,053	0,056	0,02
	Довжина одного проростка, см	7,52	–	–	–	–	7,52	4,86	5,62	6,15	6,57	0,22
3б	Схожість/Життєздатність, %	100	–	–	–	–	100	96,7	96,7	97,3	97,3	3,35
	Маса одного проростка, г	0,078	–	–	–	–	0,078	0,067	0,078	0,081	0,082	0,01
	Довжина одного проростка, см	5,84	–	–	–	–	5,84	4,52	4,20	4,86	5,64	0,15
3в	Схожість/Життєздатність, %	98,3	–	–	–	–	98,3	97,3	97,3	97,3	100	3,04
	Маса одного проростка, г	0,054	–	–	–	–	0,054	0,048	0,049	0,051	0,052	0,02
	Довжина одного проростка, см	7,25	–	–	–	–	7,25	5,34	6,25	6,84	7,03	0,22
3г	Схожість/Життєздатність, %	100	–	–	–	–	100	97,3	98,0	98,3	99,3	3,43
	Маса одного проростка, г	0,086	–	–	–	–	0,086	0,076	0,081	0,079	0,084	0,01
	Довжина одного проростка, см	5,95	–	–	–	–	5,95	4,36	5,25	5,54	5,94	0,15
3д	Схожість/Життєздатність, %	100	–	–	–	–	100	92,0	92,67	94,0	96,0	3,57
	Маса одного проростка, г	0,094	–	–	–	–	0,094	0,084	0,086	0,087	0,093	0,01
	Довжина одного проростка, см	6,64	–	–	–	–	6,64	5,36	5,25	6,12	6,62	0,12
4а	Схожість/Життєздатність, %	98,3	–	–	–	–	98,3	95,33	92,67	96,7	97,3	2,86
	Маса одного проростка, г	0,040	–	–	–	–	0,040	0,021	0,032	0,032	0,033	0,03
	Довжина одного проростка, см	3,85	–	–	–	–	3,85	2,71	3,53	3,78	3,81	0,28

ків у карбоксильному фрагменті триазольного скаффолду та двох фенільних замісників імідазотіазинового циклу.

Результати досліджень впливу сполуки етил 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5Н-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1Н-1,2,3-триазол-5-карбоксилату **3б** на ріст і розвиток проростків свідчить про стабільний інгібуючий ефект при її використанні у концентраціях 0,1-0,001 %. Так, за обробки 0,1–0,001 % розчинами сполуки **3б** показники маси проростка коливались від 0,067 до 0,082 г, довжини – від 4,52 до 5,64 см. У варіанті за використання сполуки у концентрації 0,0001 %, практично не було зафіксовано інтенсивного прояву пригнічуючої дії сполуки. Відповідно показники маси та довжини проростків характеризувались наближено ідентичними показниками. За умов обробки дистильованою водою (контроль) маса проростків становила 0,078 г, довжина – 5,84 см. Подібним проявом ріст інгібуючої дії характеризується етил 1-(3,4-дигідро-2Н-бенз[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-3-іл)-1Н-1,2,3-триазол-5-карбоксилат **3г**. За обробки проростків *Cucumis sativus* 0,1–0,001 % концентраціями розчинів цієї сполуки показники маси проростка змінювався від 0,076 до 0,084 г, а довжини – від 4,36 до 5,94 см. У контексті

взаємозв'язку «структура – інгібуюча активність» слід зауважити, що особливістю досліджених сполук **3б**, **3г** є наявність етильного замісника у карбоксильному фрагменті триазолу, двох фенільних замісників або ж бензену в імідазольному циклі.

Аналіз даних щодо впливу сполуки трет-бутил 1-(3,4-дигідро-2Н-бенз[4,5]імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-3-іл)-1Н-1,2,3-триазол-5-карбоксилату **3д** на ріст і розвиток проростків свідчить про найменший пригнічуючий ефект під час її використання у концентраціях 0,1–0,001 %. Так, під час оброблення 0,1–0,001 % розчинами сполуки показники маси проростка коливались у межах 0,084–0,093 г, довжини – 5,36–6,62 см. Найнижчий негативний вплив спостерігався в концентрації 0,0001 %, де проростки характеризувались близькими до контролю масою та довжиною. За умов обробки дистильованою водою (контроль) маса проростків становила 0,094 г, довжина – 6,64 см.

В цілому аналіз ефективності прояву ріст інгібуючої активності сполук **3а-д** та **4а** свідчить, що найвищою пригнічуючою дією характеризується 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5Н-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1Н-1,2,3-триазол-5-карбонова кислота **4а**. Найсильніший прояв її інгібуючої дії характеризується

зниженням показника маси проростка на 0,019 г (52,5 %) та довжини на 1,14 см (70,4 %) в порівнянні з контролем. Присутність замісників (Me, Et, t-Bu) в карбоксильній групі зменшує інгібуючу дію (імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилатів, а присутність у імідазольному фрагменті двох фенільних груп у положеннях 2, 3, в свою чергу, сприяє посиленню пригнічуючого ефекту на ріст і розвиток проростків *Cucumis sativus*.

Отже, в результаті проведених досліджень, встановлено, що ефективність прояву ріст інгібуючого впливу алкіл 1-[(бензо)імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбоксилатів **3а-д** та 1-(2,3-дифеніл-6,7-дигідро-5*H*-імідазо[2,1-*b*][1,3]тіазин-6-іл)-1*H*-1,2,3-триазол-5-карбонової кислоти **4а** на ранніх етапах органогенезу рослинного організму *Cucumis sativus* залежить від будови сполуки, дози та способу її застосування (замочування, обробка). Залежно від інтенсивності та характеру впливу на протікання фізіологічних процесів у рослині, досліджувані сполуки можна розмістити у наступний ряд за збільшенням пригнічуючого ефекту: **3д** < **3г** < **3б** < **3а** < **3в** < **4а**. Оскільки синтезовані (імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилати характеризуються сильним і відносно стабільним пригнічуючим впливом у концентраціях від 0,1 до 0,001 %, то вони є перспективними для подальшого їх вивчення як складників «досходових» гербіцидів у боротьбі із дводольними рослинами.

Експериментальна частина. Для експерименту була використана культура – *Cucumis sativus*, яка належить до дводольних рослин. Дослід проводили у триразовій повторності. Вивчення особливостей впливу синтезованих (імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилатів на початкових стадіях розвитку рослинних організмів проводили за такими схемами:

Схема 1. Контроль (насіння витримували у дистильованій воді); насіння витримували у 0,1 %, 0,01 %, 0,001 % та 0,0001 % розчинах досліджуваної сполуки. Тривалість витримання – 24 год. Схожість насіння визначали відповідно до Державного стандарту України 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [15]. Розрахунок показника проводився у відносних

одиницях – відсотках від загальної кількості насіння, яка була використана для проростання, як середнє між трьома пробами (варіантами). Схожість насіння визначали наступним чином. Спочатку із чистого насіння відбирали три проби у кількості по 50 насінин відповідно на кожен варіант дослід. У подальшому насіння витримували протягом 24 год у дистильованій воді (контроль) та відповідних концентраціях досліджуваних розчинів синтезованих сполук (імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилатів. Приготування розчинів сполук проводили шляхом їх додавання у наступних дозах: 1000 мг/л (0,1 %), 100 мг/л (0,01 %), 10 мг/л (0,001 %), 1 мг/л (0,0001 %). Через 24 години витримання насіння у дистильованій воді та досліджуваних розчинах насіння поміщали на фільтрувальному папері у чашки Петрі. Чашки Петрі поміщали у термостат (Термостат ТС-80М-2), у якому підтримували температуру близько 25°C протягом 7 днів. На сьомий день експерименту відповідно до ДСТУ 4138-2002 проводили визначення схожості. Даний показник виражали відсотковим відношенням кількості насіння, що проросло, до загальної кількості висіяного.

Схема 2. Контроль (обробка проростків дистильованою водою); обробка проростків у 0,1 %, 0,01 %, 0,001 % та 0,0001 % розчинах синтезованих сполук (імідазо[2,1-*b*][1,3]-тіазин-6-іл)-1,2,3-триазоло-5-карбоксилатів. Перед початком експерименту проростки вирощували на дистильованій воді за дотриманням умов ДСТУ 4138-2002 (наведені вище, схема № 1). На 7-й день розвитку проростків розпочинали закладку дослід. Для цього спочатку відбирали три проби по 50 шт. непошкоджених та практично однакових по біометричним параметрам (відхилення у рості не більше 10 %) проростків на кожен варіант дослід. Потім проростки обробляли дистильованою водою (контроль) та розчинами досліджуваних сполук відповідних концентрацій. Приготування розчинів сполук проводили шляхом їх додавання у наступних дозах: 1000 мг/л (0,1 %), 100 мг/л (0,01 %), 10 мг/л (0,001 %), 1 мг/л (0,0001 %). Показник життєздатності проростків виражали відсотковим відношенням кількості проростків, що активно ростуть та розвиваються до загальної кількості, яку було використано під час

закладки досліду (50 шт.). Для встановлення впливу досліджуваних сполук на біометричні параметри сформованих проростків на 7-й (схема № 1) та 14-й день (схема № 2) проводили визначення середньої маси ваговим методом та довжини – вимірюванням. Ці показники визначали шляхом аналізу по 30 проростків з кожного варіанта досліду.

Досліджувані схеми дозволяють вивчити особливості впливу різних концентрацій досліджуваних сполук на фізіологічні процеси рослинного організму на стадії проростання насінини та формування проростка. Статистичну обробку результатів досліджень здійснювали методом дисперсійного аналізу за прописом, з використанням комп'ютерної програми Alfa.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ramos Rodríguez A.O., Magaña Vergara N.E., Mojica Sánchez J.P., Sumaya Martínez M.T., Gómez Sandoval Z., Cruz A., Ramos Organillo A. Synthesis, crystal structure, antioxidant activity and dft study of 2-aryl-2,3-dihydro-4H-[1,3]thiazino[3,2-a]benzimidazol-4-one. *Journal of Molecular Structure*. 2020. Vol. 1199. P. 127036.
2. Nikolova I., Slavchev I., Ravutsov M., Dangalov M., Nikolova Y., Zagranjarska I., Stoyanova A., Nikolova N., Mukova L., Grozdanov P., Nikolova R., Shivachev B., Kuz'min V. E., Ognichenko L. N., Galabov A. S., Dobrikov G. M. Anti-enteroviral activity of new MDL-860 analogues: Synthesis, in vitro/in vivo studies and QSAR analysis. *Bioorganic Chemistry*. 2019. Vol. 85. P. 487-497.
3. Gong J.-X., He Y., Cui Z.-L., Guo Y.-W. Synthesis, spectral characterization, and antituberculosis activity of thiazino[3,2-a]benzimidazole derivatives. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 2016. Vol. 191. № 7. P. 1036-1041.
4. Thompson A.M., O'Connor P.D., Marshall A.J., Francisco A.F., Kelly J.M., Riley J., Read K.D., Perez C.J., Cornwall S., Thompson R.C.A., Keenan M., White K.L., Charman S.A., Zulfiqar B., Sykes M.L., Avery V.M., Chatelain E., Denny W.A. Re-evaluating pretomanid analogues for Chagas disease: Hit-to-lead studies reveal both in vitro and in vivo trypanocidal efficacy. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2020. Vol. 207. P. 112849.
5. Meriç A., İncesu Z., Hatipoğlu İ. Synthesis of some 3,4-disubstituted-6,7-dihydro-imidazo[2,1-b][1,3]thiazole and 3,4-disubstituted-7,8-dihydro-6H-imidazo[2,1-b][1,3]thiazine derivatives and evaluation of their cytotoxicities against F2408 and 5RP7 cells. *Medicinal Chemistry Research*. 2008. Vol. 17. P. 30-41.
6. Schoeder C.T., Kaleta M., Mahardhika A.B., Olejarz-Maciej A., Łażewska D., Kieć-Kononowicz K., et al. Structure-activity relationships of imidazothiazinones and analogs as antagonists of the cannabinoid-activated orphan G protein-coupled receptor GPR18. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2018. Vol. 155. P. 381–397.
7. Kieć-Kononowicz K., Karolak-Wojciechowska J., Müller C.E., Schumacher B., Pękala E., Szymańska E. Imidazothiazine, -diazinone and -diazepinone derivatives. Synthesis, structure and benzodiazepine receptor binding. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2001. Vol. 36. № 5. P. 407–419.
8. Zhang B. Comprehensive review on the anti-bacterial activity of 1,2,3-triazole hybrid. *Eur. J. Med. Chem*. 2019. Vol. 168. P. 357-372.
9. Lal K., Yadav P. Recent Advancements in 1,4-Disubstituted 1H-1,2,3-Triazoles as Potential Anticancer Agents. *Anticancer Agents Med. Chem*. 2018. Vol. 18. № 1. P. 21-37.
10. Feng L.S., Xu Z., Chang L., Li C., Yan X.F., Gao C., Ding C., Zhao F., Shi F., Wu X. Hybrid molecules with potential *in vitro* antiplasmodial and *in vivo* antimalarial activity against drug-resistant *Plasmodium falciparum*. *Med. Res. Rev*. 2020. Vol. 40. № 3. P. 931-971.
11. Keri R.S., Patil S.A., Budagumpi S., Nagaraja B.M. Triazole: A Promising Antitubercular Agent. *Chem. Biol. Drug Des*. 2015. Vol. 86. № 4. P. 410-423.
12. Андреева Є.І., Зінченко В.А. Системні фунгіциди – інгібітори біосинтезу ергостерину. *Агро XXI*. 2002. № 4. С. 14-15.
13. Slyvka N., Saliyeva L., Holota S., Litvinchuk M., Shishkina M., Vovk M. Features of (Benzo)Imidazo[2,1-b][1,3]thiazine Mezylates Reaction with Nucleophilic Reagents. *Chemistry and Chemical Technology*. 2023. Vol. 17. № 3. P. 542–548.
14. Slyvka N.Yu., Saliyeva L.M., Litvinchuk M.B., Grozav A.M., Yakovychuk N.D., Vovk M.V. Regioselective synthesis of new (imidazo[2,1-b][1,3]-thiazin-6-yl)-1,2,3-triazole-5-carboxylates as potential antimicrobial agents. *Vopr Khim Khim Tekhnol*. 2023. № 5. P. 114–122.
15. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Державний стандарт України. Вид. офіц. [чинний від 2004-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2003. 173 с.

REFERENCES:

1. Ramos Rodríguez A.O., Magaña Vergara N.E., Mojica Sánchez J.P., Sumaya Martínez M.T., Gómez Sandoval Z., Cruz A., Ramos Organillo A. Synthesis, crystal structure, antioxidant activity and dft study of 2-aryl-2,3-dihydro-4H-[1,3]thiazino[3,2-a]benzimidazol-4-one. *Journal of Molecular Structure*. 2020. 1199. 127036.
2. Nikolova I., Slavchev I., Ravutsov M., Dangelov M., Nikolova Y., Zagranjarska I., Stoyanova A., Nikolova N., Mukova L., Grozdanov P., Nikolova R., Shivachev B., Kuz'min V. E., Ognichenko L. N., Galabov A. S., Dobrikov G. M. Anti-enteroviral activity of new MDL-860 analogues: Synthesis, in vitro/in vivo studies and QSAR analysis. *Bioorganic Chemistry*. 2019. 85. 487-497.
3. Gong J.-X., He Y., Cui Z.-L., Guo Y.-W. Synthesis, spectral characterization, and antituberculosis activity of thiazino[3,2-a]benzimidazole derivatives. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*. 2016. 191(7). 1036-1041.
4. Thompson A.M., O'Connor P.D., Marshall A.J., Francisco A.F., Kelly J.M., Riley J., Read K.D., Perez C.J., Cornwall S., Thompson R.C.A., Keenan M., White K.L., Charman S.A., Zulfiqar B., Sykes M.L., Avery V.M., Chatelain E., Denny W.A. Re-evaluating pretomanid analogues for Chagas disease: Hit-to-lead studies reveal both in vitro and in vivo trypanocidal efficacy. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2020. 207. 112849.
5. Meriç A., İncesu Z., Hatipoğlu İ. Synthesis of some 3,4-disubstituted-6,7-dihydro-imidazo[2,1-b][1,3]thiazole and 3,4-disubstituted-7,8-dihydro-6H-imidazo[2,1-b][1,3]thiazine derivatives and evaluation of their cytotoxicities against F2408 and 5RP7 cells. *Medicinal Chemistry Research*. 2008. 17. 30-41.
6. Schoeder C.T., Kaleta M., Mahardhika A.B., Olejarz-Maciej A., Łażewska D., Kieć-Kononowicz K., et al. Structure-activity relationships of imidazothiazinones and analogs as antagonists of the cannabinoid-activated orphan G protein-coupled receptor GPR18. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2018. 155. 381–397.
7. Kieć-Kononowicz K., Karolak-Wojciechowska J., Müller C.E., Schumacher B., Pękala E., Szymańska E. Imidazothiazine, -diazinone and -diazepinone derivatives. Synthesis, structure and benzodiazepine receptor binding. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2001. 36(5). 407–419.
8. Zhang B. Comprehensive review on the anti-bacterial activity of 1,2,3-triazole hybrid. *Eur. J. Med. Chem*. 2019. 168. 357-372.
9. Lal K., Yadav P. Recent Advancements in 1,4-Disubstituted 1H-1,2,3-Triazoles as Potential Anticancer Agents. *Anticancer Agents Med. Chem*. 2018. 18(1). 21-37.
10. Feng L.S., Xu Z., Chang L., Li C., Yan X.F., Gao C., Ding C., Zhao F., Shi F., Wu X. Hybrid molecules with potential *in vitro* antiplasmodial and *in vivo* antimalarial activity against drug-resistant *Plasmodium falciparum*. *Med. Res. Rev*. 2020. 40(3). 931-971.
11. Keri R.S., Patil S.A., Budagumpi S., Nagaraja B.M. Triazole: A Promising Antitubercular Agent. *Chem. Biol. Drug Des*. 2015. 86(4). 410-423.
12. Andreyeva E.I., Zinchenko V.A. (2002). Systemni funhitydy – inhibitory biosyntezy erhosterynu. [Systemic fungicides are inhibitors of ergosterol biosynthesis]. *Ahro XXI. – Agro XXI*. 4. 14-15. [in Ukrainian].
13. Slyvka N., Saliyeva L., Holota S., Litvinchuk M., Shishkina M., Vovk M. Features of (Benzo)Imidazo[2,1-b][1,3]thiazine Mezylates Reaction with Nucleophilic Reagents. *Chemistry and Chemical Technology*. 2023. 17(3) 542–548.
14. Slyvka N.Yu., Saliyeva L.M., Litvinchuk M.B., Grozav A.M., Yakovychuk N.D., Vovk M.V. Regioselective synthesis of new (imidazo[2,1-b][1,3]-thiazin-6-yl)-1,2,3-triazole-5-carboxylates as potential antimicrobial agents. *Vopr Khim Khim Tekhnol*. 2023. 5. 114–122.
15. DSTU 4138-2002 Nasynnya sil's'kogospodars'kih kul'tur. Metodi viznachennya yakosti. Derzhavnij standart Ukraïni. Vid. ofic. [chinnij vid 2004-01-01]. Kiïv: DP «UkrNDNC», 2003. 173s. [in Ukrainian].

УДК 547.78+547.789

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-2>

Іванна ДАНИЛЮК

кандидат хімічних наук, науковий співробітник відділу хімії функціональних гетероциклічних систем, Інституту органічної хімії НАН України, вул. Академіка Кухаря, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0002-6482-5963

Наталія КОВАЛЕНКО

кандидат хімічних наук, завідувач лабораторії кафедри хімії, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

ORCID: 0000-0003-2782-2787

Валентина ТОЛМАЧОВА

кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри хімії, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

ORCID: 0000-0002-4082-3381

Олена КОВТУН

Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вул. Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 01601

ORCID: 0000-0002-2253-8472

Ніна ЯКОВИЧУК

кандидат медичних наук, доцент кафедри мікробіології, Буковинський державний медичний університет, площа Театральна, 2, м. Чернівці, Україна, 58000

ORCID: 0000-0003-1332-9510

Аліна ГРОЗАВ

кандидат хімічних наук, доцент кафедри медичної та фармацевтичної хімії, Буковинський державний медичний університет, площа Театральна, 2, м. Чернівці, Україна, 58000

ORCID: 0000-0001-9821-0695

Леся САЛІЄВА

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Наталія СЛИВКА

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Михайло БОВК

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: Данилюк, І., Коваленко, Н., Толмачова, В., Ковтун, О., Яковичук, Н., Грозав, А., Салієва, Л., Сливка, Н., Вовк, М. (2023). Вивчення протибактеріальної

та протигрибкової активності деяких 4-тіометилфункціоналізованих тiazолів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 12–19, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-2>

ВИВЧЕННЯ ПРОТИБАКТЕРІАЛЬНОЇ ТА ПРОТИГРИБКОВОЇ АКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ 4-ТІОМЕТИЛФУНКЦІОНАЛІЗОВАНИХ ТІАЗОЛІВ

Тіазольне ядро є ключовим елементом структури таких фармакологічно важливих типів сполук як антибіотики (Penicillin, Ceftriaxone, Ampicillin, Cefotaxime, Amoxicillin) та протимікробні препарати (Muxothiazole, Sulfathiazole, Ethaboxam, Abafungin, Raviconazole). Поширеність тіазольного циклу в згаданих вище препаратах є вагомим підґрунтям для цілеспрямованого пошуку, скринінгу, розроблення та впровадження на його основі лікарських засобів із антимікробною дією. Саме тому, подане дослідження присвячене вивченню протибактеріальної та протигрибкової дії раніше синтезованих нових похідних 1,3-тіазолу, екзофункціоналізованих по положенню 4 арил- та гетарилтіозамісниками.

Отримані результати проведеного біоскринінгу показали, що 4-тіометилфункціоналізовані 1,3-тіазоли характеризуються помірною бактерицидною та фунгіцидною активностями, які оцінювали за величинами зон пригнічення росту тест-культур, а також за величинами мінімальної бактериостатичної концентрації (МБсК) та мінімальної фунгістатичної концентрації (МФсК) методом серійних розведень. З'ясовано, що найкращою антимікробною дією відзначається 3-(4-гідрокси-3-метоксифеніл)-2-(4-((5-нітро-1H-бензо[d]імідазол-2-ілтіо)метил)тіазол-2-іл)акрилонітрил **8** з МБсК 31.25 мкг/мл щодо бактерії *Enterococcus faecalis* ATCC 29212. При визначенні мінімальної фунгістатичної концентрації методом серійних розведень встановлено, що сполуки **4**, **7**, **10**, **13**, **14**, **16**, **21** виявилися більш селективними щодо грибка *Candida krusei* ATCC 6258 з МФсК 15.625-31.25 мкг/мл.

Ключові слова: 4-тіометилфункціоналізовані 1,3-тіазоли, тіоестери, протибактеріальна активність, протигрибкова активність, біоскринінг.

Ivanna DANYLIUK

Ph.D., Research Fellow at the Department of Chemistry of Functional Heterocyclic Systems, Institute of Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Akademika Kukharia str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0002-6482-5963

Nataliia KOVALENKO

Ph.D., Head of the laboratory of the Department of Chemistry, Dragomanov Ukrainian State University, 9 Pyrohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

ORCID: 0000-0003-2782-2787

Valentina TOLMACHOVA

Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Chemistry, Dragomanov Ukrainian State University, 9 Pyrohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

ORCID: 0000-0002-4082-3381

Olena KOVTUN

Associate Professor of the Department of Chemistry, Dragomanov Ukrainian State University, 9 Pyrohova str., Kyiv, Ukraine, 01601

ORCID: 0000-0002-2253-8472

Nina YAKOVYCHUK

Ph.D., Associate Professor of the Department of Microbiology, Bukovinian State Medical University, 2 Teatralna Square, Chernivtsi, Ukraine, 58000

ORCID: 0000-0003-1332-9510

Alina GROZAV

Ph.D., Associate Professor of the Department of Medical and Pharmaceutical Chemistry, Bukovinian State Medical University, 2 Teatralna Square, Chernivtsi, Ukraine, 58000

ORCID: 0000-0001-9821-0695

Lesya SALIYEVA

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Nataliia SLYVKA

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Mykhailo VOVK

Doctor of Chemistry, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Head of the Department of Chemistry of Functional Heterocyclic Systems, Director, Institute of Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Akademika Kukharia str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

To cite this article: Danyliuk, I., Kovalenko, N., Tolmachova, V., Kovtun, O., Yakovychuk, N., Grozav, A., Saliyeva, L., Slyvka, N., Vovk, M. (2023). Vyvchennia protybakterialnoi ta protyhrybkovoi aktyvnosti deiakykh 4-tiometylfunktsionalizovanykh tiazoliv [Investigation of antibacterial and antifungal activity of some 4-thiomethyl functionalized thiazoles]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 12–19, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-2>

INVESTIGATION OF ANTIBACTERIAL AND ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SOME 4-THIOMETHYL FUNCTIONALIZED THIAZOLES

The thiazole nucleus is a key element of the structure of such pharmacologically important types compounds as antibiotics (Penicillin, Ceftriaxone, Ampicillin, Cefotaxime, Amoxicillin) and antimicrobial drugs (Myxothiazole, Sulfathiazole, Ethaboxam, Abafungin, Ravuconazole). The prevalence of the thiazole cycle in the above-mentioned drugs is a strong basis for the purposeful search, screening, development and introduction of drugs with antimicrobial action based on it. That is why the present work is dedicated to the study of the antibacterial and antifungal activity of previously synthesized new 1,3-thiazole derivatives exofunctionalized at position 4 with aryl and heteroarylthio substituents.

The obtained results of the bioscreening showed that 4-thiomethyl-functionalized 1,3-thiazoles are characterized by moderate bactericidal and fungicidal activities, which were evaluated by the values of the zones of growth inhibition of test cultures, as well as by the values of the minimum bacteriostatic concentration (MBsK) and minimum fungicidal concentration (MfsK) by the method of serial dilutions. It was found that 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-(4-((5-nitro-1H-benzo[d]imidazol-2-ylthio)methyl)thiazol-2-yl)acrylonitrile **8** with a MBsK of 31.25 µg/ml against *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 bacteria. When determining the minimum fungistatic concentration by the method of serial dilutions, it was found that compounds 4,7,10,13,14,16,21 were more selective against *Candida krusei* ATCC 6258 with an MfsK of 15.625-31.25 µg/ml.

Key words: 4-thiomethyl-functionalized 1,3-thiazoles, thioesters, antibacterial activity, antifungal activity, bioscreening.

Інфекційні захворювання, які викликані мікробами, а саме бактеріями, грибами та вірусами, лікують за допомогою низки протимікробних препаратів. Однак, антибіотико-резистентність, несприятливі побічні ефекти, триваліший період лікування і неправильні терапевтичні результати, змушують розробляти більш ефективні протимікробні агенти, які в перспективі можуть використовуватись як ліки. Тому не втрачає актуальності постійний пошук нових протимікробних засобів. Однією із поширених стратегій досягнення в цьому напрямку позитивних результатів ґрунтується

на синтетичному конструюванні малих молекул для тестування їх як потенційних кандидатів у протимікробні препарати (Lagu, Yejella, Bhandare, Shaik, 2020). Серед них на особливу увагу заслуговують нітрогеномісні гетероцикли, які належать до найбільш значущих компонентів різноманітних фармацевтичних препаратів та є структурними мотивами близько 59% всіх низькомолекулярних лікарських препаратів (Vitaku, Smith, Njardarson, 2014). Зокрема, тiazоли, що поєднують у своїй структурі сульфур та нітроген у 5-членному ядрі, є важливими елементами цього роду сполук. Похідні тiazо-

золу завжди викликали зацікавленість дослідників завдяки своїм різноманітним хімічним, фізичним та фармакологічним властивостям. Зокрема, тіазольне ядро є ключовим компонентом природних пеніциліноподібних препаратів, відомих як антибіотики, вираженими представниками яких є Penicillin **1**, Ceftriaxone **2**, Ampicillin **3**, Cefotaxime **4**, Amoxicillin **5** та таких протимікробних засобів як Muxothiazole **6**, Sulfathiazole **7**, Ethaboxam **8**, Abafungin **9**, Ravuconazole **10** (рис. 1) (Mohanty, Behera, Behura, Shubhadarshinee, Mohapatra, Barick, Jali, 2022). Поширеність тіазольного циклу в згаданих вище препаратах є вагомим підґрунтям для цілеспрямованого пошуку, скринінгу, розроблення та впровадження на його основі лікарських засобів із антимікробною дією.

Зважаючи на викладене вище, видавалось доцільним провести оцінку протибактеріальної та протигрибкової дії раніше синтезованих нами нових похідних 1,3-тіазолу, екзофункціоналізованих по положенню 4 арил- та гетарилтіозамісниками (Danyliuk, Kovalenko, Tolmachova, Kovtun, Saliyeva, Slyvka, Holota, Kutrov, Tsapko, Vovk, 2023).

Ключовою для отримання цільових сполук для біологічних досліджень стала реакція Ганча 1,3-дібromoацетону **1** із похідними тіоамідів **2**, яка дозволила отримати бромометилзаміщені тіазоли **3**, які були використані як ефективні алкілюючі реагенти для низки тіофенолів та гетерилтіолів (схема 1). В результаті із високими виходами була синтезована мала бібліотека 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів **4** (схема 1, рис. 2).

Скринінг протибактеріальної та протигрибкової активності проведено мікрометодом серійних розведень відповідно до процедур Європейського комітету з тестування чутливості до антимікробних засобів (EUCAST) (Janowska, Andrzejczuk, Gawryś Wujec, 2023). Мінімальні бактериостатичні (фунгістатичні) та бактерицидні (фунгіцидні) концентрації 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів **1-22** в ДМСО визначали щодо референс-штамів бактерій (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Bacillus cereus* 10702, *Escherichia coli* ATCC 25928, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Shigella sonnei* ATCC 25931) та грибів (*Candida albicans*

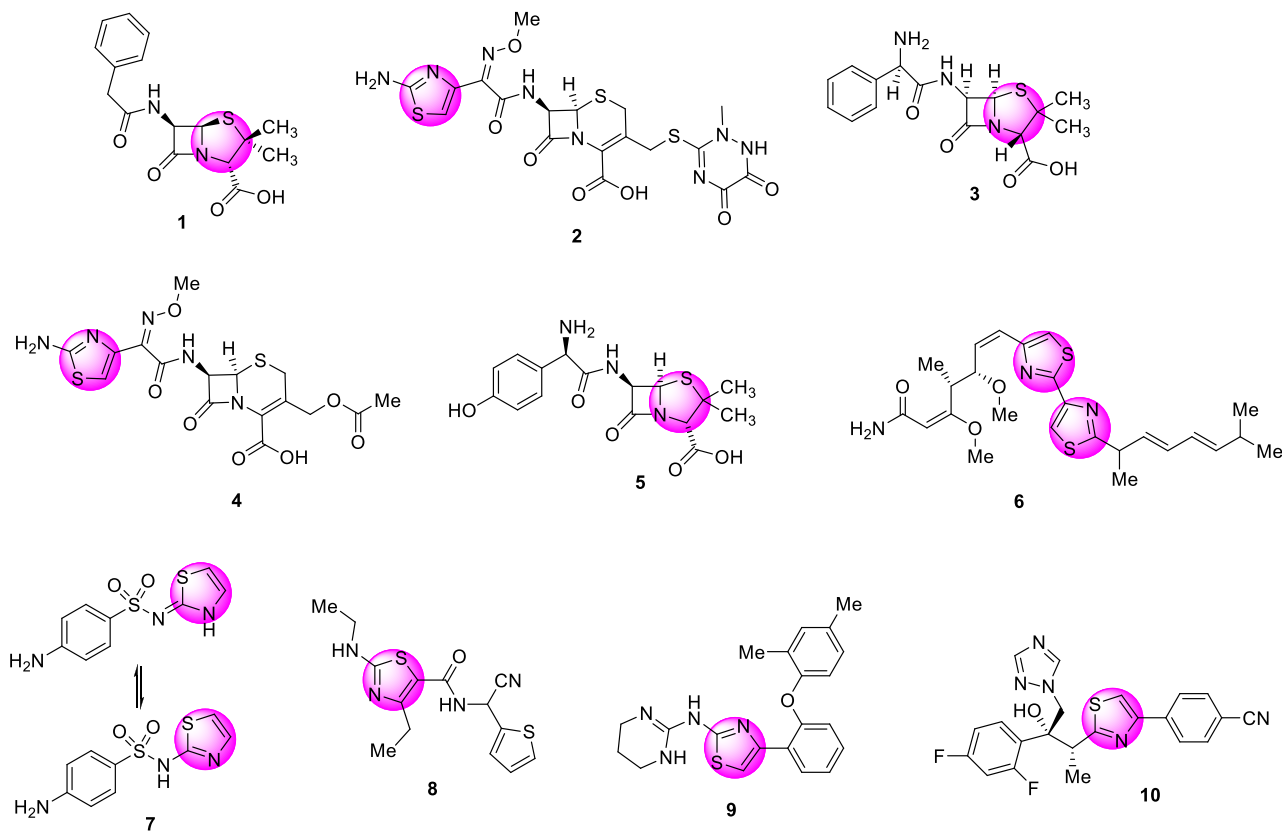


Рис. 1. Фармацевтичні препарати на основі тіазольного ядра

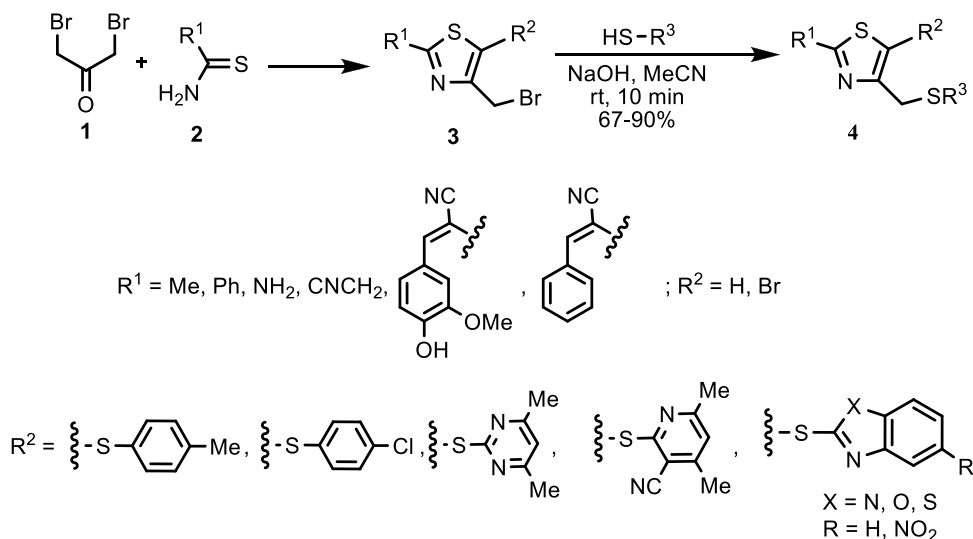


Схема 1. Синтез похідних 1,3-тіазолу, екзофункціоналізованих арил- та гетарилтіозамісниками

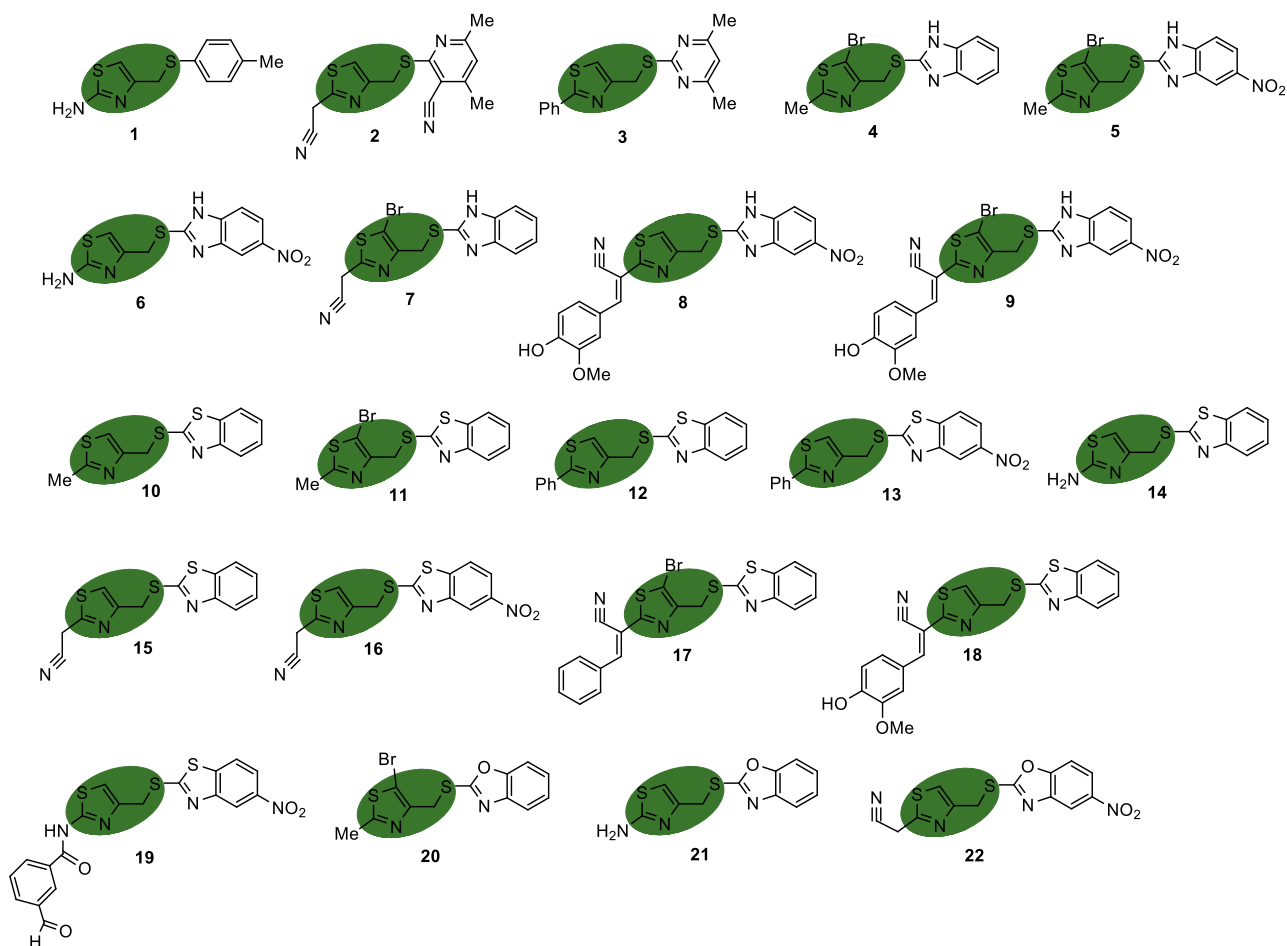


Рис. 2. Бібліотека 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів

ATCC 885-653, *Candida krusei* ATCC 6258, *Aspergillus niger* K9, *Aspergillus amstelodami* K12). За негативний контроль було взято ДМСО, який використовувався як розчинник, за пози-

тивний контроль у випадку протибактеріальної активності – антибактеріальний засіб Декасан (Nazarchuk, 2016), а у випадку протигрибкової активності – Клотримазол (Crowley, Gallagher,

2014), засіб з фунгіцидною активністю. Отримані результати біоскринінгу похідних 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів **1-22** (рис. 1) свідчать, що вони виявляють помірну протибактеріальну активність (мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) становила 31,25-500 мкг/мл) (табл. 1) та помірну протигрибкову дію (МІК становила 15,625-125 мкг/мл) (табл. 2).

Антистафілококова активність відносно штаму *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 проявляється в діапазоні концентрацій 62,5-500 мкг/мл. Найкращі результати зафіксовані при тестуванні 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів **7-9**, які містять бензімідазольний та ціанометильний(метиліденовий) фрагменти (МБсК=62,5 мкг/мл). Мінімальні бактеріостатичні та бактерицидні концентрації по відношенню до штамів *Bacillus cereus* 10702, *Escherichia coli* ATCC 25928, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Shigella sonnei* ATCC 25931 знаходяться в діапазоні 62,5-125 мкг/мл. Серед досліджуваної серії найнижча інгібуюча

концентрація (МБсК=31,25 мкг/мл) зафіксована на штамі *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 при дослідженні сполуки **8**, яка містить нітробензімідазольний фрагмент.

Противірибкова активність 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів **1-22** проявляється в діапазоні концентрацій 15,625-125 мкг/мл. Мінімальні фунгістатичні та фунгіцидні концентрації по відношенню до штамів *Candida albicans* ATCC 885-653 та *Aspergillus amstelodami* K12 знаходяться в діапазоні 62,5-125 мкг/мл і не мають визначеної специфічності. Мінімальна фунгістатична концентрація досліджуваних сполук по відношенню до штаму *Aspergillus niger* K9 становить 31,25-125 мкг/мл. Найнижча концентрація зафіксована при тестуванні сполуки **15**, яка містить бензотіазольний та ціанометильний фрагменти (МБсК=МБцК=31,25 мкг/мл). Найкращі результати протигрибкової активності виявлені при тестуванні відносно штаму *Candida krusei* ATCC 6258 (МБсК=15,625-62,5 мкг/мл). Сполуки **10** та **21**, які міс-

Таблиця 1

Противірибальна активність 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів 1-22

Сполука	<i>S. aureus</i>		<i>E. faecalis</i>		<i>B. cereus</i>		<i>E. coli</i>		<i>S. epidermidis</i>		<i>Sh. sonnei</i>	
	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК
1	500	500	62,5	125	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
2	125	125	125	250	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	125
3	125	125	125	250	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	125
4	125	125	62,5	125	125	125	62,5	62,5	125	125	125	125
5	125	125	125	250	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
6	125	125	62,5	125	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
7	62,5	125	62,5	125	125	125	62,5	62,5	125	125	125	125
8	62,5	125	31,25	62,5	125	125	62,5	125	125	125	125	125
9	62,5	62,5	62,5	62,5	125	125	62,5	62,5	125	125	125	125
10	250	250	62,5	125	125	125	125	125	125	125	125	125
11	125	125	125	250	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	125	125
12	125	125	125	250	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	125
13	250	250	62,5	125	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
14	250	250	62,5	125	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
15	250	250	62,5	125	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
16	125	125	62,5	125	125	125	62,5	62,5	125	125	125	125
17	125	125	125	250	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	125
18	125	125	125	250	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	125
19	125	125	125	250	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	125
20	125	125	125	250	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	125
21	125	125	62,5	125	125	125	125	125	125	125	125	125
22	125	125	125	250	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	125	125
ДМСО*	+		+		+		+		+		+	
Контроль*	0,48	0,97	3,9	7,81	0,97	1,95	1,95	3,9	7,81	15,625	7,81	15,625

* виявлено розмноження бактерій

** як контрольні препарати використовували Декасан (розчин декаметоксину 0,2 мг/мл) виробництва «Юрія- Фарм»

Протигрибкова активність 4-тіометилфункціоналізованих 1,3-тіазолів 1-22

Сполука	<i>C. albicans</i>		<i>C. krusei</i>		<i>Asp. niger</i>		<i>Asp. amtel.</i>	
	МФсК	МФцК	МФсК	МФцК	МФсК	МФцК	МФсК	МФцК
1	125	125	62,5	62,5	62,5	125	62,5	125
2	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
3	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
4	62,5	125	31,25	62,5	62,5	125	62,5	125
5	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
6	62,5	125	62,5	62,5	62,5	125	62,5	125
7	62,5	125	31,25	62,5	62,5	125	62,5	125
8	62,5	125	62,5	62,5	62,5	125	62,5	125
9	62,5	62,5	31,25	62,5	125	125	62,5	125
10	62,5	62,5	15,625	15,625	62,5	125	62,5	125
11	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
12	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
13	62,5	62,5	31,25	62,5	125	125	62,5	125
14	125	125	31,25	62,5	62,5	125	62,5	125
15	125	125	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	125
16	62,5	125	31,25	31,25	62,5	125	62,5	125
17	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
18	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
19	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
20	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
21	62,5	62,5	15,625	15,625	62,5	125	62,5	125
22	125	125	62,5	62,5	62,5	125	125	125
ДМСО*	+		+		+		+	
Контроль*	0,97	1,95	0,24	1,95	0,48	0,48	1,95	1,95

* виявлено розмноження бактерій

** як контрольні препарати використовували клотримазол (розчин клотримазолу 10 мг/мл) виробництва ПАТ НДЦ «Борцагівський ХФЗ».

тять бензтіазольне та бензоксазольне ядра відповідно зупиняють ріст даного грибка при концентрації 15,625 мкг/мл. Слід також звернути

увагу, що дана концентрація є не тільки фунгіцидною, а й фунгіцидною, що приводить до загибелі даного грибка.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Lagu, S.B., Yejella, R.P., Bhandare, R.R., Shaik, A.B. Design, synthesis, and antibacterial and antifungal activities of novel trifluoromethyl and trifluoromethoxy substituted chalcone derivatives. *Pharmaceuticals*. 2020. 13(11). P. 375-391.
2. Vitaku, E., Smith, D.T., Njardarson, J.T. Analysis of the structural diversity, substitution patterns, and frequency of nitrogen heterocycles among U.S. FDA approved pharmaceuticals. *J. Med. Chem.* 2014. 57. P. 10257-10274.
3. Mohanty, P., Behera, S., Behura, R., Shubhadarshinee, L., Mohapatra, P., Barick, A.K., Jali, B.R. Antibacterial activity of thiazole and its derivatives: A review. *Biointerface Res. Appl. Chem.* 2022. 12(2). P. 2171-2195.
4. Danyliuk, I., Kovalenko, N., Tolmachova, V., Kovtun, O., Saliyeva, L., Slyvka, N., Holota, S., Kutrov, G., Tsapko, M., Vovk, M. Synthesis and antioxidant activity evaluation of some new 4-thiomethyl functionalized 1,3-thiazoles. *Curr. Chem. Lett.* 2023. 12(4). P. 667-676.
5. Janowska, S., Andrzejczuk, S., Gawryś, P., Wujec, M. Synthesis and Antimicrobial Activity of New Mannich Bases with Piperazine Moiety. *Molecules*. 2023. 28(14). P. 5562-14776.
6. Nazarchuk, O. A. Antiseptics: modern strategy of struggle with causing agents of the infection complications. *Klin Khir.* 2016. 9. P. 59-61.
7. Crowley, P.D., Gallagher, H.C. Clotrimazole as a pharmaceutical: past, present and future. *J. Appl. Microbiol.* 2014. 117(3). P. 611-617.

REFERENCES:

1. Lagu, S.B., Yejella, R.P., Bhandare, R.R., Shaik, A.B. (2020). Design, synthesis, and antibacterial and antifungal activities of novel trifluoromethyl and trifluoromethoxy substituted chalcone derivatives. *Pharmaceuticals*, 13(11), 375-391.
2. Vitaku, E., Smith, D.T., Njardarson, J.T. (2014). Analysis of the structural diversity, substitution patterns, and frequency of nitrogen heterocycles among U.S. FDA approved pharmaceuticals. *J. Med. Chem.*, 57, 10257-10274.
3. Mohanty, P., Behera, S., Behura, R., Shubhadarshinee, L., Mohapatra, P., Barick, A.K., Jali, B.R. (2022). Antibacterial activity of thiazole and its derivatives: A review. *Biointerface Res. Appl. Chem.*, 12(2), 2171-2195.
4. Danyliuk, I., Kovalenko, N., Tolmachova, V., Kovtun, O., Saliyeva, L., Slyvka, N., Holota, S., Kutrov, G., Tsapko, M., Vovk, M. (2023). Synthesis and antioxidant activity evaluation of some new 4-thiomethyl functionalized 1,3-thiazoles. *Curr. Chem. Lett.*, 12(4), 667-676.
5. Janowska, S., Andrzejczuk, S., Gawryś, P., Wujec, M. (2023). Synthesis and Antimicrobial Activity of New Mannich Bases with Piperazine Moiety. *Molecules.*, 28(14), 5562–14776.
6. Nazarchuk, O.A. (2016). Antiseptics: modern strategy of struggle with causing agents of the infection complications. *Klin Khir.*, 9, 59-61.
7. Crowley, P.D., Gallagher, H.C. (2014). Clotrimazole as a pharmaceutical: past, present and future. *J. Appl. Microbiol.* 117(3), 611–617.

УДК 544.[344+228]:546.[57+28+18]’23

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-3>**Людмила ПІСКАЧ***кандидат хімічних наук, професор кафедри неорганічної та фізичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025***ORCID:** 0000-0003-3117-4006**Ірина СТЕЦА***магістер хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025***Любомир ГУЛАЙ***доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри неорганічної та фізичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025***ORCID:** 0000-0003-3495-5027

Бібліографічний опис статті: Піскач, Л., Стеца, І., Гулай, Л. (2023). Фазові рівноваги в системі $Ag_8SiSe_6-Ag_7PSe_6$. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 20–29, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-3>

ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СИСТЕМІ $Ag_8SiSe_6-Ag_7PSe_6$

Досліджено взаємодію в квазібінарній системі $Ag_8SiSe_6-Ag_7PSe_6$.

Сплави системи отримували із простих речовин високого ступеня чистоти (не менше як 99,99 мол.% основної речовини) прямим одномоментним методом в автоматичній муфельній печі МП-60 (максимальна температура синтезу складала 1220 К). Ідентифікацію вихідних сполук та дослідження отриманих сплавів здійснювали методами РФА, РСА та ДТА.

Система $Ag_8SiSe_6-Ag_7PSe_6$ є квазібінарним перерізом у квазіпотрійній системі $Ag_2Se-SiSe_2-P_2Se_5$ і характеризуються повною взаємною розчинністю компонентів як у рідкому стані так і в твердому між високотемпературними кристалічними модифікаціями цих сполук і відноситься до I типу за Розебомом. В підсолідусній області при 300 К між трьома однофазними областями знаходиться дві двофазні області: одна невелика в межах ~2-4 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ P2,3 + ПГ F-43т), а інша доволі значна від ~37 до 78 мол. % Ag_7PS_6 (ПГ P2,3 + ПГ F-43т).

Утворення твердих розчинів заміщення складів $Ag_{8-x}Si_{1-x}P_xSe_6$ ($x=0-1$) зі зростанням температури розширює область високотемпературної кубічної фази (ПГ F-43т).

Утворення НТМ твердих розчинів значно знижує температуру поліморфного переходу обох вихідних селенідів.

Методом порошку досліджено структуру двох окремих складів з твердих розчинів: $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ та $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$. При переході від складу Ag_7PSe_6 до $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ має місце заміщення P(V) → Si(IV) + Ag(I), тобто відбувається заміщення одного атома (P) двома атомами (Si і Ag). Атоми Si заміщують атоми P і утворюється статистична суміш M (P + Si). В той же час виникає додаткове положення атомів Ag (Ag4). При переході від складу Ag_8SiSe_6 до $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$ має місце заміщення Si(IV) + Ag(I) → P(V), тобто відбувається заміщення двох атомів (Si і Ag) одним атомом (P). Атоми P заміщують атоми Si і утворюється статистична суміш M (Si + P). В той же час зростає дефектність положень атомів Ag.

Ключові слова: рентгенофазовий аналіз, диференційно-термічний аналіз, граничний твердий розчин, необмежена розчинність.

Lyudmyla PISKACH*PhD in Chemistry, Professor, Department inorganic and physical chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025***ORCID:** 0000-0003-3117-4006**Iryna STETSA***M. S. (Chemistry), Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

Liubomyr HULAI

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

ORCID: 0000-0003-3495-5027

To cite this article: Piskach, L. Stetsa, I., Hulai, L. (2023). Fazovi rovnovahy v systemi Ag_8SiSe_6 – Ag_7PSe_6 [Phase equilibria in the Ag_8SiSe_6 – Ag_7PSe_6 system]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 20–29, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-3>

PHASE EQUILIBRIA IN THE Ag_8SiSe_6 – Ag_7PSe_6 SYSTEM

Interactions in the quasi-binary system Ag_8SiSe_6 – Ag_7PSe_6 were investigated. Alloys of the system were obtained from high purity elements (at least 99.99 mol.% of the principal) by a direct single-temperature method in an MP-60 automatic muffle furnace. The maximum synthesis temperature was 1220 K. The starting compounds and obtained alloys were identified by X-ray phase analysis, X-ray structure analysis and DTA methods.

The Ag_8SiSe_6 – Ag_7PSe_6 system is a quasi-binary section of the quasi-ternary system Ag_2Se – SiSe_2 – P_2Se_5 and is characterized by continuous mutual solubility of the high-temperature modifications of these compounds in both liquid and solid state. The phase diagram belongs to Type I of Roseboom classification. The sub-solidus region at 300 K features two two-phase regions between three single-phase regions, a small one in the range of 2–4 mol. % Ag_7PSe_6 (SG $P2_13$ + SG $F-43m$), and a quite significant one from 37 to 78 mol. % Ag_7PSe_6 (SG $P2_13$ + SG $F-43m$).

The formation of continuous solid solutions of substitution expressed as $\text{Ag}_{8-x}\text{Si}_{1-x}\text{P}_x\text{Se}_6$ ($x=0-1$) with increasing temperature expands the region of the high-temperature cubic phase (SG $F-43m$). The formation of the solid solutions of low-temperature modifications significantly lowers the temperature of the polymorphous transition of both starting selenides.

The crystal structure of two separate compositions of the solid solutions, $\text{Ag}_{7.2}\text{P}_{0.8}\text{Si}_{0.2}\text{Se}_6$ and $\text{Ag}_{7.7}\text{Si}_{0.7}\text{P}_{0.3}\text{Se}_6$, was investigated by X-ray powder method. The transition from Ag_7PSe_6 to $\text{Ag}_{7.2}\text{P}_{0.8}\text{Si}_{0.2}\text{Se}_6$ features the substitution $P(V) \rightarrow \text{Si}(IV) + \text{Ag}(I)$, i.e. one atom (P) is replaced by two atoms (Si and Ag). Si atoms replace P atoms to form a statistical mixture M (P + Si). An additional site of Ag atoms (Ag4) appears at the same time. In the transition from Ag_8SiSe_6 to $\text{Ag}_{7.7}\text{Si}_{0.7}\text{P}_{0.3}\text{Se}_6$ $\text{Si}(IV) + \text{Ag}(I) \rightarrow P(V)$ substitution takes place, i.e. two atoms (Si and Ag) are replaced by one atom (P). As P atoms replace Si atoms, a statistical mixture M (Si + P) is formed. At the same time, the occupation of the sites of Ag atoms decreases.

Key words: X-ray phase analysis, differential thermal analysis, boundary solid solution, unlimited solid solubility.

Вступ. Одним із етапів систематичного дослідження взаємодії халькогенідів є вивчення фазових рівноваг у багатокомпонентних системах за участю складних речовин, встановлення меж існування твердих розчинів на їх основі. Важливе місце займають системи типу $\text{A}_2^1\text{X}-\text{D}^{\text{IV}}\text{X}_2-\text{C}^{\text{V}}\text{X}_3$, де A^1 – Cu, Ag; D^{IV} – Si, Ge, Sn; C^{V} – P; X – S, Se, Te.

Системи $\text{A}_2^1\text{X}-\text{D}^{\text{IV}}\text{X}_2$ та $\text{A}_2^1\text{X}-\text{P}_2\text{X}_3$, в яких існують вихідні аргіродіти, в основному досліджені. Вони є квазібінарними. В системах $\text{A}_2^1\text{X}-\text{D}^{\text{IV}}\text{X}_2$ утворюється значна кількість сполук. Однак найбільшу зацікавленість в цих системах проявляється до таких сполук як $\text{A}_8^1\text{D}^{\text{IV}}\text{X}_6$ та $\text{A}_2^1\text{D}^{\text{IV}}\text{X}_3$, які вже знайшли широке застосування (Ahluwalia, 2017; Babanly, 1993).

Тернарна сполука Ag_8SiSe_6 , що існує на перетині Ag_2Se – SiSe_2 (Кохан, 1996; Gorochov, 1968; Venkatraman, 1995), плавиться конгруентно при 1203 (Кохан, 1996; Gorochov, 1968), 1258 (Venkatraman, 1995), чи 1268 К (Piskach,

2006) та має два поліморфних перетворення: при 283 К (Gorochov, 1968) та 313 К (Кохан, 1996; Gorochov, 1968). Через гідроліз зразків, близьких до сіліцій диселеніду, діаграма стану Ag_2Se – SiSe_2 побудована в роботах (Кохан, 1996; Gorochov, 1968) частково, повністю лише в роботі (Venkatraman, 1995). Модифікації Ag_8SiSe_6 вище і нижче 313 К кристалізується в кубічній сингонії, ВТ в ПГ $F-43m$ ($a=1,09700$ нм), СТ в ПГ $P2_13$ ($a=1,08700$ нм) (Gorochov, 1968). В фосфоровмісних системах утворюються сполуки A_7^1PX_6 також зі структурою аргіродиту (Kuhs, 1979). Дослідження фазових рівноваг у системі Ag – P – Se наведено в роботі (Поторій, 2016), однак в доступних літературних джерелах не виявлено взаємодії по перерізу Ag_2Se – P_2Se_5 , хоча є дані про конгруентний спосіб утворення Ag_7PSe_6 . Згідно (Поторій, 2016) вона плавиться при 973 К, а (Blachnik, 1980) – при 975 К. Ag_7PSe_6 при кімнатній температурі кристалізується в кубічній

структурі, що відповідає просторовій групі $P2_13$ ($a=1,0785$ нм). Відомо, що в діапазоні 406-453 К спостерігається поліморфне перетворення (Evain, 1998) у більш симетричну кубічну структуру з ПГ $F-43m$ ($a=1,0859$ нм): в (Beeken, 2008) воно зафіксовано при 406 К, у (Francisco, 1994) становить 435 К, а в (Evain, 1998) – 453 К.

Тернарні сполуки $A^I_8B^IVX_6$ та $A^I_7PX_6$, є перспективними для практичного використання і викликають особливий інтерес як матеріали з іонно-електронною провідністю на основі суперіонних провідників зі структурою аргіродиту. Матеріали на основі $A^I_8B^IVX_6$ знайшли використання у твердотільній іоніці, оскільки, мають значну катіонну провідність у твердому стані, а також володіють цінними фізико-хімічними і електро-фізичними властивостями (Ahluwalia, 2017; Babanly, 1993; Patsorn, 2018; Ishii, 2000). Ag_7PSe_6 є змішаним електронно-іонним провідником (Поторій, 2016). Останнім часом фосфоровмісні аргіродити купруму та аргентуму ($A^I_7C^VX_6$) активно досліджуються як високоефективні термоелектричні матеріали (Beeken, 2008; Reissig, 2019).

Тому перспективним є вивчення систем за участю аргіродитних селенідів різного типу у стабільному стані, яке дозволить встановити температурні та концентраційні межі існування нових твердих розчинів на основі вихідних сполук із подальшим вивченням їх властивостей та прогнозуванням практичного застосування.

Експериментальна частина. Для синтезу зразків використовували прості речовини високого ступеня чистоти: Ag (99,99 мас. %); Si (монокристалічний); P червоний (99,998 мас. %) та Se (99,999 мас. %).

Зважування розрахованих кількостей вихідних речовин проводили на терезах ВЛА-200 з точністю до $\pm 0,0005$ г з розрахунку на 1,5 г шихти в контейнери, які були виготовлені з кварцових трубок діаметром 8-10 мм і товщиною стінки $\sim 1,5$ мм. Їх вакуумували до залишкового тиску $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па.

Синтез зразків проводили прямим однотемпературним методом в автоматичній муфельній печі МП-60 з програмним регулятором температури ПР-04 за режимом: нагрів до температури 1220 К зі швидкістю 20 К/год; після 6 год витримки, температуру поступово понижували (~ 10 К/год) до 670 К. При цій температурі про-

водили відпал зразків протягом 200 год, далі сплави охолоджували в режимі виключеної печі.

Усі підготовлені зразки були проаналізовані з використанням ряду фізико-хімічних методів (РФА, РСА (окремі), ДТА). Порошкові рентгенограми отримували з використанням дифрактометра ДРОН 4-13 (CuK_α -випромінювання) з наступними параметрами: діапазон кутів $10^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$, крок – $0,05^\circ$, час експозиції в кожній точці – 4 с.

Дослідження кристалічної структури твердих розчинів виконано методом порошку за масивами експериментальних даних, отриманих за допомогою дифрактометра ДРОН 4-13 (CuK_α -випромінювання, інтервал кутів $10^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$, крок зйомки $0,05^\circ$, експозиція в кожній точці 20 с). Всі обчислення виконано за допомогою програми WinCSD (Akselrud, 2014).

ДТА проводили на установці, яка складалася з печі із регульованим нагрівом «Термодент-03» фірми НТФ Прогрет, блоку підсилення сигналу термодари. використовували попередньо прожарений протягом 10 год при 1170 К Al_2O_3 . Датчиком температури слугувала комбінована Pt/Pt-Rh термодара. Як еталон у ролі реперних речовин використовували Bi, Cd, Sn, Te, Sb, Ag, Cu (чистотою не менше 99,99 ат. %) та NaCl. Рівномірне нагрівання печі здійснювалося програмним управлінням зі швидкістю 10 К/хв, охолодження – в інерційному режимі. Максимальна температура нагріву становила не більше 1300 К. Точність реєстрації температурних ефектів становила ± 5 К.

Результати та їх обговорення. Фазові рівноваги по перетину Ag_8SiSe_6 – Ag_7PSe_6 всередині квазіпотрійної системи Ag_2Se – $SiSe_2$ – P_2Se_5 вивчалися по 10 сплавах для побудови політермічного перерізу (рис. 2). При 300 К згідно РФА двофазними є сплави складів 40-70 мол.% Ag_7PSe_6 .

За умов експерименту в системі Ag_2Se – $SiSe_2$ – P_2Se_5 підтверджено існування тернарних сполук Ag_8GeS_6 , Ag_7PS_6 . Результати РФА відпалених при 670 К і повільно охолоджених до 300 К сплавів (рис. 1) показали, що дифракційні відбиття в межах 80-100 мол. % Ag_7PSe_6 якісно аналогічні дифрактограмі НТМ вихідного аргентум(I) фосфатоселеніду (ПГ $P2_13$), в межах складів 5-30 мол. % Ag_7PS_6 – вказують на кристалізацію ВТМ обох сполук (ПГ $F-43m$). Сплав складу аргентум(I) сіліцій селеніду

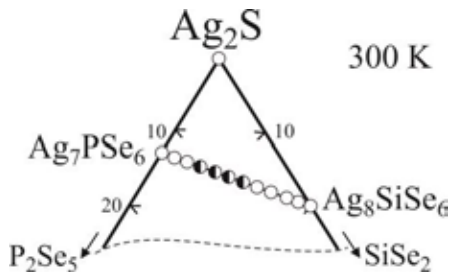


Рис. 1. Хімічний та фазовий склад сплавів по перетину $Ag_8SiSe_6 - Ag_7PSe_6$

демонструє суміш НТМ (ПГ $P2_13$ (незначний вміст)) та ВТМ Ag_8SiSe_6 (ПГ $F-43m$).

Із зміною складів проходить безперервне незначне зміщення ліній відбиття в межах

твердих розчинів. За даними порошкових дифрактограм розраховано параметри кристалічної решітки отриманих твердих розчинів, їх зміна має лінійну залежність від складу. Двофазними є сплави складів від 40 до 70 мол. % Ag_7PSe_6 .

Як видно, параметри ґраток в межах твердих розчинів лінійно зменшуються зі збільшенням вмісту Фосфору (рис. 3) (a – НТМ- Ag_8SiSe_6 , ПГ $P2_13$; b – НТМ- Ag_7PSe_6 , ПГ $P2_13$; v – ВТМ- $Ag_{8-x}Si_{1-x}P_xSe_6$, ПГ $F-43m$).

Також було досліджено структури двох окремих складів з твердих розчинів. Кристалічні структури фаз $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ та $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$ вивчені методом порошку і є окремими складами твердих розчинів на основі сполуки

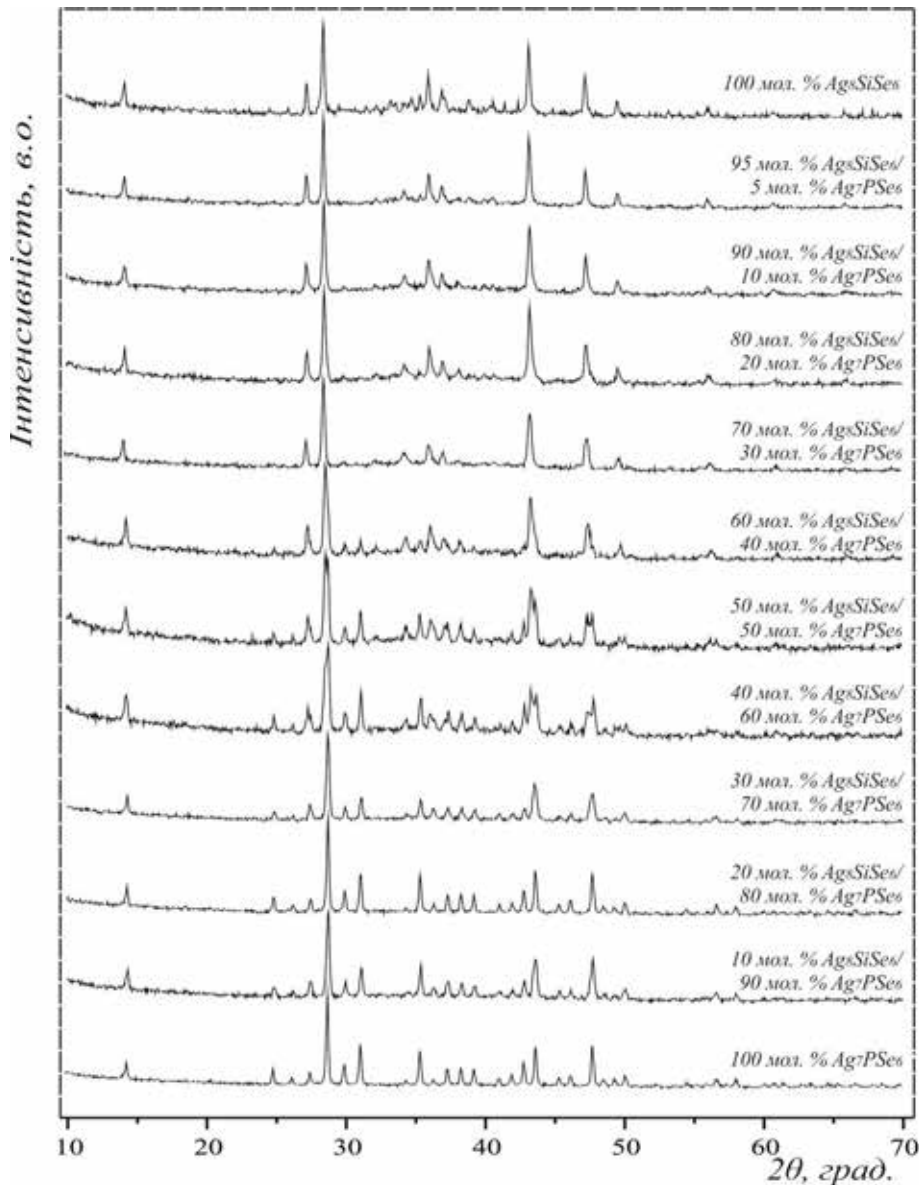


Рис. 2. Порошкограми сплавів системи $Ag_8SiSe_6 - Ag_7PSe_6$

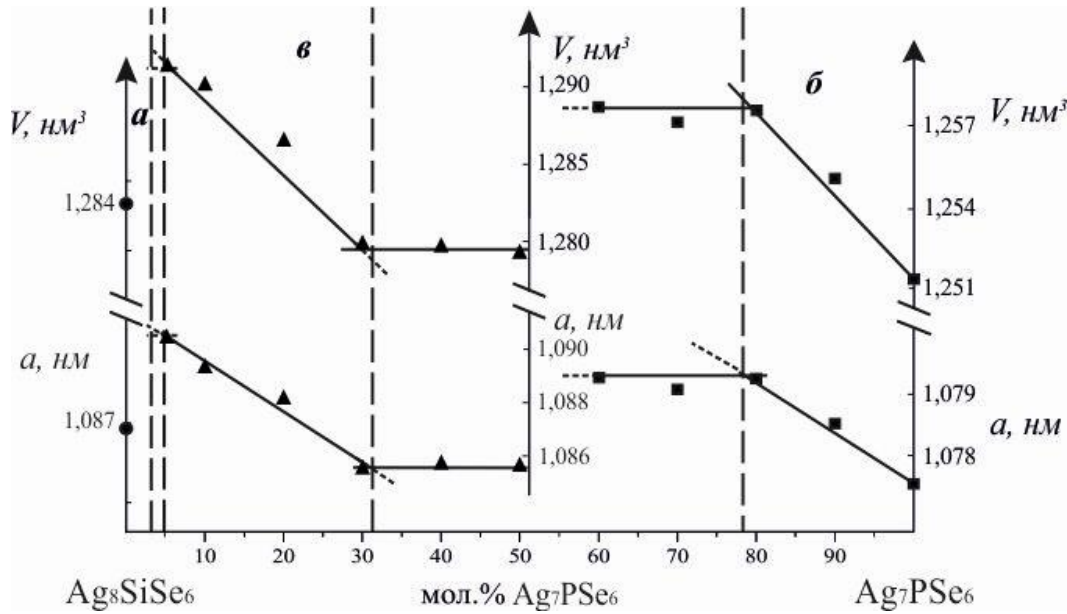


Рис. 3. Зміна параметрів елементарної ґратки у твердих розчинах системи $Ag_8SiSe_6-Ag_7PSe_6$

Ag_7PSe_6 (ПГ $P2_13$) та ВТМ обох тернарних сполук (ПГ $F-43m$).

Результати дослідження кристалічної структури $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ наведено в табл. 1, координати атомів та ізотропні теплові параметри подано в табл. 2. Експериментальна і розрахована дифрактограми та різниця між ними для $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ показані на рис. 4. Досліджувані склад $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ є окремим складом твердого розчину на основі низькотемпературної модифікації Ag_7PSe_6 . При переході від складу Ag_7PSe_6 до $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ має місце заміщення $P(V) \rightarrow Si(IV) + Ag(I)$, тобто відбувається заміщення одного атома (P) двома атомами (Si і Ag). Атоми Si заміщують атоми P і утворюється статистична суміш M (P + Si). В той же час виникає додаткове положення атомів Ag (Ag_4).

Таблиця 1

Результати дослідження кристалічної структури $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$

Емпірична формула	$Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$
Число формульних одиниць	4
Просторова група	$P2_13$
a (нм)	1,07703(3)
Об'єм комірки (нм ³)	1,2494(1)
Кількість атомів в комірці	56,8
Розрахована густина (г/см ³)	6,8088
Дифрактометр	ДРОН 4-13
Спосіб обрахунку	Повнопрофільний
Програма для обрахунку	WinCSD
R_p, R_w	0,0799, 0,2557

Міжатомні відстані та координаційні числа атомів Ag і M (P + Si) для $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$ наведені в табл. 3. Міжатомні відстані добре узго-

Таблиця 2

Координати атомів та ізотропні теплові параметри для $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$

Атом	ПСТ	x/a	y/b	z/c	Заповнення	$B_{iso} \times 10^2$ (нм ²)
Ag1	12b	0,0723(6)	0,9007(6)	0,7284(5)	1	1,76(9)
Ag2	12b	0,0140(6)	0,0079(6)	0,2782(5)	1	1,57(9)
Ag3	4a	0,3495(5)	x	x	1	2,6(2)
Ag4	4a	0,997(3)	x	x	0,2	4,5(7)
M	4a	0,752(2)	x	x	0,8P + 0,2Si	1,6(7)
Se1	4a	0,8737(6)	x	x	1	0,4(3)
Se2	12b	0,3596(6)	0,3772(7)	0,8763(7)	1	0,77(12)
Se3	4a	0,2166(7)	x	x	1	2,1(3)
Se4	4a	0,4879(8)	x	x	1	1,4(3)

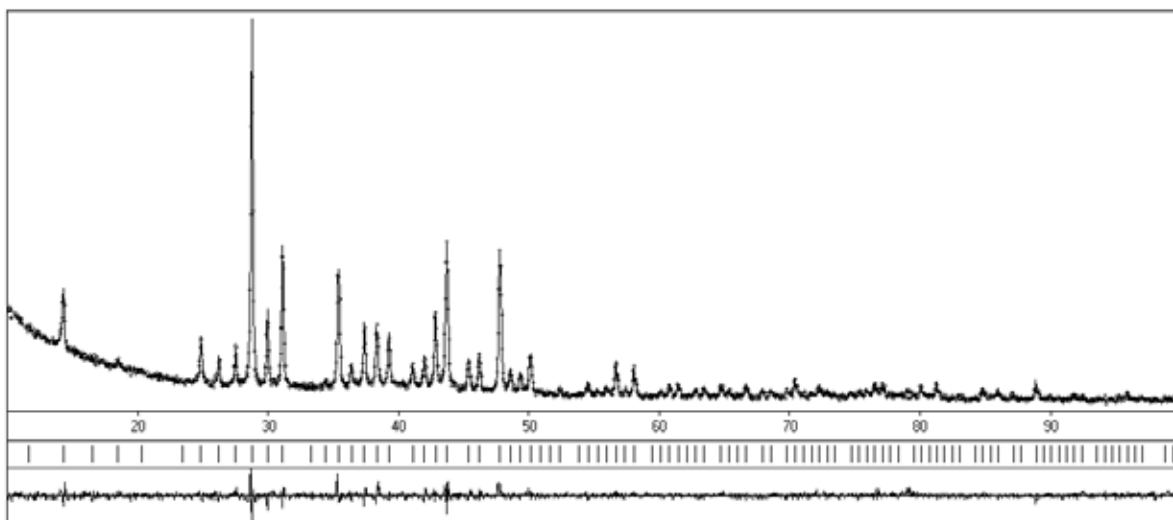


Рис. 4. Експериментальна і розрахована дифрактограми та різницєва між ними для $\text{Ag}_{7,2}\text{P}_{0,8}\text{Si}_{0,2}\text{Se}_6$

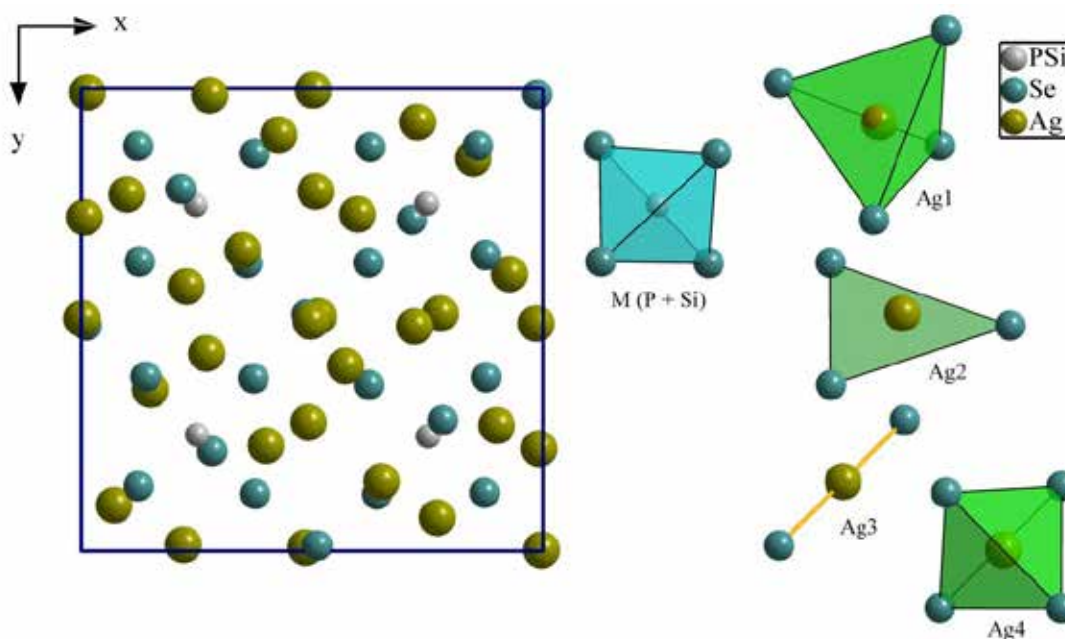


Рис. 5. Елементарна комірка та координаційні многогранники атомів Ag і M (P + Si) у структурі $\text{Ag}_{7,2}\text{P}_{0,8}\text{Si}_{0,2}\text{Se}_6$

джуються з сумою іонних радіусів. Елементарна комірка та координаційні многогранники атомів Ag і M (P + Si) у структурі $\text{Ag}_{7,2}\text{P}_{0,8}\text{Si}_{0,2}\text{Se}_6$ наведені на рис. 5. Для атомів Ag1, Ag4 і атомів статистичної суміші M (P + Si) існує тетрадричне оточення з атомів Se. Найближчими сусідами атомів Ag2 є три атоми Se, які формують трикутник. Атоми Ag2 розміщені поза площиною цього трикутника. Найближчими сусідами атомів Ag3 є два атоми Se.

Результати дослідження кристалічної структури $\text{Ag}_{7,7}\text{Si}_{0,7}\text{P}_{0,3}\text{Se}_6$ наведено в табл. 4, координати атомів та ізотропні теплові пара-

метри подано в табл. 5. Експериментальна і розрахована дифрактограми та різницєва між ними для $\text{Ag}_{7,7}\text{Si}_{0,7}\text{P}_{0,3}\text{Se}_6$ показані на рис. 6. Досліджуваний склад $\text{Ag}_{7,7}\text{Si}_{0,7}\text{P}_{0,3}\text{Se}_6$ є окремим складом твердого розчину на основі високотемпературної модифікації Ag_8SiSe_6 . При переході від складу Ag_8SiSe_6 до $\text{Ag}_{7,7}\text{Si}_{0,7}\text{P}_{0,3}\text{Se}_6$ має місце заміщення $\text{Si(IV)} + \text{Ag(I)} \rightarrow \text{P(V)}$, тобто відбувається заміщення двох атомів (Si і Ag) одним атомом (P). Атоми P заміщують атоми Si і утворюється статистична суміш M (Si + P). В той же час зростає дефектність положень атомів Ag.

Таблиця 3

Міжатомні відстані δ (нм)
та координаційні числа (К.Ч.)
атомів Ag і М (P + Si) для $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$

Атоми		δ , нм	К.Ч.
Ag1	-1 Se3	0,2605(10)	4
	-1 Se1	0,2666(9)	
	-1 Se4	0,2774(10)	
	-1 Se2	0,2839(9)	
Ag2	-1 Se4	0,2535(10)	3
	-1 Se2	0,2598(9)	
	-1 Se2	0,2658(9)	
Ag3	-1 Se3	0,2480(9)	2
	-1 Se4	0,2582(10)	
Ag4	-1 Se1	0,230(3)	4
	-3 Se2	0,243(3)	
M	-3 Se2	0,227(2)	4
	-1 Se1	0,228(2)	

Таблиця 4

Результати дослідження
кристалічної структури $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$

Емпірична формула	$Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$
Число формульних одиниць	4
Просторова група	$F-43m$
a (нм)	1,08339(7)
Об'єм комірки (нм ³)	1,2716(3)
Кількість атомів в комірни	58,8
Розрахована густина (г/см ³)	6,962
Дифрактометр	ДРОН 4-13
Спосіб обрахунку	Повнопрофільний
Програма для обрахунку	WinCSD
R_p, R_w	0,0868, 0,3739

Міжатомні відстані та координаційні числа атомів Ag і М (Si + P) для $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$ наведені в табл. 6. Міжатомні відстані добре узгоджуються з сумою іонних радіусів. Елемен-

Таблиця 5

Координати атомів та ізотропні теплові параметри для $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$

Атом	ПСТ	x/a	y/b	z/c	Заповнення	$B_{iso} \times 10^2$ (нм ²)
Ag1	48h	0,4421(10)	x	0,2228(13)	0,188(5)	1,2(4)
Ag2	48h	0,4831(11)	x	0,2082(8)	0,251(4)	1,8(3)
Ag3	96i	0,390(2)	0,409(3)	0,2581(13)	0,101(3)	2,2(4)
M	4d	3/4	3/4	3/4	0,7Si + 0,3P	0,8(8)
Se1	4a	0	0	0	1	2,4(4)
Se2	4c	1/4	1/4	1/4	1	2,8(4)
Se3	16e	0,6322(5)	x	x	1	1,43(14)

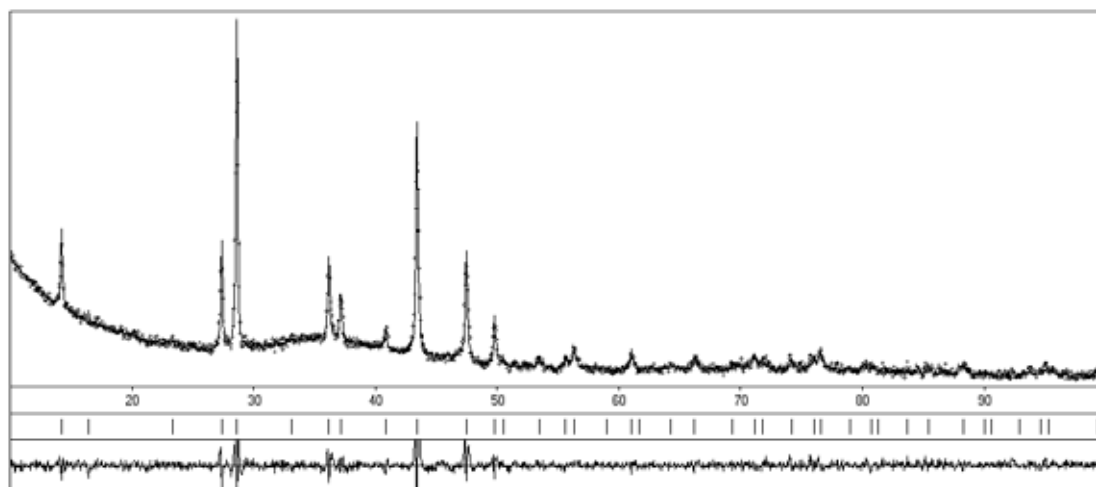


Рис. 6. Експериментальна і розрахована дифрактограми та різницєва між ними для $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$

тарна комірка та координаційні многогранники атомів Ag і M (Si + P) у структурі $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$ наведені на рис. 7. Для атомів Ag1, Ag3 і атомів статистичної суміші M (Si + P) існує тетраедричне оточення з атомів Se. Найближчими сусідами атомів Ag2 є три атоми Se, які формують трикутник. Атоми Ag2 розміщені поза площиною цього трикутника.

Таблиця 6
Міжатомні відстані δ (нм)
та координаційні числа (К.Ч.)
атомів Ag і M (Si + P) для $Ag_{7,2}P_{0,8}Si_{0,2}Se_6$

Атоми		δ , нм	К.Ч.
Ag1	-1 Se1	0,2571(14)	4
	-2 Se3	0,2712(13)	
	-1 Se2	0,2959(10)	
Ag2	-1 Se1	0,2270(8)	3
	-2 Se3	0,2676(11)	
Ag3	-1 Se2	0,230(2)	4
	-1 Se3	0,270(2)	
	-1 Se3	0,291(2)	
	-1 Se1	0,320(2)	
M	-4 Se3	0,2211(5)	4

Результати РФА добре узгоджуються із даними ДТА. Переріз Ag_8SiSe_6 - Ag_7PSe_6 є квазібінарним (рис. 8) і характеризується утворенням неперервного ряду твердих розчинів без екстремальних точок на кривих ліквідусу та солідусу між ВТМ- Ag_8SiSe_6 та ВТМ- Ag_8PSe_6 . Утворення γ -необмеженого ряду твердих розчинів (I тип за Розебомом) зумовлюється ізоструктурністю кристалічних ґраток ($PIF-43m$) і близькістю параметрів елементарних комірок високотемпературних модифікацій вихідних тернарних сполук.

Температура поліморфного переходу Ag_8PSe_6 знижується, а НТМ Ag_8SiSe_6 при даних умовах синтезу проявляється лише на складі сіліційвмісного аргіродіту. Це призводить до стабілізації кубічної фази ($PIF-43m$), що є g-твердим розчином $Ag_{8-x}Si_{1-x}P_xSe_6$ ($x=0-1$) на основі високотемпературних модифікацій обох вихідних сполук, в області складів 5-37 мол. % Ag_8PSe_6 при 300 К і вищій температурі. Область гомогенності на основі НТМ- Ag_8SiSe_6 становить менше 5 мол.%, а на основі НТМ- Ag_8PSe_6 є трохи більшою за 20 мол. %.

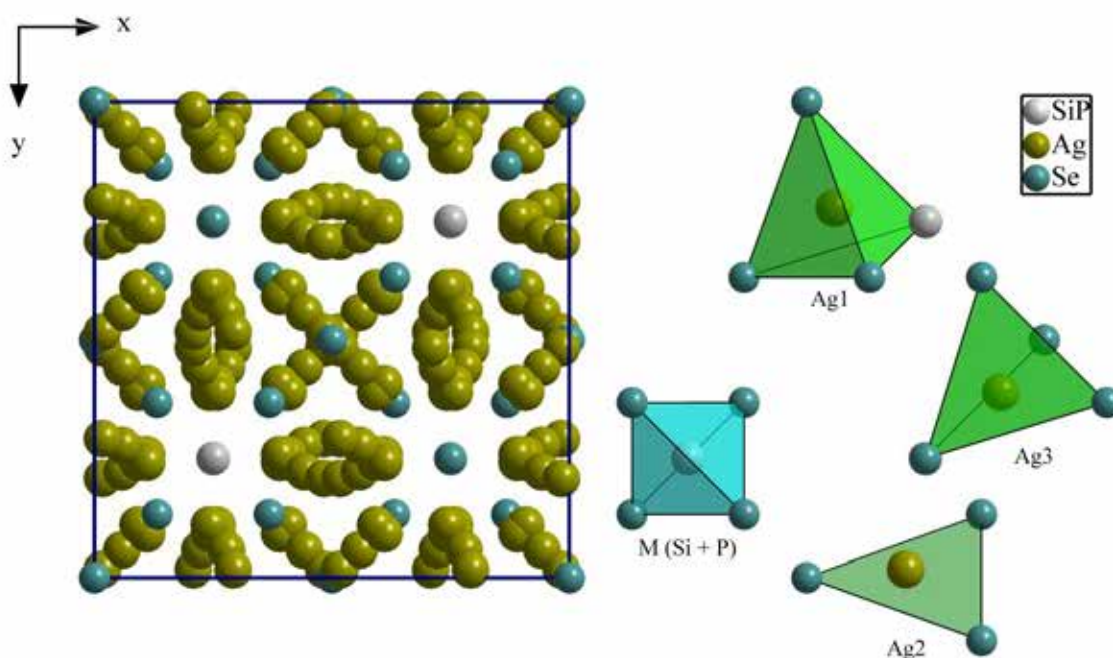


Рис. 7. Елементарна комірка та координаційні многогранники атомів Ag і M (Si + P) у структурі $Ag_{7,7}Si_{0,7}P_{0,3}Se_6$

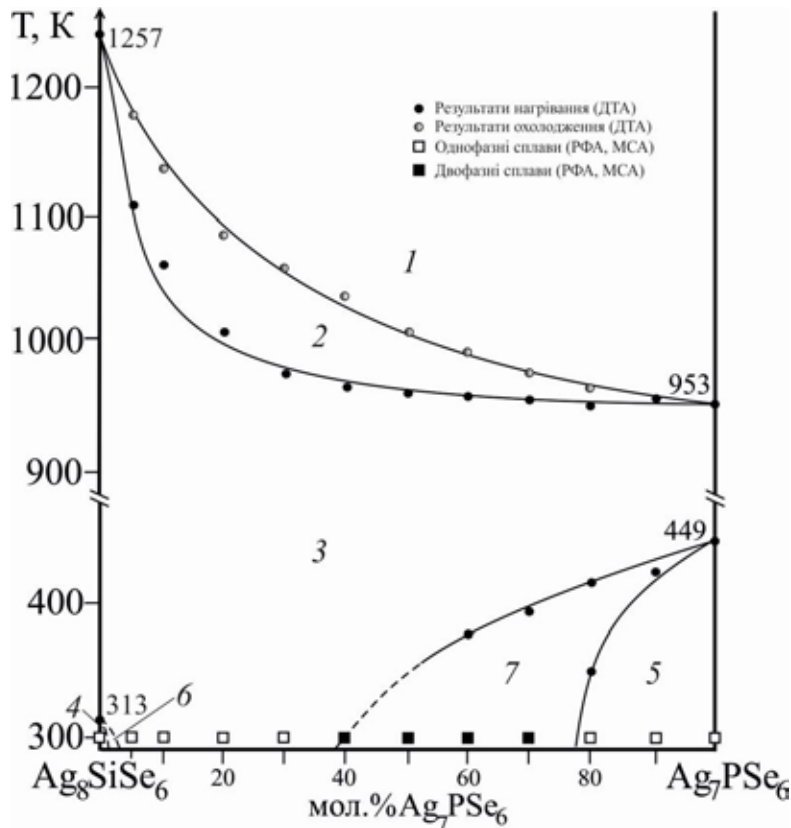


Рис. 8. Діаграма стану системи $\text{Ag}_8\text{SiSe}_6\text{-Ag}_7\text{PSe}_6$ (1 – L; 2 – L+ γ ; 3 – γ ; 4 – α ; 5 – β ; 6 – $\alpha+\gamma$; 7 – $\beta+\gamma$)

Висновки. Досліджена взаємодія між аргентумовмісними аргіродитними селенідними фазами від кімнатної до їх температур плавлення. Переріз $\text{Ag}_8\text{SiSe}_6\text{-Ag}_7\text{PSe}_6$ квазібінарний у всьому кон-

центраційному інтервалі. В системі існують обмежені тверді розчини на основі НТ-модифікацій та необмежені тверді розчини кубічної сингонії між ВТ-модифікаціями (ПГ F-43m).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ahluwalia G. K. Applications of Chalcogenides: S, Se, and Te : book. *Switzerland*: Springer, 2017. 474 p.
2. Babanly M. B., Yusibov Y. A., Abishev V. T. Ternary Chalcogenides Based on Copper and Silver. *Baku* : BSU Publisher, 1993. 341 p.
3. Кохан О. П. Взаємодія в системах $\text{Ag}_2\text{X-B}^{\text{IV}}\text{X}_2$ (B^{IV} – Si, Ge, Sn; X – S, Se) і властивості сполук : дис. ... канд. хім. наук : 02.00.01. Ужгород, 1996. 21 с.
4. 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.
5. Venkatraman M., Blachnik R., Schlieper A. The phase diagrams of $\text{M}_2\text{X-SiX}_2$ (M is Cu, Ag; X is S, Se) // *Thermochimica Acta*. 1995. Vol. 249. P. 13-20. Doi:10.1016/0040-6031(95)90666-5
6. Piskach L. V., Parasyuk O. V., Olekseyuk I. D. Interaction of argyrodite family compounds with the chalcogenides of II-b elements. *Journal of Alloys and Compounds*. 2006. Vol. 421(1-2). P. 98-104. Doi: 10.1016/j.jallcom.2005.11.056
7. Kuhs W.R., Nitsche R., Scheunemann K. The argyrodites – a new family of tetrahedrally close-packed structures. *Materials Research Bulletin*. 1979. Vol. 14(2). P. 241-248. Doi: 10.1016/0025-5408(79)90125-9.
8. Поторій М.В., Мілян П.М. Закономірності та особливості взаємодії компонентів в системах Me-P-S(Se), де Me – Cu, Ag, Zn, Cd, In, Tl, Sn, Pb, Sb, Bi. *Український Хімічний журнал*. 2016. Т. 82(2). С. 71-78.
9. Blachnik R., Wickel U. Phasenbeziehungen im System Ag-As-S und thermochemisches Verhalten von Ag_7MX_6 -Verbindungen (M = P, As, Sb; X = S, Se). *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1980. Vol. 35 b(10). P. 1268-1271. Doi: <https://doi.org/10.1515/znb-1980-1019>
10. Evain M., Gaudin E., Boucher F., Petricek V., Taulelle F. Structures and Phase Transitions of the A_7PSe_6 (A = Ag, Cu) Argyrodite-Type Ionic Conductors. I. Ag_7PSe_6 . *Acta Crystallographica*. 1998. B 54, P. 376-383. Doi:10.1107/S0108768197019654

11. Beeken R.B., Driessen C.R., Hinaus B.M., Pawlisch D.E. Electrical conductivity of Ag_7PSe_6 and Cu_7PSe_6 . *Solid State Ionics*. 2008. Vol. 179. P. 1058-1060. Doi: 10.1016/j.ssi.2008.01.014
12. Francisco R.H.P., Eckert H. Compound Formation and Local Structure in Ternary Metal-Phosphorus-Selenium Systems // *Journal of Solid State Chemistry*. 112(2). 1994. P. 270-276. <https://doi.org/10.1006/jssc.1994.1303>
13. Patsorn Boon-on, Belete Asefa Aragaw, Chun-Yen Lee, Jen-Bin Shic, Ming-Way Lee. Ag_8SnS_6 : a new IR solar absorber material with a near optimal bandgap. *RSC Advances*. 2018. № 8. P. 39470-39476. <https://doi.org/10.1039/C8RA08734B>
14. Ishii M., Onoda M., Chen Xue-an, Wada H., Shibata K. Vibrational spectra and phase transitions of Cu_8MX_6 (M – Si, Ge; X – S, Se) and Cu_4GeS_4 . *Solid State Ionics*. 2000. Vol. 136-137(1-2). P. 403-407. DOI: 10.1016/S0167-2738(00)00469-0
15. Reissig F., Heep B., Panthöfer M., Wood M., Anand S., Snyder G.J., Tremel W. Effect of anion substitution on the structural and transport properties of argyrodites $\text{Cu}_7\text{PSe}_{6-x}\text{S}_x$. *Dalton Transactions*. 2019. Vol. 48. P. 15822-15829. <https://doi.org/10.1039/C9DT03247A>
16. Akselrud L. G., Grin' Yu. N., Zavalij P. Yu. WinCSD: Software package for crystallographic calculations (Version 4). *Journal of Applied Crystallography*. 2014. Vol. 47(2). P. 803–805. <https://doi.org/10.1107/S1600576714001058>

REFERENCES:

1. Ahluwalia G. K. Applications of Chalcogenides: S, Se, and Te : book. *Switzerland*: Springer, 2017. 474 p.
2. Babanly M. B., Yusibov Y. A., Abishev V. T. Ternary Chalcogenides Based on Copper and Silver. *Baku : BSU Publisher*, 1993. 341 p. [in Azerbaijan]
3. 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]
4. Gorochov O. Les composes Ag_8MX_6 (M=Si, Ge, Sn et X=S, Se, Te). *Bulletin de la Société Chimique de France*. 1968. 6. 2263–2275. [in France]
5. Venkatraman M., Blachnik R., Schlieper A. The phase diagrams of $\text{M}_2\text{X}-\text{SiX}_2$ (M is Cu, Ag; X is S, Se) // *Thermochimica Acta*. 1995. 249. 13-20. Doi:10.1016/0040-6031(95)90666-5.
6. Piskach L. V., Parasyuk O. V., Olekseyuk I. D. Interaction of argyrodite family compounds with the chalcogenides of II-b elements. *Journal of Alloys and Compounds*. 2006. 421. 98–104. Doi: 10.1016/j.jallcom.2005.11.056.
7. Kuhs W.R., Nitsche R., Scheunemann K. The argyrodites – a new family of tetrahedrally close-packed structures. *Materials Research Bulletin*. 1979. 14(2). 241-248. Doi: 10.1016/0025-5408(79)90125-9.
8. Potorii M.V., Milian P.M. Zakonomirnosti ta osoblyvosti vzaemodii komponentiv v systemakh $\text{Me}-\text{P}-\text{S}(\text{Se})$, de $\text{Me} - \text{Cu, Ag, Zn, Cd, In, Tl, Sn, Pb, Sb, Bi}$. [Regularities and features of the interaction of components in $\text{Me}-\text{P}-\text{S}(\text{Se})$ systems, where Me is Cu, Ag, Zn, Cd, In, Tl, Sn, Pb, Sb, Bi]. *Ukrainian Chemical Journal*. 2016. 82(2). 71-78. [in Ukrainian]
9. Blachnik R., Wickel U. Phasenbeziehungen im System $\text{Ag}-\text{As}-\text{S}$ und thermochemisches Verhalten von Ag_7MX_6 -Verbindungen (M = P, As, Sb; X = S, Se). *Zeitschrift für Naturforschung B*. 1980. 35 b(10). 1268-1271. Doi: <https://doi.org/10.1515/znb-1980-1019>.
10. Evain M., Gaudin E., Boucher F., Petricek V., Taulelle F. Structures and Phase Transitions of the A_7PSe_6 (A = Ag, Cu) Argyrodite-Type Ionic Conductors. I. Ag_7PSe_6 . *Acta Crystallographica*. 1998. 54. 376-383. Doi:10.1107/S0108768197019654.
11. Beeken R.B., Driessen C.R., Hinaus B.M., Pawlisch D.E. Electrical conductivity of Ag_7PSe_6 and Cu_7PSe_6 // *Solid State Ionics*. 2008. 179. 1058-1060. Doi: 10.1016/j.ssi.2008.01.014.
12. R.H.P. Francisco, H. Eckert Compound Formation and Local Structure in Ternary Metal-Phosphorus-Selenium Systems // *Journal of Solid State Chemistry*. 112. 1994(2). 270-276. <https://doi.org/10.1006/jssc.1994.1303>.
13. Patsorn Boon-on, Belete Asefa Aragaw, Chun-Yen Lee, Jen-Bin Shic, Ming-Way Lee. Ag_8SnS_6 : a new IR solar absorber material with a near optimal bandgap. *RSC Advances*. 2018. 8. 39470-39476. <https://doi.org/10.1039/C8RA08734B>.
14. Ishii M., Onoda M., Chen Xue-an, Wada H., Shibata K. Vibrational spectra and phase transitions of Cu_8MX_6 (M – Si, Ge; X – S, Se) and Cu_4GeS_4 . *Solid State Ionics*. 2000. 136-137(1-2). 403-407. DOI: 10.1016/S0167-2738(00)00469-0.
15. Reissig F., Heep B., Panthöfer M., Wood M., Anand S., Snyder G.J., Tremel W. Effect of anion substitution on the structural and transport properties of argyrodites $\text{Cu}_7\text{PSe}_{6-x}\text{S}_x$. *Dalton Transactions*. 2019. 48. 15822-15829. <https://doi.org/10.1039/C9DT03247A>.
16. Akselrud L. G., Grin' Yu. N., Zavalij P. Yu. WinCSD: Software package for crystallographic calculations (Version 4). *Journal of Applied Crystallography*. 2014. 47(2). 803-805. <https://doi.org/10.1107/S1600576714001058>.

УДК 378.016:54(477)

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

Галина РІЗАК

кандидат фармацевтичних наук, доцент кафедри органічної хімії Навчально-наукового інституту хімії та екології, Ужгородський національний університет, площа Народна, 3, м. Ужгород, Закарпатська область, Україна, 88000

ORCID: 0000-0002-0230-2366

Бібліографічний опис статті: Різак, Г. (2023). Інноваційні методи викладання органічної хімії: вплив на розуміння та зацікавленість студентів хімічних та фармацевтичних спеціальностей. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 30–38, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-4>

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ: ВПЛИВ НА ЗРОЗУМІННЯ ТА ЗАЦІКАВЛЕНІСТЬ СТУДЕНТІВ ХІМІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Метою дослідження є розкрити загальні характеристики навчальної дисципліни «Органічна хімія» та пояснити особливості використання інноваційних методів її викладання студентам хімічних та фармацевтичних спеціальностей. У статті проаналізовано підходи до визначення інноваційного методу, сформульовано його характерні ознаки та здійснено класифікацію інноваційних методів викладання органічної хімії залежно від виду занять: лекції, практичні заняття, лабораторна робота, самостійна робота. Для досягнення мети застосовано загальнонаукові методи (аналіз та синтез, індукція, класифікація та узагальнення), що забезпечили вивчення науково-педагогічної проблеми та встановлення об'єктивних закономірностей дослідження. Автором наголошено, що інноваційні методи спрямовані на вдосконалення освітнього процесу та підготовку майбутніх фахівців до професійної діяльності. Водночас аргументовано, що інновації в навчанні – це застосування нових технологій та прийомів для досягнення педагогічної інтенції. Підкреслено, що інноваційні методи викладання органічної хімії характеризуються певними ознаками, а саме: активність, технологічність, наявність зворотного зв'язку, альтернативність, сучасність, використання інформаційно-комунікаційних технологій, підвищення зацікавленості до навчання. З'ясовано, що під час лекції використовують навчальну демонстрацію, відео, командне викладання, дебати, запитання та відповідь, змішане навчання. У процесі проведення практичних занять ефективними є ігри, «мозкова атака», тренінг, розгляд ситуації, практичні вправи, моделювання; під час лабораторної роботи – фронтальні дослідження, електронний лабораторний практикум, горизонтальне навчання та ротація лабораторій. Також обґрунтовано, що виконання самостійної роботи передбачає застосування і таких інноваційних методів, як: проектна діяльність, робота з електронними підручниками, індивідуальні та групові консультації. Результатом дослідження є визначення переваг інноваційних методів викладання органічної хімії.

Ключові слова: органічна хімія, інноваційні методи, професійно-практична підготовка, практико-орієнтоване навчання, активність, інтерес.

Galina RIZAK

Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of the Department of Organic Chemistry of the Educational and Scientific Institute of Chemistry and Ecology, Uzhhorod National University, 3 Narodna Square, Uzhhorod, Transcarpathian region, Ukraine, 88000

ORCID: 0000-0002-0230-2366

To cite this article: Rizak, G. (2023). Innovatsiini metody vykladannia orhanichnoi khimii: vplyv na zrozuminnia ta zatsikavlenist studentiv khimichnykh ta farmatsevychnykh spetsialnosteï [Innovative methods of teaching organic chemistry: impact on understanding and interest of students of chemical and pharmaceutical specialities]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 30–38, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-4>

INNOVATIVE METHODS OF TEACHING OF ORGANIC CHEMISTRY: IMPACT UPON COMPREHENSION AND INTEREST OF STUDENTS OF CHEMICAL AND PHARMACEUTICAL SPECIALITIES

The aim of the research is to reveal the general characteristics of educational subject «Organic chemistry» and explain the peculiarities of using innovative methods in the process of its teaching to students of chemical and pharmaceutical specialities. The article analyzed the approaches to determination of innovative method, describes its qualities, and classifies innovative methods according to types of lesson: lecture, practical lesson, laboratory work, and independent work. To achieve the aim of the article we used general scientific methods (analysis and synthesis, induction, and classification) to investigate scientific and pedagogical problem and to establish objective principles of the research. The author stresses that innovative methods are oriented towards the improvement of educational process and training of future specialists to professional activities. At the same time, we proved that innovations in teaching relate to the use of new technologies or techniques to reach pedagogical intention. We emphasized that innovative methods of teaching of organic chemistry are characterized by certain qualities: activity, technology, feedback, alternativity, modern character, use of ICT, increase of interest to learning. We found that lecture requires implementation of educational demonstration, video, team work, debates, question and answer exercise, blended learning. Practical lesson is effective when games, brainstorming, training, situation analysis, practical exercises, modeling are used. It is necessary to use group experiment, electronic laboratory application, peer learning, and rotation during laboratory work. Also, we found that independent work requires project-based activities, electronic textbook exercises, individual and group consultations. The results of the research outline the advantages of using innovation method for teaching organic chemistry.

Key words: organic chemistry, innovative methods, professional and practical training, practice-oriented learning, activity, interest.

Актуальність проблеми. Сучасна професійна підготовка в закладі вищої освіти вимагає інтенсивного пошуку нових шляхів та підходів для забезпечення ефективності освітніх процесів та підвищення якості навчання. Вони, своєю чергою, спрямовані на підготовку компетентного фахівця, який здатен самостійно розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в змінних і невизначених умовах, орієнтується в мультидисциплінарних контекстах, має бажання до саморозвитку та самореалізації, реалізації інноваційних проєктів, є творчою особистістю (Євдоченко, 2022). В умовах модернізації вищої освіти є очевидним, що підготовка майбутніх фахівців хімічних та фармацевтичних спеціальностей потребує нового осмислення, а сучасні загальноосвітні тенденції сприяють переходу до інноваційної освітньої парадигми (Різак та ін., 2023), враховуючи значні трансформаційні зміни, які вимагають застосування інноваційних педагогічних технологій та методів для досягнення якісно нового рівня професійно-практичної підготовки студентів.

В наш час органічна хімія переживає період швидкого розвитку, а разом з тим ми можемо спостерігати вагоме зростання обсягу знань, що гарантує швидкі темпи науково-технічного прогресу (Різак, 2023). Органічна хімія є одним із найважливіших розділів хімії. Предметом вивчення цієї навчальної дисципліни є власти-

вості речовин, зв'язок їх з будовою і зовнішніми умовами, вплив зовнішніх умов на протікання хімічних реакцій, а також загальні закономірності хімічних процесів (Біоорганічна хімія, 2023; Методологія органічного синтезу..., 2022; Різак, 2023). Органічній хімії притаманна своя логічна структура, розуміння якої має виняткове значення для підготовки студентів, адже вона створює основу для систематичного викладу матеріалу та вивчення властивостей органічних речовин (Лендел та ін., 1998; Програма, контрольні завдання та методичні рекомендації з органічної хімії..., 2015), які мають широке застосування в майбутній професійній діяльності студентів спеціальностей 102 «Хімія» та 226 «Фармація, промислова фармація».

Стає очевидним, що питання імплементації інноваційних методів викладання органічної хімії є надзвичайно актуальним, адже їх використання сприяє оновленню освітнього процесу, підвищенню ефективності професійної підготовки фахівців хімічних та фармацевтичних спеціальностей, що в подальшому формує їх теоретичну та практичну готовність здійснювати професійну діяльність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивченням питання підготовки майбутніх фахівців хімічних та фармацевтичних спеціальностей у закладах вищої освіти займались О. Євдоченко, В. Лендел, І. Балог, Г. Різак,

Н. Ципляк, В. Черних, Л. Шемчук та ін. Цілком погоджуємося з результатами дослідження Н. Маланюк, що інноваційні методи здійснюють позитивний вплив на вдосконалення освітнього процесу та підвищують ефективність підготовки майбутніх фахівців до професійної діяльності. Низка вітчизняних та зарубіжних вчених досліджували проблеми застосування інноваційних методів для організації навчання здобувачів хімічних та фармацевтичних спеціальностей. Загальні питання методики навчання хімії висвітлені в наукових та навчально-методичних працях П. Самойленко, М. Пасічника, О. Гойстер, А. Гудзенка, О. Гузенко, О. Рихліцької та ін. Автори Т. Попова, Р. Бачинський, Т. Поліщук детально проаналізували інноваційні методи навчання під час вивчення біологічної хімії.

Проблемами втілення ідей інноваційної методики у викладання хімічних дисциплін займалися С. Большаніна, Т. Диченко. Науковці О. Бондарчук, А. Стецьків та А. Дмитрів проаналізували особливості навчання дисципліні «Органічна хімія» під час війни та обґрунтували реалізацію технології змішаного навчання. Т. Дюжикова, В. Арестенко, Ю. Ніколаєва, Н. Душечкіна, В. Давискиба вивчали особливості викладання дисциплін хімічного спрямування в умовах дистанційного навчання. Питання імплементації практико-орієнтованого підходу у процесі підготовки майбутніх фармацевтів стало предметом наукового дослідження Н. Безносюк, А. Блажко, О. Мороз, Ж. Осінської та О. Плохотнюк.

Однак нами було встановлено, що особливості використання інноваційних методів викладання органічної хімії студентам хімічних та фармацевтичних спеціальностей ґрунтовно не досліджені в науково-педагогічній літературі.

Мета дослідження – розкрити характеристики навчальної дисципліни «Органічна хімія» та пояснити особливості використання інноваційних методів її викладання студентам хімічних та фармацевтичних спеціальностей.

Виклад основного матеріалу. Беручи до уваги те, що сучасне суспільство має фундаментальну потребу у фахівцях хімічних та фармацевтичних спеціальностей, значна увага приділяється практичній підготовці майбутніх професіоналів в закладах вищої освіти (далі – ЗВО) та розумінню ними виробничих процесів.

Освітня програма підготовки здобувачів освіти вказує змістово-реалізаційні аспекти освітньо-кваліфікаційної характеристики зі спеціальності, окреслює зміст навчання, обсяг освітньої та професійної підготовки, перелік освітніх компонентів та їх логічну послідовність (Мороз та ін., 2021). Аналіз освітньо-професійних програм (Освітньо-професійна програма «Фармація»..., 2023; Освітньо-професійна програма «Хімія»..., 2023) дає нам можливість визначити загальні характеристики дисципліни «Органічна хімія» для студентів хімічних та фармацевтичних спеціальностей (табл. 1).

У сучасній психолого-педагогічній літературі відображено, що інноваційні методи спрямовані на розвиток і вдосконалення освітнього процесу та підготовку фахівців до професійної діяльності (Маланюк, 2020). Водночас можемо зазначити, що інновації в навчанні – це застосування нових підходів, технологій та прийомів для досягнення педагогічної інтенції (Попова та ін., 2020; Різак та ін., 2023). Вибір інноваційних методів має велике значення і враховує ті особливості навчання, які забезпечать ефективне використання стратегій. Окрім того, інновації в освітньому процесі мають ґрунтуватися на розумінні сутності професійної підготовки як системи та орієнтуватися на результат – підготовку компетентних фахівців з високим рівнем хімічної експертності, які будуть здатні самостійно застосовувати знання на практиці, діяти творчо, відповідно до професійних завдань, та реалізовувати успішно інноваційні проєкти.

Інноваційні методи викладання органічної хімії спрямовані на підвищення ефективності освітнього процесу та характеризуються певними ознаками, а саме: активність (залучення студентів до активної навчальної діяльності); технологічність (спрямованість на вдосконалення навчання, підвищення результативності); наявність зворотного зв'язку; альтернативність; сучасність (відповідність сучасному розвитку науки та техніки); використання інформаційно-комунікаційних технологій (далі – ІКТ) та інтернету; підвищення зацікавленості до навчання (Бондарчук та ін., 2023; Маланюк, 2020). Зважаючи на це, розроблено класифікацію інноваційних методів викладання органічної хімії залежно від виду занять: лекції, практичні заняття, лабораторна робота, самостійна робота (рис. 1). Проаналізуємо їх детальніше.

Характеристики дисципліни «Органічна хімія»

Спеціальність	102 «Хімія»	226 «Фармація, промислова фармація»
Рівень освіти	Перший (бакалаврський)	Другий (магістерський)
Мета вивчення дисципліни	вивчення основних номенклатур органічних сполук, властивостей органічних речовин і законів органічної хімії; оволодіння методами органічного синтезу й ознайомлення з методами органічного експерименту.	засвоєння загальних принципів оцінки хімічних властивостей органічних сполук; розкриття практичних аспектів органічної хімії, основних шляхів і методів її застосування у фармацевтиці.
Компонент	Обов'язковий	Обов'язковий
Курс навчання	2, 3	2
Семестри	4, 5, 6	4
Кредити	21	8
Види занять	лекції, практичні заняття, лабораторна робота, самостійна робота	лекції, практичні заняття, лабораторна робота, самостійна робота
Контроль	Іспит	Іспит

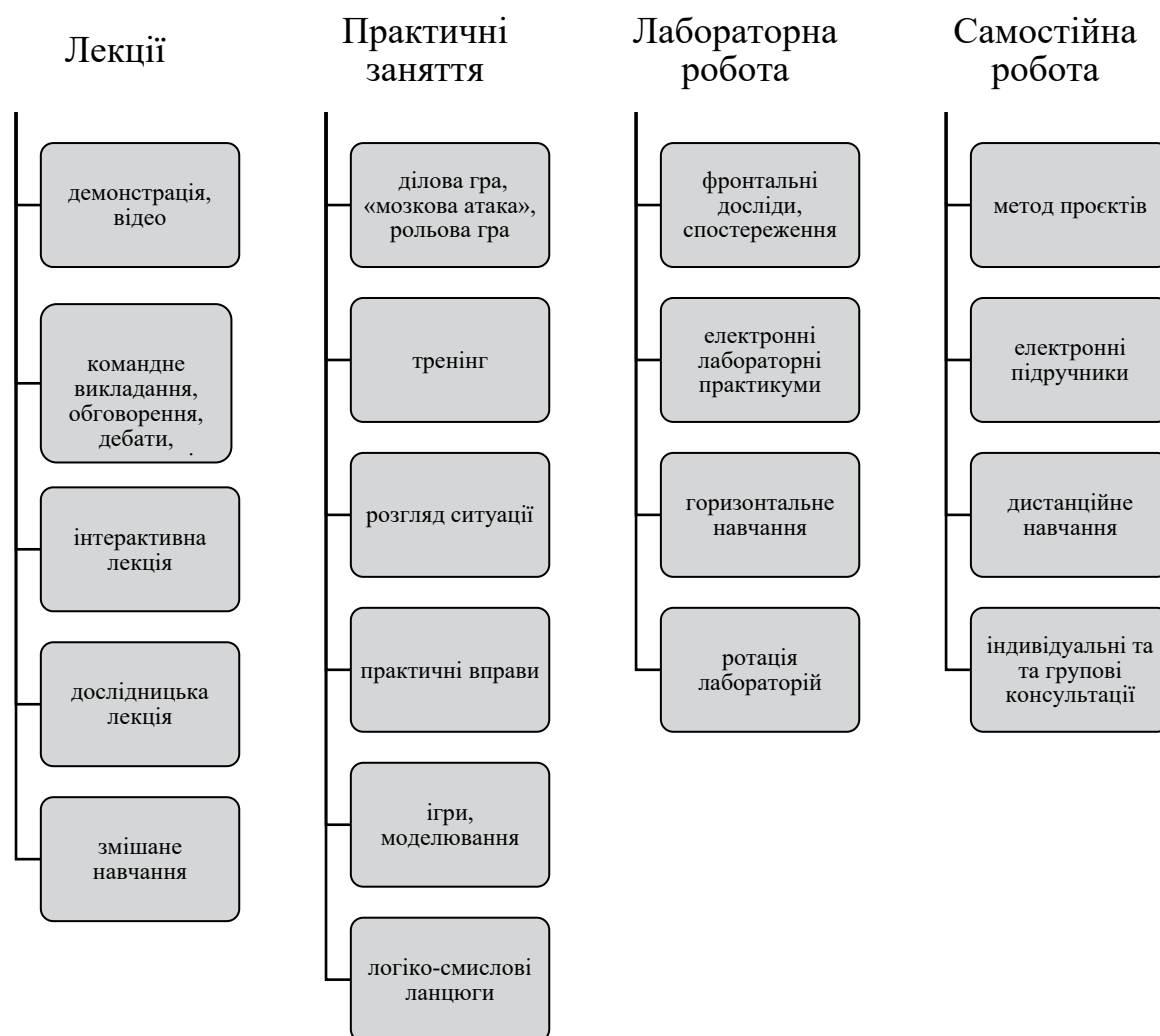


Рис. 1. Інноваційні методи викладання органічної хімії

Лекція – конкретний метод навчання хімічних дисциплін, є формою зв'язного монологічного викладу навчального матеріалу (Самойленко, 2020). Проте для підвищення

зрозуміння та зацікавленості студентів словесні методи слід поєднувати з різними засобами наочності (напр., мультимедійні презентації, демонстрація моделей, відео, хімічні

досліди). Активізують пізнавальну діяльність студентів і командне викладання, обговорення вивченого матеріалу, вправа «запитання-відповіді», дебати. Під час таких обговорень студенти можуть вирішити спірне питання, зосередити увагу на різних підходах до вирішення проблеми. Крім того, ефективними є інноваційні форми лекцій. Це може бути інтерактивна лекція, коли монолог викладача зведений до мінімуму, а студенти отримують необхідні знання через діалог. Дослідницька лекція – вид навчальної діяльності, під час якої студенти виступають у ролі дослідників і самостійно розкривають проблему чи підтверджують гіпотезу. Змішане навчання – поєднання традиційного аудиторного навчання, під час якого відбувається особистий контакт викладача та студентів, та самостійного навчання без допомоги викладача чи онлайн навчання (Большаніна та ін., 2020). Зараз змішана форма навчання в Україні є вимогою та потребою часу у зв'язку з повномасштабним вторгненням РФ (Бондарчук та ін., 2023).

Освіта в умовах війни супроводжується низкою об'єктивних труднощів, проте змішане навчання дає можливість розширити освітні можливості за рахунок збільшення доступності і гнучкості освіти, врахування інтересів та індивідуальних освітніх потреб здобувачів освіти, а також сприяє стимулюванню їхньої активної діяльності.

Практичне заняття – вид навчального заняття, під час якого викладач організовує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень з навчальної дисципліни та формує навички їх практичного застосування шляхом виконання різних вправ. Також практичне заняття включає розбір нового матеріалу, що вимагає навчальної демонстрації, у тому числі комп'ютерної візуалізації механізмів органічних реакцій, практичну роботу та міжпредметне узагальнення і систематизацію знань (Самойленко, 2020). Відповідно до сучасних освітніх тенденцій, викладання органічної хімії у вищій школі за допомогою професійно орієнтованого навчання, яке передбачає суб'єкт-суб'єктну взаємодію учасників в умовах спеціально освітнього середовища (Безносюк та ін., 2019). На практичних заняттях з органічної хімії використовуються такі інноваційні методи: ділова гра, «мозкова атака», рольова

гра, тренінг, розгляд ситуації, ігри, моделювання, практичні вправи. Особливу увагу слід приділити складанню студентами логіко-сміслових ланцюгів, що сприяє розвитку їх багатомірного уявлення, дозволяє їм глибоко усвідомити і засвоїти складну інформацію та систематизувати навчальний матеріал (Попова та ін., 2020).

Метою **лабораторної роботи** є оволодіння матеріалом з органічної хімії шляхом проведення дослідів з добування органічних речовин, а також формування вміння розв'язання задач та аналізу хімічних властивостей класів органічних сполук. Засвоєні вміння під час лабораторної роботи допоможуть здобувачу освіти глибше зрозуміти хімічні процеси та їх закономірності (Пасічник, 2019). Для проведення лабораторної роботи з дисципліни «Органічна хімія» необхідно застосувати активний метод навчання (спостереження, електронний лабораторний практикум), а для закріплення вивченого навчального матеріалу – інтерактивний метод (фронтальні досліді, командна робота) (Лендел та ін., 1998; Програма, контрольні завдання та методичні рекомендації з органічної хімії..., 2015). В умовах дистанційного та змішаного навчання, зростає роль методу горизонтального навчання, що передбачає виконання ролі фасилітатора в групі чи мінігрупі студентом (Blackie et al., 2023; Wilson & Varma-Nelson, 2021). Такий метод допомагає створенню сприятливого освітнього середовища та мінімізації труднощів, які можуть виникнути у здобувачів освіти. О. Гузенко та ін. (2021) під час лабораторної роботи пропонує використовувати метод «ротація лабораторій», коли більша частина вивчення теми відбувається у хімічному кабінеті, а на одне заняття студенти переміщуються в спеціалізований комп'ютерний клас для індивідуальної чи парної роботи в онлайн середовищі.

Самостійна робота є обов'язковим компонентом професійної підготовки студентів хімічних та фармацевтичних спеціальностей. Такий вид навчальної діяльності спрямований на формування у здобувачів освіти вміння самостійно розв'язувати задачі, виконувати хімічні експерименти та досліді (Самойленко, 2020). Самостійна пізнавальна активність сприяє підвищенню зацікавленості навчальною дисципліною, розвитку мотивації до майбутньої

професійної діяльності та забезпечує диференціювання завдань. Інноваційні методи під час самостійної роботи включають метод проєктів (самостійне розв'язання певної проблеми через інтеграцію фактичних знань) (Гойстер та Гудзенко, 2022), робота з електронними підручниками (Самойленко, 2020), індивідуальні та групові консультації (організована викладачем зустріч для відповідей на питання, а також обговорення проблем у синхронному режимі) (Гойстер та Гудзенко, 2022).

Окрім того, варто розглянути дистанційне навчання, що являє собою форму організації освітнього процесу, основою якої є скерована самостійна робота здобувачів вищої освіти (Душечкіна та ін., 2021). Т. Дюжикова та ін. (2022) зазначають, що проведення хімічних дослідів та експериментів у режимі дистанційного навчання через спеціальні віртуальні лабораторії дає можливість моделювання конкретної ситуації та забезпечує наочну демонстрацію механізмів органічної хімії, експериментів та дослідів. Ефективно організоване дистанційне навчання сприяє формуванню практичних навичок у студентів хімічних та фармацевтичних спеціальностей, забезпечує індивідуальний темп навчальної діяльності, а також дає змогу здобувачам освіти самостійно підготуватися до проведення дослідів у реальних лабораторних умовах.

Аналіз науково-педагогічної літератури (Бондарчук та ін., 2023; Мороз та ін., 2021; Попова та ін., 2020) свідчить, що саме інноваційні методи сприяють підвищенню ефективності викладання органічної хімії. За результатами досліджень виділено такі переваги: оптимальні витрати ресурсів та навчального часу, логічно впорядкована подача навчального матеріалу, що позитивно впливає на розуміння; формування критичного мислення; підвищення зацікавленості студентів навчальною дисципліною; активна залученість здобувачів освіти до навчальної діяльності; гнучкість та індивідуалізований підхід до викладання навчальної дисципліни; формування чіткого наукового світогляду майбутніх фахівців хімічних та фармацевтичних спеціальностей, розвиток їхніх

творчих здібностей і креативності; формування готовності до інноваційної діяльності; формування навичок самоосвіти.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, інноваційні методи викладання органічної хімії спрямовані на розвиток і вдосконалення освітнього процесу у ЗВО, що здійснюють підготовку студентів хімічних та фармацевтичних спеціальностей, а також забезпечують якісну фахову підготовку здобувачів освіти. Вибір інноваційних методів відіграє велике значення і має враховувати ті особливості навчання, які забезпечать ефективне використання стратегій. З'ясовано, що інноваційні методи викладання органічної хімії спрямовані на підвищення ефективності освітнього процесу та характеризуються активністю, технологічністю, наявністю зворотного зв'язку, альтернативністю, сучасністю, використанням ІКТ та підвищенням зацікавленості до навчання. У ході дослідження здійснено класифікацію інноваційних методів викладання органічної хімії залежно від виду занять, описано особливості їх застосування. На основі аналізу науково-педагогічної літератури встановлено, що саме такі методи сприяють підвищенню ефективності викладання органічної хімії. За результатами досліджень виділено їхні переваги, у тому числі вплив на розуміння та зацікавленість студентами навчальним матеріалом.

Перспектива подальших наукових досліджень полягає в удосконаленні структури інноваційної системи підготовки майбутніх фахівців хімічних та фармацевтичних спеціальностей у ЗВО України та використанні інноваційних методів для побудови індивідуальної освітньої траєкторії професійного розвитку здобувачів освіти.

Авторка висловлює подяку академіку НАН України, професору, доктору хімічних наук, доктору фармацевтичних наук, професору НФаУ Черниху Валентину Петровичу та професору, доктору хімічних наук, професору кафедри загальної хімії НФаУ Шемчуку Леоніду Антоновичу за багаторічні консультації з наукової та навчально-методичної роботи.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Безносюк Н.С., Блажко А.В., Блажко О.А. Реалізація професійно орієнтованого навчання хімії в підготовці майбутніх учителів трудового навчання та технологій. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. 2019. № 67. Т. 1. С. 124-128. DOI: <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2019.67-1.25>

2. Біоорганічна хімія: навч.-метод. посіб. / уклад. Різак Г.В. Ужгород: ФОП Сабов А.М., 2023. 736 с. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/54438>
3. Большанина С. Б., Диченко Т. В., Чайченко Н. Н. Застосування платформи MIX для організації змішаного навчання загальної хімії здобувачів інженерних спеціальностей. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020. Т. 75. № 1. С. 138-152. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v75i1.2577>
4. Бондарчук О., Стецьків А., Дмитрів А. Змішане навчання дисципліни «Органічна хімія» в умовах війни: нові виклики та випробування. *Наука і техніка сьогодні*. 2023. № 7(21). С. 254-262. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-7\(21\)-254-262](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-7(21)-254-262)
5. Гойстер О., Гудзенко А. З досвіду провадження сучасних освітніх технологій навчання хімії здобувачів медичної освіти в умовах воєнного стану. Огляд. *Український Педагогічний журнал*. 2022. № 4. С. 195-206. DOI: <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2022-4-195-206>
6. Гузенко О.М., Рахліцька О.М., Чеботарьов О.М. Сучасні технології навчання хімії: метод. вказівки для студентів ф-ту хімії та фармації першого (бакалавр.) рівня освіти. Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2021. – 42 с. http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/32500/1/Гузенко%20Метод_вказ%20Сучасні%20технології%20навч%20ОСВІТА.pdf
7. Душечкіна Н.Ю., Давискиба В.В., Сорока М.В. Сучасні підходи до викладання хімічних дисциплін в умовах дистанційного навчання. *Інноваційна педагогіка*. 2021. № 38. С. 131-138. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2021/38.26>
8. Дюжикова Т., Арестенко В., Ніколаєва Ю. Особливості викладання дисциплін хімічного спрямування в умовах дистанційного навчання в закладах вищої освіти. *Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету. Серія: Педагогіка*. 2022. № 1(28). С. 118-123. URL: <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/nv/issue/view/122/29>
9. Євдоченко О. С. Модель формування професійної компетентності майбутніх хіміків у процесі фахової підготовки. *Перспективи та інновації науки (Серія «Педагогіка», Серія «Психологія», Серія «Медицина»)*. 2022. № 13(18). С. 160-172. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-13\(18\)-160-172](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-13(18)-160-172)
10. Маланюк Н. М. Інноваційні педагогічні технології в професійній освіті. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. 2020. № 70, Т. 3. С. 113-118. DOI: <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2020.70-3.21>
11. Методологія органічного синтезу: робоча програма навчальної дисципліни для здобувачів вищої освіти галузі знань 10 «Природничі науки» спеціальності 102 Хімія освітньої програми «Хімія» / розр.: Г.В. Різак. Ужгород : УжНУ, 2022. 12 с. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/52636>
12. Освітньо-професійна програма «Фармація» підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 22 Охорона здоров'я за спеціальністю 226 Фармація, промислова фармація за спеціалізацією 226.01 Фармація / ДВНЗ «Ужгородський національний університет». Ужгород, 2023. 21 с. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/58951>
13. Освітньо-професійна програма «Хімія» підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 10 Природничі науки зі спеціальності 102 Хімія / ДВНЗ «Ужгородський національний університет». Ужгород, 2023. 16 с. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/58267>
14. Пасічник М.В. Лабораторний практикум з хімії органічної. Миколаїв, 2019. 105 с. URL: http://dspace.mdu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/784/1/Пасічник_Лабораторний%20практикум%20з%20хімії%20органічної.pdf
15. Попова Т.М., Бачинський, Р.О., Поліщук Т.В. Інноваційні методи навчання при вивченні біологічної хімії. *Медична та клінічна хімія*. 2020. Т. 22. № 2. С. 100-104. DOI: 10.11603/mcch.2410-681X.2020.v.i2.11367
16. Практикум з органічної хімії / укл. : В. Г. Лендел, Г. С. Чекрій, І. М. Балог та інш.; відп. за вип. : В. Г. Лендел; рец. : С. Ю. Чундак, В. І. Староста. Ужгород : Видавництво «УжДУ», 1998. 96 с.
17. Програма, контрольні завдання та методичні рекомендації з органічної хімії для студентів факультету фармацевтичної ступеневої освіти зі спеціальностей «Фармація», «Технологія парфумерно-косметичних засобів», «Клінічна фармація», «Технологія фармацевтичних препаратів», «Біотехнологія» / уклад. Черних В.П., Шемчук Л.А., Колеснікова Т.О. та ін. Харків: Вид-во НФаУ, 2015. 85 с. URL: <http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/11870>
18. Різак Г. В. Методологія органічного синтезу: навч. посіб. Ужгород: ФОП Сабов А.М., 2023. 494 с. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/53204>
19. Різак Г. В., Ципляк, Н. О., Голуб О. В. Створення інноваційних освітніх програм в Україні: досвід і рекомендації країн ЄС. *Академічні візії*. 2023. № 22. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8272020>
20. Самойленко П. В. Методика навчання хімії: навчально-методичний комплект: навч.-метод. посіб. Чернівці: Десна Поліграф, 2020. 320 с. URL: <https://epub.chnpu.edu.ua/jspui/bitstream/23456789/6719/1/Методика%20навчання%20хімії.pdf>

21. Формування технологічних умінь майбутніх фармацевтів на засадах практико-орієнтованого підходу / О. Мороз та ін. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2021. № 2 (106). С. 329-340. DOI: 10.24139/2312-5993/2021.02/329-340
22. Blackie M.A.L., Arnott G., Kaschula C.H. Engaging organic chemistry students in knowledge building. *Journal of Chemical Education*. 2023. № 100 (9). P. 3302-3308. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00980
23. Wilson S.B., Varma-Nelson P. Implementing peer-led team learning and cyber peer-led team learning in an organic chemistry course. *Journal of College Science Teaching*. 2021. № 50(3). P. 44-50. URL: <https://www.nsta.org/journal-college-science-teaching/journal-college-science-teaching-januaryfebruary-2021/implementing>

REFERENCES:

1. Besnosiuk, N. S., Blazhko, A. V., & Blazhko, O. A. (2019). Realizatsiia profesiino orientovanoho navchannia khimii v pidhotovtsi uchyteliv trudovoho navchannia ta tekhnolohii [Realization of profession oriented teaching of chemistry in the process of training of teachers of labour education and technologies]. *Pedagogy of formation of creative personality in higher and secondary schools*, 67(1), 124-128. Retrieved from <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2019.67-1.25> [in Ukrainian]
2. Bioghanichna khimiia [Bioorganic chemistry]: educational and methodical guidebook / Ed. by Rizak H. V. Uzhhorod: FOP Sabov A.M., 2023. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/54438> [in Ukrainian]
3. Bolshanina, S. B., Dychenko, T. V., & Chaichenko, N. N. (2020). Zastosuvannia platformy MIX dlia orhanizatsii zmishanoho navchannia zahalnoi khimii zdobuvachiv inzhenernykh spetsialnosti [Using of MIX platform to organize blended learning for teaching of general chemistry for students of engineering specialities]. *Information Technologies and Learning Tools*, 75(1), 138-152. Retrieved from <https://doi.org/10.33407/itlt.v75i1.2577> [in Ukrainian]
4. Bondarchuk, O., Stetskiy, A., & Dmytriv, A. (2023). Zmishane navchannia dystsypliny «Orhanichna khimiia» v umovakh viiny: novi vyklyky ta vyprovuvannia [Blended learning of the subject of «Organic chemistry» during war: new challenges and problems]. *Science and technology today*, 7(21), 254-262. Retrieved from [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-7\(21\)-254-262](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-7(21)-254-262) [in Ukrainian]
5. Hoister, O., & Hudzenko, A. (2022). Z dosvidu provadzhennia suchasnykh osvitykh tekhnolohii navchannia khimii zdobuvachiv medychnoi spetsialnosti v umovakh voiennoho stanu. Ohliad. [From experience of implemnettaion of modern educational technologies in teaching of students of medical speciality under conditions of martial law. Review]. *Ukrainian Educational journal*, 4, 195-206. Retrieved from <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2022-4-195-206> [in Ukrainian]
6. Huzenko, O. M., Rakhlytska, O. M., & Chebotariov, O. M. (2021). Suchasni tekhnolohii navchannia khimii [Modern technologies of teaching chemistry]: methodical guidelines for students of the faculty of chemistry and pharmacy of the first (bachelor) level of education. Odesa, Odesa Mechnikov National University. Retrieved from http://dspace.onu.edu.ua:8080/bitstream/123456789/32500/1/Гузенко%20Метод_вказ%20Сучасні%20технології%20навч%20ОСВІТА.pdf [in Ukrainian]
7. Dushechkina, N. Yu., Davyskyba, V. V., & Soroka, M. V. (2021). Suchasni pidkhody do vykladannia khimichnykh dystsyplin v umovakh dystantsiinoho navchannia [Modern approaches to teaching of chemical subjects under conditions of distance learning]. *Innovative pedagogy*, 38, 131-138. Retrieved from <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2021/38.26> [in Ukrainian]
8. Diuzhykova, T., Arestenko, V., Nikolaieva, Yu. (2022). Osoblyvosti vykladannia dystsyplin khimichnoho spriamuvannia v umovakh dystantsiinoho navchannia v zakladakh vyshchoi osvity [Peculiarities of teaching of chemical subjects under conditions of distance education in establishments of higher education]. *Scientific Bulletin of Melitopol State Pedagogical University. Series: Pedagogy*, 1(28), 118-123. Retrieved from <http://magazine.mdpu.org.ua/index.php/nv/issue/view/122/29> [in Ukrainian]
9. Yevdochenko, O. S. (2022). Model formuvannia profesiinoi kompetentnosti maibutnykh khimikiv u protsesi fakhovoi pidhotovky [Model of formation of professional competency of future chemists in the process of professional training]. *Perspectives and innovations of science (Series «Pegagogy», Series «Psychology», Series «Medicine»)*, 13(18), 160-172. Retrieved from [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-13\(18\)-160-172](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-13(18)-160-172) [in Ukrainian]
10. Malaniuk, N. M. (2020). Innovatsiini pedahohichni tekhnolohii v profesiinii osviti [Innovative pedagogical technologies in professional education]. *Pedagogy of formation of creative personality in higher and secondary schools*, 70(3), 113-118. Retrieved from <https://doi.org/10.32840/1992-5786.2020.70-3.21> [in Ukrainian]
11. Methodology or organic synthesis: syllabus of educational subject for students of higher education of the field of knowledge 10 «Natural sciences» of speciality 102 Chemistry of educational program «Chemistry» / Ed. by H. V. G. Rizak. Uzhhorod, UzhNU, 2022. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/52636> [in Ukrainian]

12. Educational and professional program «Pharmacy» for training of students of the second (master) level of higher education of field of knowledge 22 Healthcare of speciality 226 Pharmacy, industrial pharmacy of specialization 226.01 Pharmacy. Uzhhorod, 2023. Retrieved from <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/58951> [in Ukrainian]
13. Educational and professional program «Chemistry» for training of students of the first (bachelor) level of higher education of field of knowledge 10 Natural sciences of speciality 102 Chemistry. Uzhhorod, 2023. Retrieved from <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/58267> [in Ukrainian]
14. Pasichnyk, M. V. (2019). Laboratornyi praktykum z khimii orhanichnoi [Laboratory guidebook on organic chemistry]. Mykolaiv. Retrieved from http://dspace.mdu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/784/1/Пасічник_Лабораторний%20практикум%20з%20хімії%20органічної.pdf [in Ukrainian]
15. Popova, T. M., Bachynskyi, R. O., & Polishchuk, T. V. (2020). Innovatsini metody navchannia pry vyvchenni biolohichnoi khimii [Innovative methods in learning biological chemistry]. *Medical and clinical chemistry*, 22(2), 100-104. 10.11603/mch.2410-681X.2020.v.i2.11367 [in Ukrainian]
16. Lendel, V.G. com. by, et.al. (1998). *Praktykum z orhanichnoi khimii* [Workshop on organic chemistry] Uzhhorod: UzhDU Publishing House. [in Ukrainian].
17. Program, control tasks, and methodical recommendations on organic chemistry for students of the faculty of pharmaceutical tertiary education on specialities «Pharmacy», «Technology of perfumes and cosmetics», «Clinical pharmacy», «Technology of pharmaceuticals», «Biotechnology» / Eds. Chernykh V. P., Shemchuk T. O., Kolesnikova, T. O. et al. Kharkiv, NPhU Publishers, 2015. Retrieved from <http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/11870> [in Ukrainian]
18. Rizak, H. V. (2023). Metodolohiia orhanichnoho syntezy [methodology of organic synthesis]: educational guidebook. Uzhhorod: FOP Sabov A. M. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/53204> [in Ukrainian]
19. Rizak, H. V., Tsypliak, N. O., & Holub, O. V. (2023). Stvorennia innovatsiinykh osvitynykh prohram v Ukraini: disvid i rekomendatsii kraib ES [Creation of innovative educational programs in Ukraine: experience and recommendations of EU countries]. *Academic visions*, 22. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8272020> [in Ukrainian]
20. Samoilenko, P. V. (2020). *Metodyka navchannia khimii* [Methodology of teaching chemistry]: educational and methodological guidebook. Chernihiv: Desna Polohraf. <https://epub.chnpu.edu.ua/jspui/bitstream/23456789/6719/1/Методика%20навчання%20хімії.pdf> [in Ukrainian]
21. Moroz, O., Osinska, Zh., Plokhotniuk, O., & Protsiuk, I. (2021). Formuvannia tekhnolohichnykh umin maibutnykh farmatsevtiv na zasadakh praktyko-oriantovanoho pidkhodu [Formation of technological skills among future pharmacists on the principles of practice-oriented approach]. *Pedagogical sciences: theory, history, and innovative technologies*, 2(106), 329-340. 10.24139/2312-5993/2021.02/329-340 [in Ukrainian]
22. Blackie, M.A.L., Arnott, G., & Kaschula, C.H. (2023). Engaging organic chemistry students in knowledge building. *Journal of Chemical Education*, 100(9), 3302-3308. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00980
23. Wilson, S.B., & Varma-Nelson, P. (2021). Implementing peer-led team learning and cyber peer-led team learning in an organic chemistry course. *Journal of College Science Teaching*, 50(3), 44-50. Retrieved from <https://www.nsta.org/journal-college-science-teaching/journal-college-science-teaching-januaryfebruary-2021/implementing>

ЕКОЛОГІЯ

УДК 502.175:502.3

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-5>

Костянтин ГРИГОР'ЄВ

аспірант кафедри екології, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, 54003

ORCID: 0000-0003-2804-2758

Scopus Author ID: 49963356000

Бібліографічний опис статті: Григор'єв, К. (2023). Оцінка стану атмосферного повітря у місті Миколаєві. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 39–48, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-5>

ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У МІСТІ МИКОЛАЄВІ

Стаття присвячена висвітленню результатів дослідження стану атмосферного повітря у м. Миколаєві шляхом вимірювань вмісту політантів на стаціонарних постах державної системи моніторингу та на станціях індикативних вимірювань громадського моніторингу атмосферного повітря. Проаналізовано результати державної системи моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві за політантами: окис вуглецю (CO), пил, формальдегід (CH₂O), фтористий водень (HF), двоокис азоту (NO₂), окис азоту (NO), двоокис сірки (SO₂) за період січень 2016 р. – липень 2021 р. Проаналізовано результати індикативних вимірювань CH₂O; HF, PM_{2,5}, PM₁₀ в атмосферному повітрі м. Миколаєва у період 2021-2023 рр. за станцією індикативних вимірювань в районі Чорноморського національного університету імені Петра Могили та результати індикативних вимірювань CH₂O у період: січень 2021 р. – лютий 2022 р. на 3 станціях індикативних вимірювань м. Миколаєва.

Показано, що головною тенденцією впродовж року для багатьох політантів атмосферного повітря є збільшення їхніх концентрацій у другій половині року та хронічне перевищення середньодобових гранично-допустимих значень для пилу, HF, NO₂, CH₂O. За розрахованими величинами індексу забруднення атмосферного повітря серед 7 політантів, за якими ведеться державний моніторинг в м. Миколаєві, найбільше впливають на рівень забруднення атмосферного повітря міста: CO, CH₂O – для яких цей індекс вищий 1, та HF, NO₂ – для яких цей індекс є вищим 5. Визначено, що середньорічний темп зростання показника КІЗА становить 0,5 одиниць. Показано, що індикативні вимірювання об'ємних концентрацій політантів в атмосферному повітрі м. Миколаєва свідчили про високі значення концентрацій у повітрі дрібнодисперсного пилу PM₁₀ (до 0,09 мг/м³) та підтверджують сталу тенденцію підвищення концентрації формальдегіду (до 0,06 мг/м³), діоксиду азоту (до 0,05 мг/м³) у повітрі м. Миколаєва. Підтверджено, що при референтному рівні забруднення атмосферного повітря екологічний моніторинг потрібно організовувати з врахуванням індикативних вимірювань за допомогою компактних станцій

Ключові слова: екологічний моніторинг, політанти атмосферного повітря, індекс забруднення атмосфери, індикативні вимірювання.

Kostiantyn GRYGORIEV

Postgraduate student of the Department of Ecology, Petro Mohyla Black Sea National University, 68 Desantnykiv Str., 10, Mykolaiv, Ukraine, 54003

ORCID: 0000-0003-2804-2758

Scopus Author ID: 49963356000

To cite this article: Grygoriev, K. (2023). Otsinka stanu atmosfernoho povitria u misti Mykolaievi [Assessment of the state of atmospheric air in Mykolaiv city]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 39–48, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-5>

ASSESSMENT OF THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE MYKOLAIV CITY

The article is devoted to the results of the study of the state of atmospheric air in Mykolaiv by measuring the content of pollutants at the stationary posts of the state monitoring system and at the stations of indicative measurements of public air monitoring. The results of the state system of atmospheric air monitoring in Mykolaiv by pollutants: carbon monoxide

(CO), dust, formaldehyde (CH₂O), hydrogen fluoride (HF), nitrogen dioxide (NO₂), nitric oxide (NO), sulfur dioxide (SO₂) for the period January 2016 – July 2021 were analyzed. The results of indicative measurements of CH₂O; HF, PM_{2.5}, PM₁₀ in the atmospheric air of Mykolaiv in the period 2021-2023 at the indicative measurement station in the area of the Petro Mohyla Black Sea National University and the results of indicative measurements of CH₂O in the period January 2021 – February 2022 at 3 indicative measurement stations in Mykolaiv are analyzed.

It is shown that the main trend throughout the year for many atmospheric pollutants is an increase in their concentrations in the second half of the year and a chronic excess of the average daily maximum permissible values for dust, HF, NO₂, CH₂O. According to the calculated values of the air pollution index, among the 7 pollutants monitored by the state in Mykolaiv, the following have the greatest impact on the level of air pollution in the city: CO, CH₂O – for which this index is higher than 1, and HF, NO₂ – for which this index is higher than 5 units. It is determined that the average annual growth rate of the complex index of atmospheric air pollution was 0.5 units. It has been shown that indicative measurements of volumetric concentrations of pollutants in the air of Mykolaiv showed high concentrations of fine dust PM₁₀ (up to 0.09 mg/m³) and confirm the stable trend of increased concentrations of formaldehyde (up to 0.06 mg/m³) and nitrogen dioxide (up to 0.05 mg/m³) in the air of Mykolaiv. It is proved that at the reference level of air pollution, environmental monitoring should be organized taking into account indicative measurements using compact stations.

Key words: environmental monitoring, atmospheric pollutants, air pollution index, indicative measurements.

Актуальність проблеми. Ефективне й оперативне оцінювання стану атмосферного повітря у містах давно складає одну з актуальних урбоекологічних проблем (Васенко, 2015, с. 321). В промислових містах із нарощуванням обсягів викидів природний механізм самоочищення атмосфери вже не в змозі забезпечити стабільність кругообігу шкідливих домішок, що призводить до глобальних змін в атмосфері. Змінюється склад атмосфери, її фізико-хімічні властивості, що впливає насамперед на стан ландшафтів, біоти та людини і викликає зміни клімату (Кіптенко, 2013, с. 210). У повітряному просторі міста Миколаєва, через наявність інтенсивних транзитних автотранспортних потоків, наявне хронічне перевищення гранично-допустимих концентрацій небезпечних поллютантів: формальдегід, фтористий водень, двоокис азоту, вуглекислий газ, бензапірен, пил (Григор'єва, 2022, с. 140). Особлива велика кратність перевищення нормативів характерна, як і для більшості міст, для пилу, формальдегіду (Гомонай, 2007; Григор'єва, 2022).

Саме для вирішення цих питань у міських агломераціях Директива 2008/50/ЄС «Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи» пропонує розширювати державний екологічний моніторинг стану атмосферного повітря за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря. У м. Миколаєві державний екологічний моніторинг атмосферного повітря здійснюється за чотирма постами. Екологічний моніторинг за допомогою станцій індикативних вимірювань у місті заплановано відновити весною 2024 р. Для ефективного цього відновлення потрібно здій-

снити комплексну оцінку стану атмосферного повітря у місті, проаналізувати динаміку вмісту поллютантів за результатами державної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві, провести дослідження вмісту поллютантів в атмосферному повітрі м. Миколаєва за допомогою компактних станцій індикативних вимірювань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання оцінки стану атмосферного повітря та пов'язані з цим проблеми забруднення атмосферного повітря пилом, формальдегідом тощо висвітлено у роботах (Баштаннік, 2014; Васенко, 2015; Гомонай, 2007; Киналь, 2013; Кіптенко, 2013; Колесник, 2017; Поліщук, 2015; Шевченко, 2014). Проблемні питання функціонування державної системи моніторингу стану атмосферного повітря та сучасних методів комплексного оцінювання його стану також піднімається та розвивається вченими (Васенко, 2015; Кіптенко, 2013; Колесник, 2017). Це пов'язано з відсутністю сьогодні однозначної диференціації рівнів комплексних індексів забруднення атмосфери. Зокрема, пропонуються підходи із застосуванням нормованого індексу забруднення атмосфери (Колесник, 2013). Відомі матеріали щодо впливу кліматично-метеорологічних факторів на рівень забруднення повітря (Киналь, 2013; Поліщук, 2015), щодо стану атмосферного повітря в окремих українській містах (Баштаннік, 2014; Киналь, 2013; Кіптенко, 2013; Поліщук, 2015; Шевченко, 2014). Однак мало на сьогодні досліджень оцінювання стану атмосферного повітря на підставі не лише стаціонарних постів державної системи атмосферного повітря, а також й результатів

індикативних вимірювань вмісту основних поллютантів у повітрі українських міст.

Мета дослідження: дослідити екологічний стан атмосферного повітря на відкритій місцевості у м. Миколаєві за даними спостережень на стаціонарних постах державної системи моніторингу та станціях індикативних вимірювань громадського екологічного моніторингу у м. Миколаєві та здійснити його оцінку.

Матеріалами дослідження виступали:

1) результати державної системи моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві за поллютантами: окис вуглецю (CO), пил, формальдегід (CH₂O), фтористий водень (HF), двоокис азоту (NO₂), окис азоту (NO), двоокис сірки (SO₂) на 4 стаціонарних постах за період січень 2016 р. – липень 2021 р.; 2) результати індикативних вимірювань в період 2021-2023 рр. CH₂O; HF, PM_{2,5}, PM₁₀ в атмосферному повітрі м. Миколаєва за допомогою розміщеної у ЧНУ імені Петра Могили станція Oxugen Air Fresh Max «EcoRozum»; 3) результати індикативних вимірювань CH₂O у м. Миколаєві у період: січень 2021 р. – лютий 2022 р. на 3 станціях індикативних вимірювань.

Державна система моніторингу атмосферного у м. Миколаєві здійснюється на підставі спостережень у 4 контрольних пунктах спостереження (о 1, 7, 13, 19 годині у всі дні, крім неділі та святкових днів) (рис. 1): т.1 – вул. Обсерваторна, 1; т.2 – вул. Чигрина – пр. Жовтневий (район інтенсивного автомобільного руху); т.3 – вул. 12 Лінія – 7-а Поздовжня (промислова зона); т.4 – площа Суднобудівників, 3.

Розгорнутий у 2021 р. моніторинг стану атмосферного повітря у м. Миколаєві на станціях індикативних вимірювань здійснювався у семи контрольних точках, серед яких за індикативні вимірювання CH₂O – у трьох: т.1 – вул. 68 Десантників, 10; т.2 – пр. Центральний, 28; т.3 – вул. Космонавтів, 5.

Статистичне опрацювання даних здійснювали за допомогою пакету статистичного аналізу Statistica 6.0 та Microsoft Excel 2019.

Оцінювання даних моніторингів здійснювали відносно нормативних величин, закріплених законодавством України: ГДК_{с.д.} – гранично-допустима концентрація поллютанта середньодобова; ГДК_{м.р.} – гранично-допус-



Рис. 1. Схема розташування стаціонарних постів державної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві

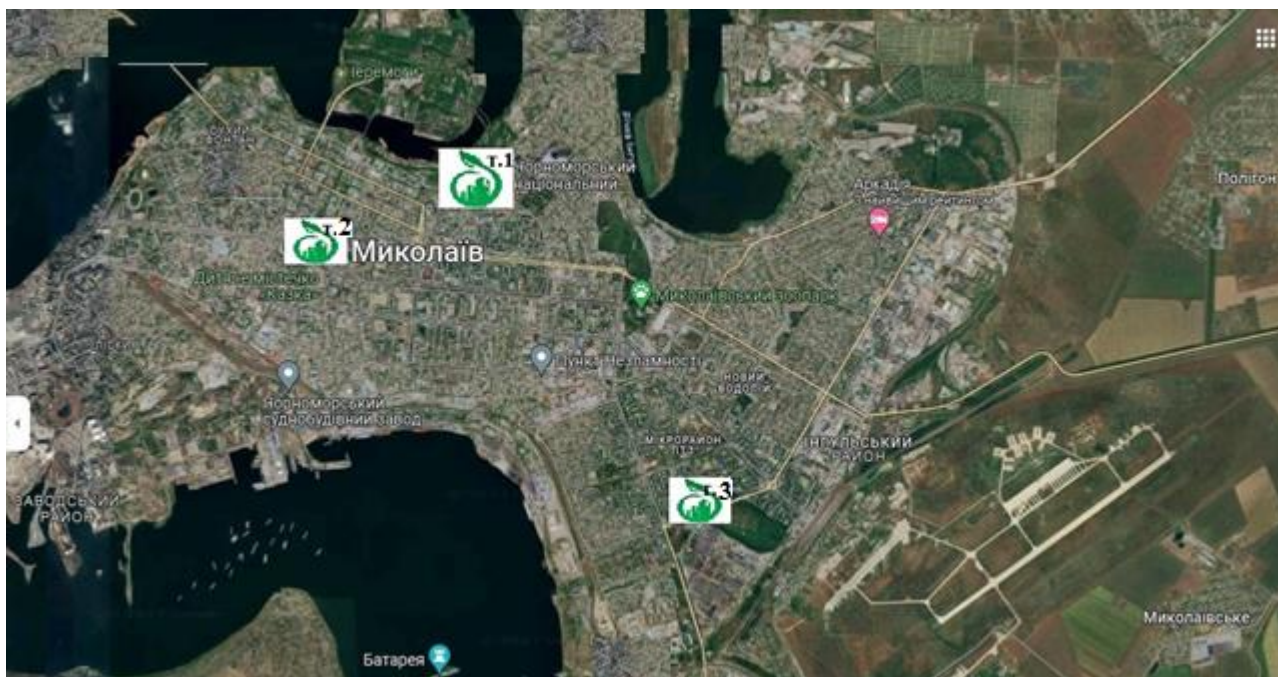


Рис. 2. Схема розташування станцій індикативних вимірювань CH_2O за системою громадського екологічного моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві (до лютого 2022 р.)

тима концентрація політанта максимально-разова.

Комплексна оцінка здійснена через визначення показників: індекс забруднення атмосфери (ІЗА):

$$ІЗА_i = \left(\frac{C_i}{ГДК_i} \right)^{a_i}$$

і комплексний індекс забруднення атмосфери (КІЗА):

$$КІЗА = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{ГДК_i} \right)^{a_i},$$

де C_i – вміст політанта i в атмосферному повітрі, $\text{мг}/\text{м}^3$; $ГДК_i$ – гранично-допустима концентрація екополітанта i в атмосферному повітрі, $\text{мг}/\text{м}^3$; a_i – коефіцієнт, який залежить від класа небезпеки за токсичністю політанта i показує рівень небезпеки i -ого політанта в порівнянні з діоксидом сірки.

Проведено порівняння рівня забруднення атмосферного повітря за показником КІЗА, який диференціюють наступним чином: при $КІЗА < 5$ – рівень забруднення є низьким; при $5 \leq КІЗА < 8$ – рівень підвищений; при $8 \leq КІЗА < 13$ – рівень високий; при $КІЗА \geq 13$ – рівень дуже високий.

Розрахунок ІЗА здійснено у припущенні $C_i = C_{max}$, $ГДК_i = ГДК_{max}$

Виклад основного матеріалу дослідження.

Первинні результати державної системи моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві оброблено методами математичної ста-

тистики та представлено у вигляді діаграм, які відображують середньорічну динаміку концентрації політантів у повітрі м. Миколаєва (рис. 3): за кожний місяць року результат представляє середнє значення, визначене за 6 років спостережень (2016-2021 рр.) за чотирма контрольними стаціонарними пунктами спостережень.

Головною тенденцією впродовж року для багатьох забруднювачів є збільшення їхніх концентрацій у другій половині року та хронічне перевищення середньодобових гранично-допустимих значень. В першу чергу це стосується пилу, HF , NO_2 , CH_2O . При цьому маємо: середньомісячні концентрації пилу ($C_{пил}$) складали $0,10 \pm 0,02 \text{ мг}/\text{м}^3$, максимальні концентрації пилу були разовими, досягаючи $0,015\text{--}0,020 \text{ мг}/\text{м}^3$, тобто перевищуючи $ГДК_{с.д.}$ ($0,15 \text{ мг}/\text{м}^3$) (рис. 3, а); середньомісячні концентрації CO (C_{CO}) складали $2,0 \pm 1,1 \text{ мг}/\text{м}^3$, а максимальні значення досягали рівня $8\text{--}9 \text{ мг}/\text{м}^3$, перевищення $ГДК_{с.д.}$ ($3 \text{ мг}/\text{м}^3$) носили постійний характер, а перевищення $ГДК_{м.р.}$ ($5 \text{ мг}/\text{м}^3$) – вибіркового характеру (рис. 3, б); середньомісячні концентрації SO_2 (C_{SO2}) складали $0,008 \pm 0,002 \text{ мг}/\text{м}^3$, без перевищень $ГДК_{с.д.}$ ($0,05 \text{ мг}/\text{м}^3$) $ГДК_{м.р.}$ ($0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$) (рис. 3, в); середньомісячні концентрації NO_2 (C_{NO2}) складали $0,07 \pm 0,02 \text{ мг}/\text{м}^3$, максимальні концентрації також перевищували

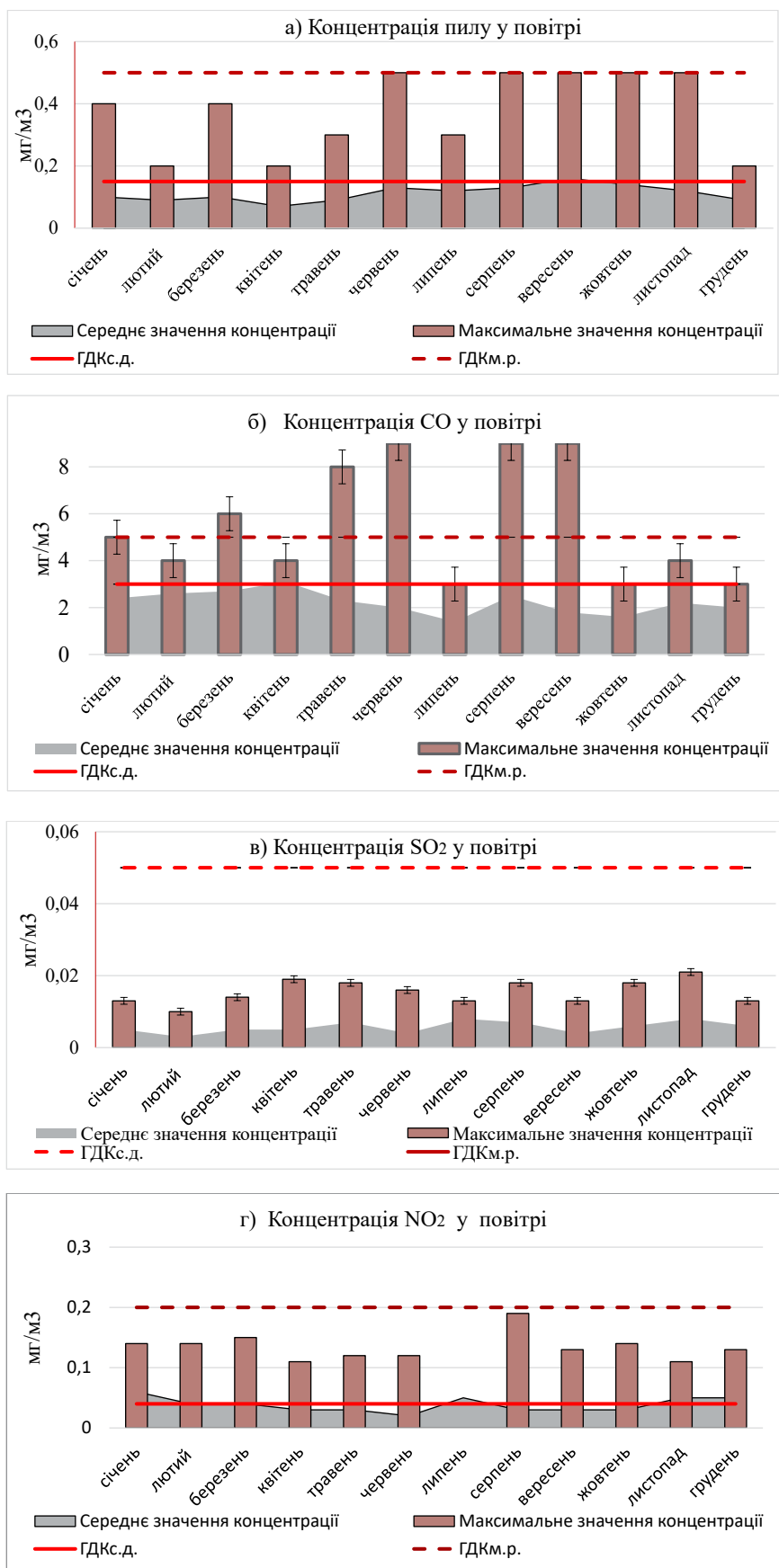


Рис. 3. Типова динаміка об'ємних концентрацій поллютантів у повітрі м. Миколаєва (рис. 1): а) пилу, б) CO, в) SO₂, г) NO₂, д) NO, е) HF, ж) CH₂O

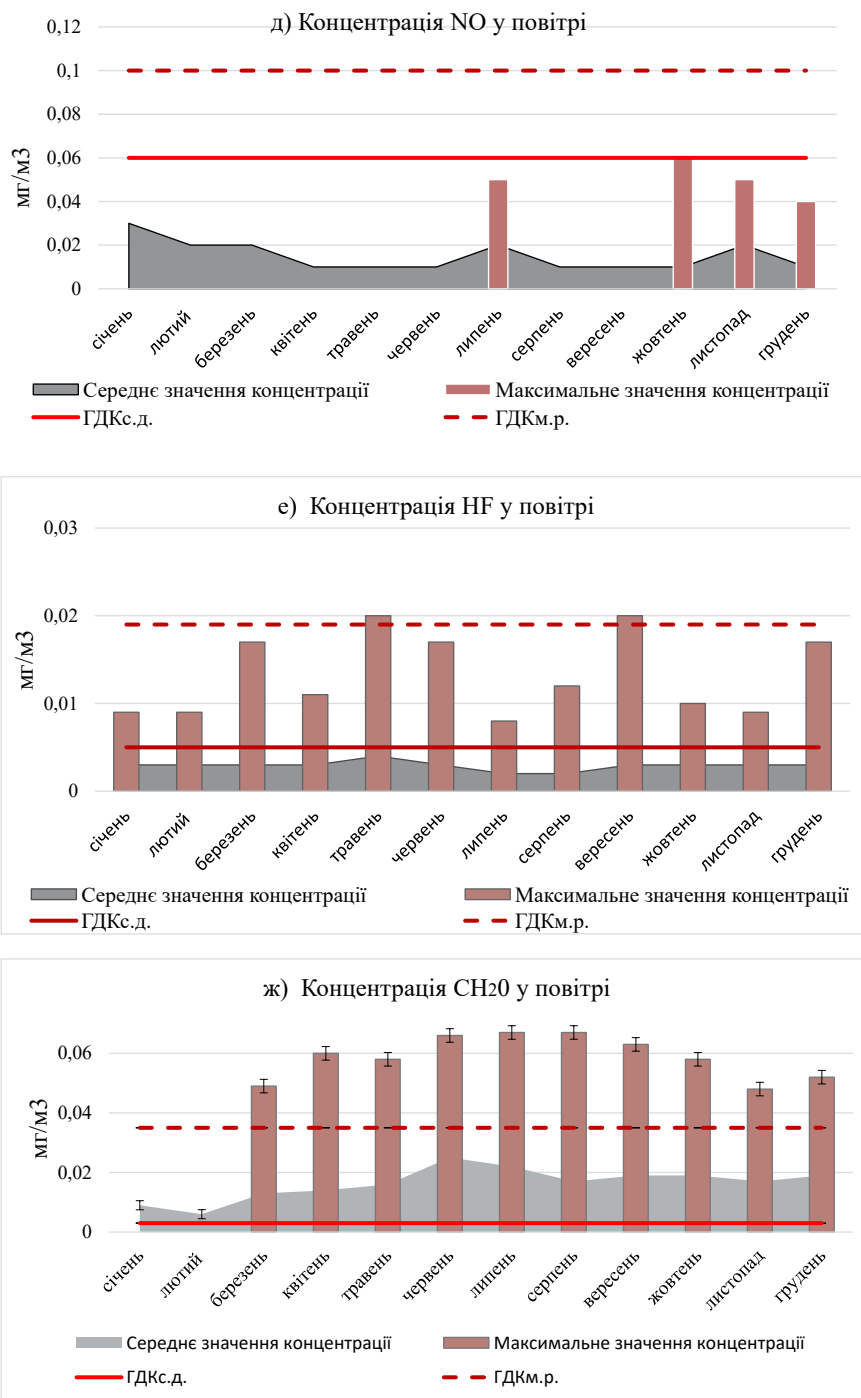


Рис. 3 (закінчення)

ГДК_{с.д.} (0,04 мг/м³) досягаючи 0,19 мг/м³ (рис. 3, г); середньомісячні концентрації NO (\overline{C}_{NO}) склали 0,015±0,002 мг/м³; характерні щомісячні випадки досягнення ГДК_{с.д.} (0,06 мг/м³) (рис. 3, д); середньомісячні концентрації HF (\overline{C}_{HF}) склали 0,003±0,001 мг/м³; максимальні концентрації досягали рівня 0,017 – 0,022 мг/м³, перевищуючи ГДК_{с.д.} (0,005 мг/м³), ГДК_{м.р.} (0,019 мг/м³); при цьому перевищення ГДК_{с.д.} носило стійкий характер (щомісячні

випадки такого перевищення) (рис. 3, е); середньомісячні концентрації CH₂O (\overline{C}_{CH_2O}) склали 0,02±0,01 мг/м³; максимальні концентрації перевищували ГДК_{с.д.} (0,003 мг/м³), ГДК_{м.р.} (0,035 мг/м³) досягаючи 0,07 мг/м³. Перевищення ГДК_{с.д.}, ГДК_{м.р.} для CH₂O носило стійкий характер, особливо у період з квітня по жовтень (рис. 3, ж).

Розраховані значення ІЗА₁ наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Індекс забруднення атмосфери за поллютантами

	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Пил	0,72	0,77	0,73	0,80	0,82	0,84
CO	0,85	1,40	1,15	1,11	1,25	1,30
SO ₂	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
NO ₂	1,01	1,00	1,04	1,02	1,01	1,05
NO	0,44	0,38	0,41	0,39	0,42	0,39
HF	4,30	5,06	4,90	5,09	4,96	5,07
CH ₂ O	4,98	5,09	5,18	5,27	5,33	5,59

Таблиця 2

Комплексний індекс забруднення атмосферного повітря у м. Миколаєві

Рік	КІЗА	Рівень забруднення атмосферного повітря
2016	11,95	високий
2017	12,82	високий
2018	12,60	високий
2019	12,85	високий
2020	12,98	високий
2021	13,21	високий

Як видно з отриманих результатів ІЗА, серед 7 поллютантів, за якими ведеться державний моніторинг в м. Миколаєві, найбільше впливають на рівень забруднення атмосферного повітря міста, є CO, CH₂O – для яких ІЗА більше за 1, та HF, NO₂ – для яких ІЗА є вищим за 5.

Потрібно зазначити, що до несприятливих метеорологічних умов щодо розсіювання шкідливих домішок, які надходять з викидними газами автотранспорту, відносять штильову погоду (безвітря) або досить слабку (0-1 м/с) і помірно слабку швидкість вітру (2-3 м/с). Таких днів у м. Миколаєві буває не менше 20% на рік, а влітку – зростає. Це й впливає, на нашу думку, на вищезазначену динаміку поведінки поллютантів в повітрі міста.

Крім того, у повітряному просторі міста фотохімічні реакції утворення та витрати формальдегіду відіграють важливу роль в утворенні фотохімічних смогів, оскільки він є джерелом вільних радикалів в атмосфері. Підвищені концентрації озону та оксидів азоту, а також органічних домішок в умовах фотохімічного смогу призводять до появи підвищених концентрацій формальдегіду. Це характерно для метеорологічних умов, які сприяють накопиченню домішок і наступних фотохімічних трансформацій, в ясну безвітряну погоду з великим вмістом забруднюючих речовин. Цей факт, можливо, також мав місце при формуванні підвищених

рівнів формальдегіду у повітрі м. Миколаєва у літні місяці (рис. 1, ж) та через що ІЗА за CH₂O є вищим за 5 (див. табл. 1).

Результати обчислення показника КІЗА за 5 поллютантами: CH₂O, HF, NO₂, CO, пил – наведено у таблиці 2.

Апроксимація цих даних за допомогою лінії регресії вказала на наявність тенденції до зростання ($R^2=0,90$) показника КІЗА атмосферного повітря у м. Миколаєві з середньорічним темпом зростання 0,5 (рис. 4). Тобто не менше, ніж на 0,5 одиниць на рік може підвищуватися показник КІЗА для м. Миколаєва.

Результати індикативних вимірювань CH₂O, HF, NO₂, PM_{2,5}, PM₁₀ в атмосферному повітрі м. Миколаєва за допомогою розміщеної у ЧНУ імені Петра Могили станція Oxygen Air Fresh Max «EcoRozum» в період 2021-2023 рр., які оброблено методами математичної статистики наведено у таблиці 3. Ця станція індикативних вимірювань встановлена в університетському дворі, позад якого за будівлею університету проходить інтенсивна автомобільна траса.

Ці результати вимірювань вказали на високі значення концентрацій у повітрі дрібнодисперсного пилу PM₁₀ (до 0,09 мг/м³), підтвердили факт сталості підвищених концентрацій формальдегіду (до 0,06 мг/м³), діоксиду азоту (до 0,05 мг/м³). Вміст CO зберігався на рівні $0,27 \pm 0,02$ мг/м³.

Статистично оброблені результати індикативних вимірювань
 CH_2O , CO , NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} в атмосферному повітрі м. Миколаєва
за допомогою станції Oxygen Air Fresh Max «EcoRozum» в період 2021-2023 рр., мг/м^3

Поліютант	Середнє значення концентрації	Мінімальне значення концентрації	Максимальне значення концентрації	Стандартне відхилення даних
$\text{PM}_{2,5}$	0,015	0,01	0,05	0,01
PM_{10}	0,03	0,01	0,09	0,01
CH_2O	0,02	0,01	0,06	0,01
CO	0,27	0,2	0,29	0,02
NO_2	0,04	0,01	0,05	0,01

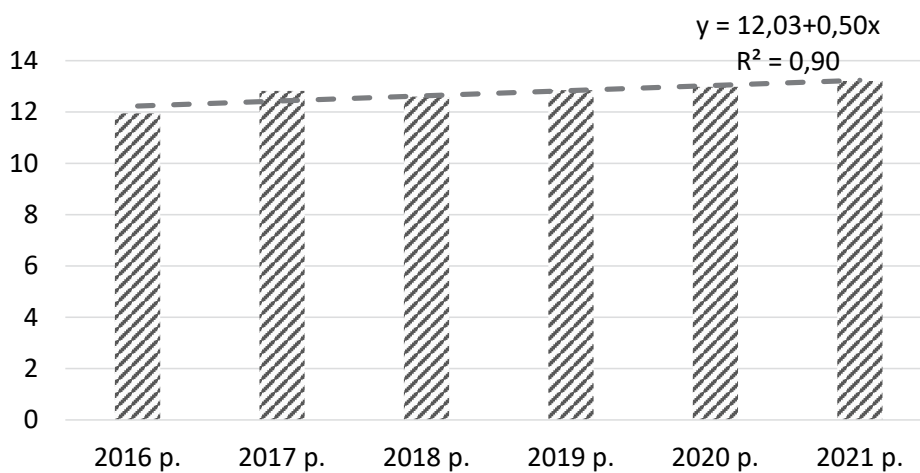


Рис. 4 Динаміка зміни КІЗА атмосферного повітря у м. Миколаєві впродовж 2016-2021 рр.

Результати вимірювань CH_2O на станціях 1, 2, 3 індикативних вимірювань системи громадського екологічного моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві свідчили про стійкість рівня концентрації формальдегіду близько до ГДК_{с.д.}, а максимальні разові концентрації досягали $0,06 \text{ мг/м}^3$, що повністю погоджується з результатами вмісту формальдегіду у повітрі, які отримано на стаціонарних постах м. Миколаєва (рис. 3, ж). Таким чином, це підтверджує висновок, що при референтному рівні забруднення атмосферного повітря екологічний моніторинг потрібно організувати з врахуванням індикативних вимірювань за допомогою компактних станцій.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

1. Головною тенденцією впродовж року для багатьох поліютантів атмосферного повітря є збільшення їхніх концентрацій у другій половині року та хронічне перевищення серед-

ньодобових гранично-допустимих значень для пилу, HF , NO_2 , CH_2O .

2. За розрахованими ІЗА серед 7 поліютантів, за якими ведеться державний моніторинг в м. Миколаєві, найбільше впливають на рівень забруднення атмосферного повітря міста: CO , CH_2O – для яких ІЗА більше за 1, та HF , NO_2 – для яких ІЗА є вищим за 5.

3. Середньорічний темп зростання показника КІЗА становить 0,5 одиниць.

4. Результати індикативних вимірювань об'ємних концентрацій поліютантів в атмосферному повітрі м. Миколаєва свідчили про високі значення концентрацій у повітрі дрібнодисперсного пилу PM_{10} (до $0,09 \text{ мг/м}^3$), підтвердили факт сталості підвищених концентрацій формальдегіду (до $0,06 \text{ мг/м}^3$), діоксиду азоту (до $0,05 \text{ мг/м}^3$). При референтному рівні забруднення атмосферного повітря екологічний моніторинг потрібно організувати з врахуванням індикативних вимірювань за допомогою компактних станцій.

5. Перспективами подальших досліджень є дослідження кількісного складу викидів поллютантів у м. Миколаєві за стаціонарних джерел та розроблення рекомендацій щодо ефективного розміщення станцій індикативних вимірювань для комплексного моніторингу атмосферного повітря у м. Миколаєві.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Баштаннік М., Жемера Н., Кіптенко Є., Козленко Т. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2014. Вип. 266. С. 70-93.
2. Васенко О., Рибалова О., Артем'єв С. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія. 2015. 419 с.
3. Гомонай В., Лобко В., Ходаковський В. Формальдегід – головний компонент забруднення атмосфери автомобільним транспортом в містах України. *Екологічний вісник*. 2007. № 1 (41). С. 10-12.
4. Григор'єва Л. Екологічний моніторинг стану атмосферного повітря за індикативними вимірюваннями. *Екологічні науки*. 2022. № 2 (47). С. 137-141.
5. Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря: Постанова КМУ № 827 від 14.08.2019.
6. Директива Європейського Парламенту та Ради 2008/50/ЄС від 21 травня 2008 року Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text (дата звернення 24.12.2023)
7. Забруднення повітря в Україні з космосу. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/cleanair.org.ua-ukraine-space-ua-final-web.pdf> (дата звернення 24.12.2023)
8. Киналь О. Орокліматогенні чинники забруднення атмосфери міських ландшафтів (на прикладі Чернівців). *Наукові записки Вінницького педуніверситету*. 2013. Вип. 25. С. 215-218.
9. Кіптенко Є., Баштаннік М., Козленко Т., Жемера Н., Трачук Н. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря та його прогнозування в промислових містах України (на прикладі м. Луганськ). *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2013. Вип. 265. С. 78-88.
10. Кіптенко Є., Козленко Т. Вплив метеорологічних умов на забруднення повітря у промислових містах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Т. 13. 2007. С. 208-215.
11. Колесник В., Павличенко А., Калініна К. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 137. С. 156-169.
12. Поліщук С., Даценко Л. Оцінка впливу метеорологічних факторів на стан забруднення атмосферного повітря м. Дніпропетровська (на прикладі формальдегіду). *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. 2015. С. 266-270.
13. Шевченко О., Кульбіда М., Сніжко С. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2014. № 14. С. 5-15.

REFERENCES:

1. Bashtannik, M., (2014) Stan zabrudnennia atmosferneho povitria nad terytoriiu Ukrainy [The state of air pollution over the territory of Ukraine] *Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute*. 266. 70-93 [in Ukrainian]
2. Vasenko O., Rybalova O., Artemiev S. Intehralni ta kompleksni otsinky stanu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha: monohrafiia [Integral and comprehensive environmental assessments]. 2015. 419 [in Ukrainian]
3. Homonai, V., Lobko, V., Khodakovskiy, V. (2007) Formaldehyd – holovnyi komponent zabrudnennia atmosfery avtomobilnym transportom v mistakh Ukrainy [Formaldehyde is the main component of air pollution from road transport in Ukrainian cities] *Ekolohichniy visnyk*. 1 (41). 10-12. [in Ukrainian]
4. Grygorieva, L. (2022) Ekolohichniy monitorynh stanu atmosferneho povitria za indykativnymy vymiriuvanniamy [Environmental monitoring of the state of atmospheric air by indicative measurements] *Ekolohichni nauky*. 2 (47). 137-141. [in Ukrainian]
5. Deiaki pytannia zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu u haluzi okhorony atmosferneho povitria: Postanova KMU [Some issues of state monitoring in the field of atmospheric air protection] № 827 vid 14.08.2019. [in Ukrainian]
6. Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu ta Rady 2008/50/Yes vid 21 travnia 2008 roku Pro yakist atmosferneho povitria ta chystishe povitria dlia Yevropy [Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of May 21, 2008 on air quality and cleaner air for Europe] URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text (data vkhodu 24.12.2023) [in Ukrainian]

7. Zabrudnennia povitria v Ukraini z kosmosu. [Air pollution in Ukraine from space] URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/cleanair.org.ua-ukraine-space-ua-final-web.pdf> (data vkhodu 24.12.2023) [in Ukrainian]
8. Kynal, O. (2013) Oroklimatohenni chynnyky zabrudnennia atmosfery miskykh landshaftiv (na prykladi Chernivtsiv). *Naukovi zapysky Vinnytskoho peduniversitytetu*. 25. 215-218. [in Ukrainian]
9. Kiptenko, Ye., Bashtannyk, M., Kozlenko, T., Zhemera N., Trachuk, N. (2013) Otsinka stanu zabrudnennia atmosferneho povitria ta yoho prohnozuvannia v promyslovykh mistakh Ukrainy (na prykladi m. Luhansk) [Assessment of the state of atmospheric air pollution and its forecasting in industrial cities of Ukraine (on the example of Luhansk)]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*. 265. 78-88. [in Ukrainian]
10. Kiptenko, Ye., Kozlenko, T. (2007) Vplyv meteorolohichnykh umov na zabrudnennia povitria u promyslovykh mistakh [The impact of meteorological conditions on air pollution in industrial cities]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia*. 13. 208-215. [in Ukrainian]
11. Kolesnyk, V., Pavlychenko, A., Kalinina, K. (2017) Ekolohichna klasyfikatsiia yakosti atmosferneho povitria za kompleksnymy indeksamy yoho zabrudnennia [Ecological classification of atmospheric air quality based on complex indices of its pollution.]. *Heotekhnichna mekhanika*. 137. 156-169. [in Ukrainian]
12. Polishchuk, S., Datsenko, L. (2015) Otsinka vplyvu meteorolohichnykh faktoriv na stan zabrudnennia atmosferneho povitria m. Dnipropetrovska (na prykladi formaldehydu) [Evaluation of the influence of meteorological factors on the state of atmospheric air pollution in Dnipropetrovs'k (on the example of formaldehyde)]. *Budivnytstvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannia*. 2. 266-270. [in Ukrainian]
13. Shevchenko, O., Kulbida, M., Snizhko, S. (2014) Riven zabrudnennia atmosferneho povitria mista Kyieva formaldehydom. [Levels of formaldehyde air pollution in Kyiv] *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal*. 14. 5-15. [in Ukrainian]

УДК 556.114:556.51(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-6>

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

Володимир КАРАЇМ

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

ORCID: 0000-0003-4053-8019

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

Марія БОЯРИН

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

ORCID: 0000-0001-9822-5897

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: Караїм, О., Караїм, В., Лавринюк, З., Боярин, М., Джам, О. (2023). Оцінка гідрохімічних показників в аспекті екологічного управління у басейні річки Стрипа. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 49–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-6>

ОЦІНКА ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В АСПЕКТІ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ У БАСЕЙНІ РІЧКИ СТРИПА

Здійснення комплексної оцінки гідрохімічних показників є необхідним етапом у розробці стратегії екологічного управління водними ресурсами. Дані гідрохімічних досліджень дають можливість оцінити масштаби забруднення, визначити їх джерела та розробити ефективні заходи для відновлення та підтримки екологічно-стійкого стану водних об'єктів.

Метою роботи є здійснення гідрохімічної оцінки поверхневих вод річки Стрипа в аспекті екологічного управління в її басейні.

Дослідження проведено на основі методів гідрохімічного аналізу, узагальнення та систематизації, аналізу та синтезу, порівняння, абстрактно-логічного та послідовного.

Встановлено, що середньорічні показники вмісту таких забруднюючих речовин як азот амонійний, нітрити, нітрати, фосфати, сульфати, хлориди знаходяться у межах норми і не мають значного впливу на води. Також відповідають вимогам показники БСК, розчинний кисень та зависі. Таких речовин як нафтопродукти, хром, мідь, цинк, свинець у воді річки не виявлено.

Результати оцінки гідрохімічних показників води у річці Стрипа свідчать про низькі рівні забруднення внаслідок впливу людської діяльності і відсутність відхилень від нормативів якості. Однак скид відпрацьованих вод,

навіть якщо вони очищені за стандартною схемою, призводить до значного погіршення води у річці в сучасних умовах. Це спричинює різке зниження якості води через втрату аеробних бактерій у річковому потоці, які відіграють ключову роль у природному очищенні води.

У цьому аспекті, гідрохімічні дослідження є необхідною складовою екологічного управління басейном річки, надаючи важливу інформацію для ефективного моніторингу, виявлення джерел забруднення, управління змінами та забезпечення сталого використання водних ресурсів. Оцінка гідрохімічних показників виступає ключовим інструментом для збереження екологічної цілісності водних басейнів та забезпечення сталого розвитку.

Ключові слова: гідрохімічний аналіз, оцінка гідрохімічних показників, екологічне управління, басейн річки, річка Стрипа.

Olha 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

Volodymyr KARAIM

Post-graduate Student, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-4053-8019

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

Mariia BOIARYN

PhD of Geography, 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: 0000-0001-9822-5897

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: Karaim, O., Karaim, V., Lavrynyuk, Z., Boiaryn, M., Dzham, O. (2023). Otsinka hidrokhimichnykh pokaznykiv v aspekti ekolohichnoho upravlinnia u baseini richky Strypa [Evaluation of Hydrochemical Indicators in the Aspect of Environmental Management in the Strypa River Basin]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 49–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-6>

EVALUATION OF HYDROCHEMICAL INDICATORS IN THE ASPECT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN THE STRYPA RIVER BASIN

Conducting a comprehensive assessment of hydrochemical indicators is a necessary step in the development of strategies for environmental management of water resources. Data from hydrochemical studies provide the opportunity to assess the scale of pollution, identify sources of contamination, and develop effective measures for the restoration and support of the ecologically sustainable state of water bodies.

The aim of the study is to conduct a hydrochemical assessment of surface waters of the Strypa River in the context of environmental management in its basin. The research was carried out using methods of hydrochemical analysis, methods of generalization and systematization, analysis and synthesis, comparison, abstract-logical, and sequential methods.

It was found that the average indicators of the content of pollutants such as ammonium nitrogen, nitrites, nitrates, phosphates, sulfates, and chlorides are within the norm and do not significantly impact the water. Also, the parameters such as BOD, dissolved oxygen, and suspended solids comply with the requirements. Substances such as petroleum products, chromium, copper, zinc, and lead were not detected in the river water.

The results of the hydrochemical indicators evaluation in the Strypa River indicate low pollution levels due to human activities and the absence of deviations from quality standards. However, the discharge of treated water, even according to standard procedures, leads to significant deterioration of water quality in the river under contemporary conditions. This results in a sharp decline in water quality due to the loss of aerobic bacteria in the river flow, which play a key role in natural water purification.

In this context, hydrochemical research is an essential component of basin environmental management, providing crucial information for effective monitoring, identifying sources of pollution, managing changes, and ensuring sustainable water resource utilization. The assessment of hydrochemical indicators serves as a key tool for preserving the ecological integrity of water basins and ensuring sustainable development.

Key words: hydrochemical analysis, evaluation of hydrochemical indicators, environmental management, river basin, Strypa River.

Актуальність проблеми. Гідрохімічні показники змінюють ключову роль у визначенні екологічного стану водних систем. Їх оцінка є необхідною для ефективного екологічного управління та забезпечення сталого використання водних ресурсів. Дослідження в цьому напрямку має велике значення для збереження природного середовища та забезпечення життєздатності екосистеми нашої планети.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вирішенню проблем раціонального використання та збереження водних ресурсів, а також оцінці їх гідрохімічних показників, екологічного стану й антропогенного впливу на них присвятили свої роботи низка науковців. Зокрема : автори (Боярин, 2018, Нетробчук, 2018, Некос, 2023) здійснили оцінку екологічної стійкості ландшафтів басейнів річок, особливості гідрохімічного аналізу та екологічний стан поверхневих вод річок досліджено у працях (Джам, 2020, Караїм, 2022, Лавринюк, 2021, Цьось, 2017), екологічні засади управління водними ресурсами представлені у дослідженнях (Караїм, 2023), екологічній оцінці якості поверхневих вод за відповідними категоріями присвячені роботи (Яцик, 2007, Гриценко 2012) та ін.

Метою роботи є здійснення гідрохімічної оцінки поверхневих вод річки Стрипа в аспекті екологічного управління в її басейні.

Методологія. Дослідження проведено на основі методів гідрохімічного аналізу, методів узагальнення та систематизації, аналізу та синтезу, порівняння, абстрактно-логічного та послідовного методів. Інформаційну базу дослідження становили: законодавчі та нормативні акти з питань розвитку та збереження водних об'єктів, матеріали Державного агентства водних ресурсів України, Регіонального офісу водних ресурсів у Волинській області, Басейнового управління річок Західного Бугу

та Сяну, науково-аналітичні статті, електронні джерела періодичних видань та результати авторських досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Річка Стрипа є правою притокою другого порядку р. Західний Буг. Її довжина становить 24,4 км, площа басейну – 184 км², ширина заплави – до 700 м, а русло мало звивисте, ширина русла – 2 м (Басейнове управління річок Західного Бугу та Сяну, 2023). Згідно Водної Рамкової Директиви Стрипа є височинною річкою, так як бере свій початок із відмітки 240,2 м над рівнем моря та впадає в річку Лугу на висоті 197,7 м над рівнем моря. За типологією розміру, яка заснована на площі водозбірного басейну, річка Стрипа є середньою річкою (Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС, 2000).

Басейн річки Стрипа знаходиться на заході Волинської височини, і належить до лісостепової зони. Перепад висот на території басейну є незначним, а різниця висот між витоком та гирлом річки становить 42,5 м (Боярин, 2018).

Варто звернути увагу на різноманітність у геологічній будові в межах басейну річки. У центральній та південній його частинах залягають еолово-делювіальні відклади, лесові суглинки, супіски, а із центральної частини до східної відмічаємо флювіогляціальні піски. У північній та східній стороні басейну переважають болотні відклади торфу різних ступенів розкладу. На території північного-заходу знаходяться алювіальні відклади першої надзаплавної тераси, піски, а також суглинки. Майже на всій західній частині басейну спостерігаються еолово-делювіальні відклади. Із центральної частини до сходу залягають водно-льодовикові відклади, різнозерністі піски, суглинки, супіски, болотні відклади та торф (Нетробчук, 2011).

Що стосується потужності четвертинних відкладів, то у північній, західній та в централь-

ній частині басейну вони становлять: 11–20 м, у південній та східній частинах коливаються від 6 до 10 м (Боярин, 2018).

У результаті аналізу ґрунтового покриву, можемо відмітити, що на всій території басейну річки Стрипа, окрім північно-західної його частини, переважають сірі опідзолені супіщані та легко суглинні на лесових породах ґрунти й змиті їх різновиди. Особливістю таких ґрунтів є те, що потужність гумусових горизонтів тут коливається у межах 20–39 см, а глибина їх залягання становить 0–160 см. Показник вміст гумусу у відсотках коливається від 0,3 до 2,3 %, а величина кислотності (рН) цих ґрунтів варіює від 4,4 до 5,9. Щодо північно-західної частини басейну, то тут переважають дві групи ґрунтів: темно-сірі опідзолені легко суглинні на лесових породах ґрунти та їх змиті різновиди, а також торф'яно-болотні ґрунти та торфовища низові, які з північно-західної частини басейну річки Стрипа вузькими смугами тягнуться на захід басейну. Глибина залягання гумусу в торф'яно-болотних ґрунтах коливається від 0 до 100 см (Наконечний, 2010).

Долина р. Стрипа в деяких місцях є не зовсім вираженою і плоскою, що непомітно зливається з прилеглою рівнинною місцевістю. Береги вкриті луговою рослинністю, пологі.

Для гідрології річки характерний нерівномірний розподіл водного стоку на протязі року. Більша частина стоку (60–70 %) припадає на літній та осінній періоди (травень – листопад), значно менша – на весняний і зимовий (30–40 %). Живлення річка Стрипа має переважно дощове (50 % від загальної кількості), снігове живлення становить – 37 %, 13 % – живлення підземними водами. Зимом і літом річка живиться в основному за рахунок підземних вод. У сухі роки можливе припинення стоку через збіднення водоносних горизонтів, тому невеличкі водотоки пересихають. За даними проведених досліджень бачимо три підняття рівня води на протязі року – весняна повінь (внаслідок танення снігів, березень-квітень), літні паводки, причиною є випадання тривалих та сильних дощів (червень-серпень), внаслідок тривалих відлиг зимові підняття. Льодовий покрив на річках є нестійким, річки часто то скресають, то замерзають, а в деякі роки не замерзають зовсім. Лід починає утворюватися на початку грудня. Скре-

сає річка наприкінці лютого або на початку березня, тривалість льодоходу 2–5 днів. Річка повністю звільняється від льоду у другій декаді березня. На початку березня починає підвищуватися рівень води, спостерігається весняний розлив, його величина може залежати від висоти берегів та ширини заплави. Суттєвий вплив мають притоки та струмки (Нетробчук, 2011, Караїм, 2015).

Дослідження гідрохімічних показників якості води у річці Стрипа здійснено упродовж року у двох створах – вище і нижче випуску очисних споруд ТОВ «Павлівський пивзавод».

Проведеним обстеженням встановлено, що в межах водоохоронної зони цієї річки відсутні відгодівельні комплекси, склади отрутохімікатів, полігони твердих побутових відходів тощо. Найбільший вплив на якість води річки Стрипа здійснює ТОВ «Павлівський пивзавод», яке експлуатує каналізаційні очисні споруди повної біологічної очистки потужністю 200 м³/добу. Віддаль від очисних споруд до річки Стрипа становить 15 м. Періодично проводиться реконструкція очисних споруд, які розташовані на території ТОВ «Павлівський пивзавод», експлуатація очисних споруд здійснюється задовільно (Караїм, 2015).

Для визначення відповідності нормативам використано ГДК (річка за межами міста) господарсько-побутового використання (Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, 1996, Методичні рекомендації з розроблення нормативів гранично-допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти, 2021).

У цілому гідрохімічну характеристику річки можна вважати задовільною, оскільки значних перевищень ГДК (гранично допустимих концентрацій) не спостерігається. Таких речовин, як нафтопродукти, хром, мідь, цинк, свинець, не виявлено. Такі компоненти, як розчинений кисень, завислі речовини та БСК, знаходяться в межах норми.

Середньорічні показники вмісту забруднюючих речовин у воді річки Стрипа (завислі речовини, БСК, розчинений кисень) подані на рис. 1.

Перевищення ГДК спостерігаємо за вмістом у воді завислих речовин. За іншими показниками, такими як БСК та розчинений кисень, перевищень немає.

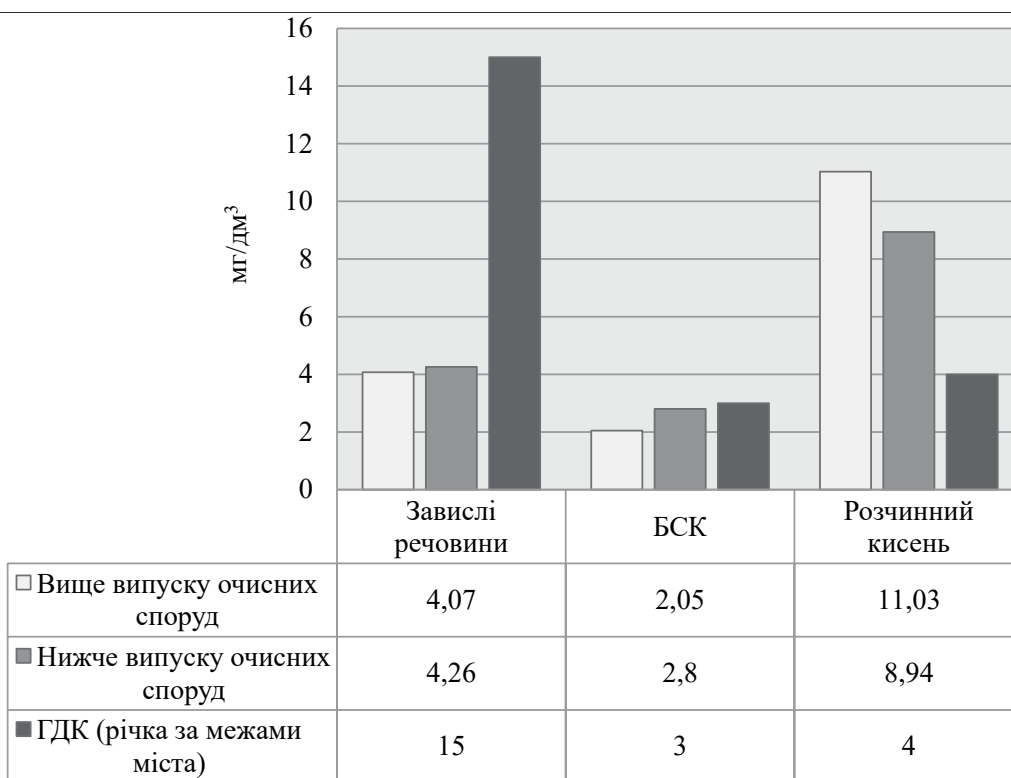


Рис. 1. Середньорічні показники вмісту завислих речовин, БСК та розчиненого кисню у воді річки Стрипа

Середньорічні показники вмісту забруднюючих речовин у воді р. Стрипа (азот амонійний, нітрити, фосфати) подані на рис. 2. За результатами розрахунків середньорічних показників вмісту забруднюючих речовин у воді р. Стрипа бачимо, що азот амонійний, нітрити, фосфати знаходяться в межах норми і не мають значного впливу на води.

Джерелами надходження сполук азоту в природні води р. Стрипа можуть бути: забруднені атмосферні опади, що інфільтруються в підземні води; неорганічні азотні добрива та гній; стічні води тваринницьких комплексів, побутові й виробничі стічні води; стоки сміттєзвалищ та ін.

Середньорічні показники вмісту забруднюючих речовин у воді річки Стрипа (нітрати, хлориди, сульфати) подані на рис. 3.

Оцінивши вміст у водах таких компонентів, як сульфати, хлориди, нітрати встановлено, що їх концентрація не перевищує ГДК і не чинить значного навантаження на річку.

Результати оцінки гідрохімічних показників води свідчать про низькі рівні забруднення внаслідок впливу людської діяльності і малі відхилення від нормативів якості. Однак скид від-

працьованих вод, навіть якщо вони очищені за стандартною схемою, призводить до значного погіршення води у річці в сучасних умовах. Це спричинює різке зниження якості води через втрату аеробних бактерій у річковому потоці, які відіграють ключову роль у природному очищенні води.

Таким чином, акцентуючи увагу на екологічному басейновому управлінні, яке в свою чергу є важливим аспектом сталого розвитку, оскільки воно орієнтоване на управління водними ресурсами в широкому контексті конкретного басейну, можемо стверджувати, що гідрохімічний аналіз водних ресурсів у межах басейнового підходу є ключовим інструментом для оцінки екологічного стану та розробки ефективних стратегій управління цими ресурсами.

Звернемо увагу на основні аспекти вагомості гідрохімічної оцінки в аспекті екологічного управління в басейні річки Стрипа.

Оцінка гідрохімічних показників дає змогу систематично вимірювати та аналізувати хімічний склад водних ресурсів у басейні. Цей моніторинг надає важливу інформацію про концентрацію різних хімічних сполук, реакцію

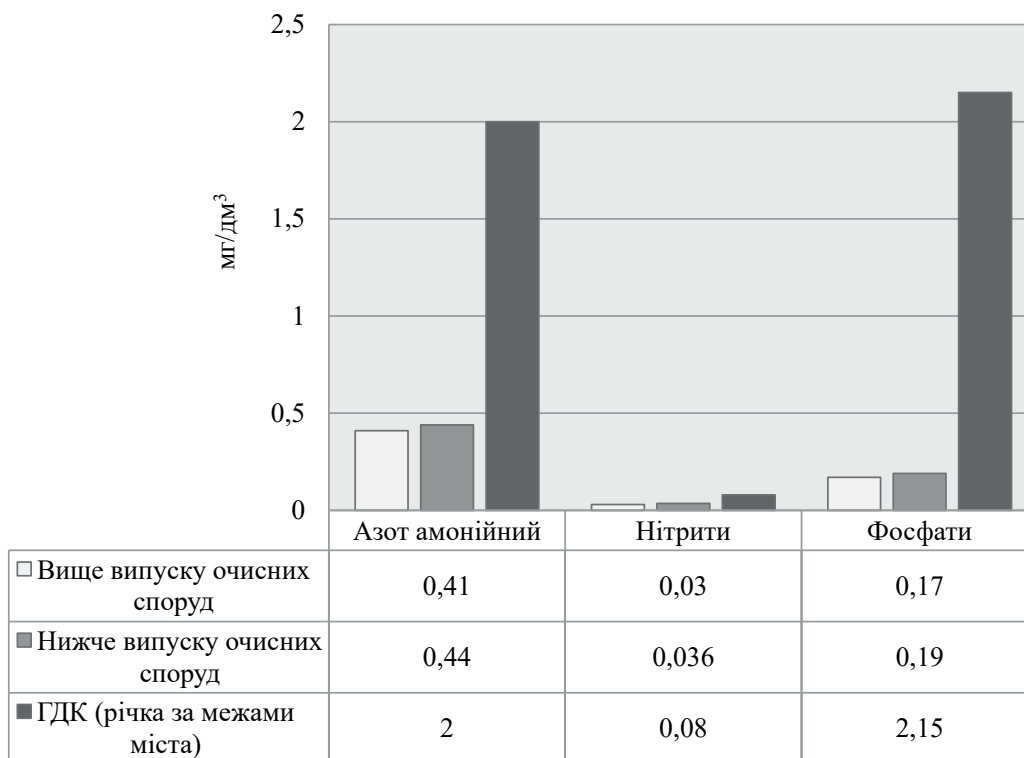


Рис. 2. Середньорічні показники азоту амонійного, нітритів, фосфатів у воді річки Стрипа

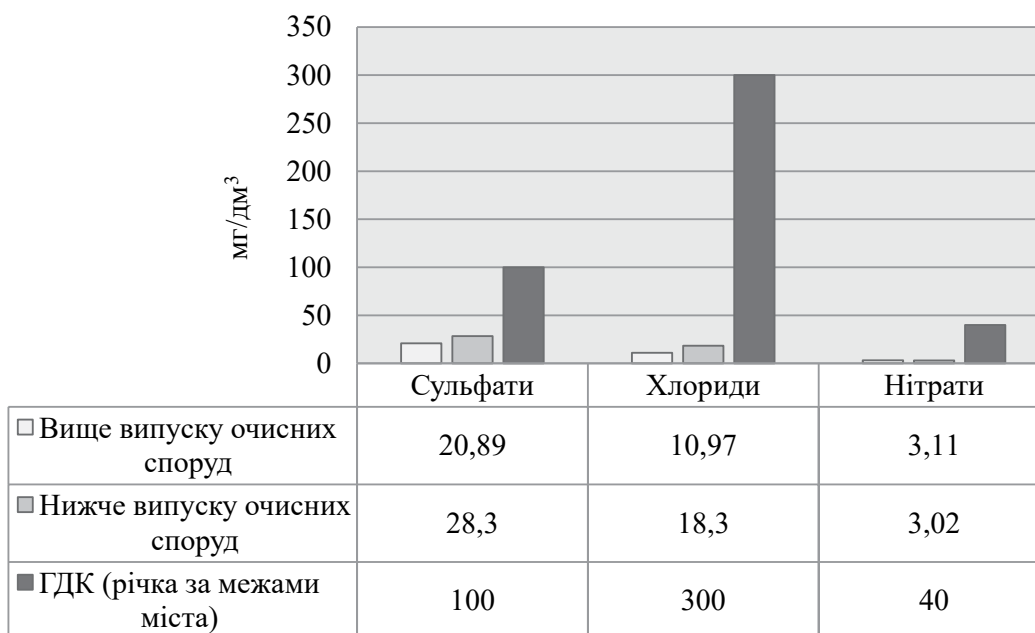


Рис. 3. Середньорічні показники сульфатів, хлоридів, нітратів у воді річки Стрипа

середовища, наявність токсичних речовин та інші гідрохімічні показники. Ця інформація служить основою для розуміння екосистем та їх відповіді на різні впливи.

Гідрохімічний аналіз дозволяє визначити джерела забруднення водних ресурсів у межах басейну. З ретельним вивченням хімічного

складу можна ідентифікувати конкретні хімічні речовини та їхні джерела, що допомагає установити відповідальність та розробити стратегії зменшення забруднення.

Також гідрохімічна складова є важливою для прогнозування та управління змінами в екосистемі. Зміни в гідрохімічних показниках засте-

рігають про зміни в екосистемі, такі як розклад органічної речовини, зростання або зменшення біорізноманіття, або зміни в рівні забруднення. Ця інформація служить основою для розробки стратегій екологічного басейнового управління.

Отже, оцінка гідрохімічних показників дозволяє ефективно управляти водними ресурсами у межах басейну, сприяючи їх сталому використанню. Розуміння гідрохімічних процесів дозволяє розробляти заходи для підтримання екологічно прийняттого рівня якості води, що має важливе значення для задоволення потреб сучасного суспільства та збереження водних екосистем.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Значення результатів аналізу хімічного складу води вказують на низькі рівні забруднення в результаті антропогенного

впливу і мало відхиляються від показників ГДК. Проте скид відпрацьованих (навіть очищених за стандартною схемою) вод у річку в сучасних умовах супроводжується різким погіршенням якості води через загибель у річковому потоці аеробних бактерій, які визначають здатність потоку очищатися природним шляхом.

Гідрохімічний аналіз є невід'ємною частиною екологічного басейнового управління, забезпечуючи необхідну інформацію для ефективного моніторингу, виявлення джерел забруднення, управління змінами та забезпечення сталого використання водних ресурсів. Оцінка гідрохімічних показників виступає ключовим інструментом для збереження екологічного інтегритету водних басейнів та забезпечення сталого розвитку на рівні водних ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Басейнове управління річок Західного Бугу та Сяну. URL: <https://buvrzbts.davr.gov.ua/>
2. Боярин М. В., Нетробчук І. М. Оцінка екологічної стійкості ландшафту басейну річок Західний Буг Волинської області. *Людина і довкілля. Питання неоекології*. 2018. № 1-2(29). С. 40-46. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/10756/10644>
3. Державні санітарні правилами планування та забудови населених пунктів затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я від 19.06.1996 № 173. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> Дата звернення: 26.11.2023 р.
4. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text. Дата звернення: 26.11.2023 р.
5. Караїм О., Ахнюк М., Лавринюк З., Джам О., Гулай Л. Гідрохімічний аналіз поверхневих вод в аспекті управління водними ресурсами річки Жидувка. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2022. № 1. С. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-2>
6. Караїм О. А. Панасюк І. М. Оцінка екологічного стану басейну річки Стрипа та заходи щодо його поліпшення. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. Харків, 2015. № 3–4. С. 89–95. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5561/5115>
7. Лавринюк З., Караїм О., Гулай Л. Гідрохімічний аналіз та особливості використання поверхневих вод річки Оконка. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2021. № 3. С. 24–29. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-4>
8. Наконечний Ю. І. Заплавне ґрунтоутворення і ґрунти заплави р. Західний Буг. Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. Л. 2010. 20 с.
9. Нетробчук І. М. Геоекологічний стан басейну річки Луга. *Науковий вісник ВНУ імені Лесі Українки. Серія: Географічні науки*. 2011. № 17. С. 176–182.
10. Nekos A., Boiaryn M., Tsos O., Netrobchuk I., Voloshyn V. Determination of the macrophyte index MIR as an indicator of water quality in the Pripet river. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*. 2023. № 58. С. 360–370. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-27>
11. Регіональний офіс водних ресурсів у Волинській області. URL: <https://vodres.gov.ua/node/65>
12. Яцик А. В., Гопчак І. В. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод Волинської області. *Водне господарство України*. 2007. № 2. С. 20–24.
13. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / А. В. Гриценко, О. Г. Васенко, Г. А. Верніченко та ін. Х.: УкрНДІЕП. 2012. 37 с.
14. Методичні рекомендації з розроблення нормативів гранично-допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти затверджені Наказом Міндовкілля від 05.03.2021 № 173. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0173926-21#Text> Дата звернення: 26.11.2023 р.

REFERENCES:

1. Baseinove upravlinnia richok Zakhidnoho Buhu ta Sianu [Baseline management of the Western Bug and San Rivers]. Retrieved from <https://buvrzbts.davr.gov.ua/> [in Ukrainian].
2. Boiaryn, M. V., Netrobchuk, I. M. (2018). Otsinka ekolohichnoi stiikosti landshaftu baseinu richok Zakhidnyi Buh Volynskoi oblasti [Assessment of Landscape Ecological Stability of the Western Bug River Basin in Volyn Region]. *Liudyna i dovkillia. Pytannia neoekolohii*. № 1-2(29). 40-46. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/10756/10644> [in Ukrainian].
3. Derzhavni sanitarni pravyla planuvannia ta zabudovy naselenykh punktiv [State Sanitary Rules for Planning and Development of Settlements] zatverdzeni Nakazom Ministerstva okhorony zdorovia vid 19.06.1996 № 173. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text> [in Ukrainian].
4. Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2000/60/ES [Directive of the European Parliament and Council 2000/60/EC]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text [in Ukrainian].
5. Karaim, O., Akhnyuk, M., Lavrynyuk, Z., Dzham, O., Gulay, L. (2022). Hidrokhimichnyi analiz poverkhnevnykh vod v aspekti upravlinnia vodnymy resursamy richky Zhyduvka [Hydrochemical Analysis of Surface Waters in the Context of Water Resources Management of the Zhiduvka River]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*. № 1. 10-17. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-2> [in Ukrainian].
6. Karaim, O. A. Panasiuk, I. M. (2015). Otsinka ekolohichnoho stanu baseinu richky Strypa ta zakhody shchodo yoho polipshennia [Assessment of the Environmental State of the Strypa River Basin and Measures for Its Improvement]. *Liudyna i dovkillia. Problemy neoekolohii*. Kharkiv. № 3–4. 89-95. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5561/5115> [in Ukrainian].
7. Lavryniuk, Z., Karaim, O., Gulay, L. (2021). Hidrokhimichnyi analiz ta osoblyvosti vykorystannia poverkhnevnykh vod richky Okonka [Hydrochemical Analysis and Features of the Use of Surface Waters of the Okonka River]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*. № 3. 24-29. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-4> [in Ukrainian].
8. Nakonechnyi Y. I. (2010). Zaplavne gruntoutvorennia i grunty zaplavy r. Zakhidnyi Buh [Floodplain Soil Formation and Soils of the Western Bug River Floodplain]. *Lviv. nats. un-t im. I. Franka*. L. 20 s. [in Ukrainian].
9. Netrobchuk, I. M. (2011). Heoekolohichnyi stan baseinu richky Luha [Geoecological Condition of the Luga River Basin]. *Naukovyi visnyk VNU imeni Lesi Ukrainky. Serii: Heohrafichni nauky*. № 17. 176-182. [in Ukrainian].
10. Nekos, A., Boiaryn, M., Tsos, O., Netrobchuk, I., Voloshyn, V. (2023). Determination of the macrophyte index MIR as an indicator of water quality in the Pripet river [Determination of the Macrophyte Index MIR as an Indicator of Water Quality in the Pripet River]. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*. № 58. 360-370. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-27> [in Ukrainian].
11. Rehionalnyi ofis vodnykh resursiv u Volynskii oblasti [Regional Office of Water Resources in Volyn Region]. Retrieved from <https://vodres.gov.ua/node/65> [in Ukrainian].
12. Yatsyk, A. V., Hopchak, I. V. (2007). Metodyka vstanovlennia i vykorystannia ekolohichnykh normatyviv yakosti poverkhnevnykh vod Volynskoi oblasti [Methodology for Establishing and Using Environmental Standards for Surface Waters of Volyn Region]. *Vodne hospodarstvo Ukrainy*. № 2. 20-24. [in Ukrainian].
13. Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevnykh vod za vidpovidnymi katehoriiami [Methodology for the Environmental Assessment of Surface Water Quality by Relevant Categories] / A. V. Hrytsenko, O. H. Vasenko, H. A. Vernichenko ta in. Kh.: UkrNDIEP. 2012. 37 s. [in Ukrainian].
14. Metodychni rekomendatsii z rozroblennia normatyviv hranychno-dopustymoho skydattia zabrudniuuyuchykh rehovyn u vodni obkty [Guidelines for the Development of Norms for the Maximum Permissible Discharge of Pollutants into Water Bodies] zatverdzeni Nakazom Mindovkillia vid 05.03.2021 № 173. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0173926-21#Text> [in Ukrainian].

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ. ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

УДК 378.564:543

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-7>

Юлія ГОЛОВАЦЬКА

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

ORCID: 0000-0002-7740-9432

Бібліографічний опис статті: Головацька, Ю. (2023). Методичні аспекти реалізації авторської експериментальної педагогічної системи фахової підготовки майбутніх перекладачів на засадах локалізації. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 57–65, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-7>

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОРСЬКОЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ПЕДАГОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ПЕРЕКЛАДАЧІВ НА ЗАСАДАХ ЛОКАЛІЗАЦІЇ

В сучасних умовах серед основних професійних обов'язків перекладачів виступає завдання локалізації інформаційних продуктів, що зумовлює необхідність адаптації освітніх програм закладів вищої освіти для підготовки майбутніх спеціалістів у цій галузі. Така потреба підкреслює важливість інтеграції принципів локалізації у якості основоположного елемента розробки інноваційної експериментальної педагогічної системи спеціалізованої освіти перекладачів. Акцентується, що локалізація передбачає всебічну адаптацію інформаційного продукту до культурних норм та звичаїв країни-рецептора, включаючи переклад користувацького інтерфейсу, супутньої документації, системи допомоги, а також адаптацію програмного продукту до місцевих стандартів, перевірку його функціональності з урахуванням потреб кінцевих користувачів. Особлива увага приділяється аналізу культурної конгруентності перекладу, включаючи використання символів, зображень, кольорових схем, що відповідають культурним очікуванням цільової аудиторії, а також фінальному формуванню, тестуванню та оптимізації локалізованої версії продукту.

Локалізація часто охоплює не лише переклад програмного забезпечення, ігор та системних додатків, але й адаптацію їхньої колірної схеми до естетичних переваг та культурних особливостей цільової аудиторії. Цей процес вимагає від перекладачів не тільки лінгвістичних знань, але й глибокого розуміння культурних нюансів, що дозволяє створювати продукт, який би резонував з культурою, звичаями та сприйняттям мешканців конкретної країни. Відтак, перекладач стає творцем, адаптуючи ігри, програмне забезпечення чи інший контент таким чином, щоб вони відповідали культурним, мовним та психологічним особливостям місцевої аудиторії.

Саме тому актуалізується потреба в модернізації підходів до навчання майбутніх перекладачів, зокрема шляхом впровадження експериментальної педагогічної системи, орієнтованої на локалізацію. Це передбачає інтеграцію сучасних інформаційних технологій, здатних автоматизувати та оптимізувати процес перекладу, що є ключовим аспектом професійної підготовки у закладах вищої освіти. Розробка та реалізація таких систем має на меті не лише навчити студентів адекватного перекладу та адаптації контенту, але й розвинути їх культурну обізнаність та спеціальні навички, необхідні для успішної локалізації. Важливою складовою цього процесу є використання диференційованих підходів та вправ у навчанні, спрямованих на формування у студентів компетенцій, необхідних для ефективної роботи з локалізованим контентом, включаючи досягнення високого рівня професіоналізму та впровадження цифрових інновацій у освітній процес.

Ключові слова: заклади вищої освіти, професійна підготовка, майбутні перекладачі, локалізація, цифровізація, методичні аспекти, система, студенти, готовність до локалізації, глобалізація.

Yuliia HOLOVATSKA

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

ORCID: 0000-0002-7740-9432

To cite this article: Holovatska, Yu. (2023). Metodichni aspekty realizatsii avtorskoi eksperymentalnoi pedahohichnoi systemy fakhovoi pidhotovky maibutnikh perekhadachiv na zasadakh lokalizatsii [Methodical aspects of the implementation of the author's experimental pedagogical system of professional training of future translators on the basis of localization]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 57–65, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-7>

METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE AUTHOR'S EXPERIMENTAL PEDAGOGICAL SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE TRANSLATORS ON THE BASIS OF LOCALIZATION

In modern conditions, among the main professional duties of translators is the task of localization of information products, which necessitates the adaptation of educational programs of higher education institutions for the training of future specialists in this field. This need emphasizes the importance of integrating the principles of localization as a fundamental element of the development of an innovative experimental pedagogical system for the specialized education of translators. It is emphasized that localization involves the comprehensive adaptation of the information product to the cultural norms and customs of the recipient country, including the translation of the user interface, accompanying documentation, the help system, as well as the adaptation of the software product to local standards, checking its functionality taking into account the needs of end users. Special attention is paid to the analysis of the cultural congruence of the translation, including the use of symbols, images, color schemes that meet the cultural expectations of the target audience, as well as the final formation, testing and optimization of the localized version of the product.

Localization often involves not only the translation of software, games, and applications, but also the adaptation of their color scheme to the aesthetic preferences and cultural characteristics of the target audience. This process requires translators not only to have linguistic knowledge, but also to have a deep understanding of cultural nuances, which allows them to create a product that resonates with the culture, customs and perceptions of the inhabitants of a particular country. Thus, the translator becomes a creator, adapting games, software, or other content to fit the cultural, linguistic, and psychological characteristics of the local audience.

That is why the need to modernize approaches to the training of future translators, in particular by introducing an experimental pedagogical system focused on localization, is becoming urgent. This involves the integration of modern information technologies capable of automating and optimizing the translation process, which is a key aspect of professional training in institutions of higher education. The development and implementation of such systems aims not only to teach students adequate translation and adaptation of content, but also to develop their cultural awareness and special skills necessary for successful localization. An important component of this process is the use of differentiated approaches and training exercises aimed at forming students' competencies necessary for effective work with localized content, including achieving a high level of professionalism and introducing digital innovations into the educational process.

Key words: *higher education institutions, professional training, future translators, localization, digitalization, methodological aspects, system, students, readiness for localization, globalization.*

Актуальність проблеми. У контексті сучасного світу одним з домінантних трендів є глобалізація, що охоплює економічні, соціальні та культурні аспекти життя суспільства. Глобалізація впливає на соціокультурну динаміку та економічний ландшафт, розмиваючи традиційні засади, на яких ґрунтуються локальні культури, і трансформуючи механізми їх взаємодії. Цей процес сприяє ерозії культурних меж і стиранню дистанції між індивідами, що зумовлює кардинальні зміни у комунікаційному просторі.

Внаслідок збільшення взаємопроникнення культур та посилення міжкультурного діалогу виникають нові якісні параметри спілкування. Сучасна глобалізація та інтеграційні процеси, а також необхідність обробки та обміну величезних масивів інформації в різноманітних сферах ставлять перед системою освіти, зокрема

перед вищою школою, нові виклики та вимоги. Освітній процес має адаптуватися до цих змін, оскільки він відіграє ключову роль у формуванні компетентностей, необхідних для ефективної роботи та спілкування в умовах глобалізованого світу. Таким чином, акцентується на необхідності перегляду та модернізації освітніх програм з метою підготовки спеціалістів, здатних до адаптивної взаємодії в широкому міжкультурному контексті, що стає невід'ємною частиною професійної компетенції в умовах глобалізованого інформаційного простору.

Динамічні соціокультурні зміни, підвищена мобільність і зростаюча інтеграція суспільства у світовий контекст, а також потреба в міжнародному визнанні вітчизняних освітніх кваліфікацій актуалізують необхідність врахування світових та європейських освітніх трендів при

реформуванні української системи освіти. Це, зокрема, передбачає адаптацію до нових професійних вимог, що ставляться перед перекладачами у контексті їхньої ролі в глобалізованому суспільстві, що безпосередньо впливає на успіх їх професійної діяльності. Така ситуація вимагає переосмислення і модифікації змісту, методів і форм навчального процесу з іноземних мов у вищих навчальних закладах, спрямованих на підготовку майбутніх перекладачів, зокрема через включення локалізації інформаційних продуктів до їх професійних компетенцій.

Розширення уявлень про феномен перекладу у новому соціокультурному контексті вимагає глибокого збагачення теоретичних і практичних знань студентів, що передбачає не тільки традиційні навички перекладу, але й уміння адаптувати контент до культурних і соціальних особливостей різних країн. Це стає можливим завдяки перегляду навчальних програм із залученням принципів локалізації як ключового елемента в структурі підготовки перекладачів, що передбачає формування не лише лінгвістичних, але й культурологічних, технічних та маркетингових компетенцій, які є невід'ємними для ефективної роботи в сучасному мультикультурному світі.

Таким чином, інтеграція у світову освітню та професійну спільноту вимагає від української системи вищої освіти не лише врахування загальних тенденцій у розвитку глобалізованого світу, але й активного впровадження інноваційних підходів до навчання, які відповідають зміненим вимогам до професійної діяльності перекладачів.

Відображення глобальних тенденцій комунікації в методології викладання іноземних мов є критично важливим для адаптації освітнього процесу до потреб сучасного інформаційного та глобалізованого суспільства. Це вимагає від освітніх інституцій вищої освіти підняти процес підготовки майбутніх перекладачів на якісно новий рівень, забезпечуючи їх необхідними компетенціями для активної та цілеспрямованої локалізації та інтерпретації інформаційних масивів відповідно до вимог кінцевих користувачів.

Розробка та впровадження інноваційних навчальних програм, що відповідають сучасним викликам інформаційного суспільства,

повинні включати комплексний підхід до навчання іноземних мов, з акцентом на розвиток перекладацьких та локалізаційних навичок. Це передбачає не лише володіння мовою на високому рівні, але й глибоке розуміння культурних нюансів, специфіки ринку та технологічних аспектів локалізації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У контексті трансформації перекладацької дисципліни, наукова спільнота посилила увагу до вивчення множинності аспектів, що впливають на професійне становлення перекладачів, лінгвістів та філологів. Відтак, була створена методична система для професійного розвитку філологів з використанням передових інформаційних технологій, авторство якої належить В. Босі; Т. Валюкевич провела детальний аналіз ефективності використання онлайн-сервісів у процесі вивчення англійської мови серед студентів; О. Глушак визначила педагогічні принципи, які лежать в основі підготовки бакалаврів-філологів до впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у своїй професійній практиці; М. Іконнікова зосередилася на аналізі викликів, що стоять перед філологами у контексті сучасного наукового дискурсу; А. Кушнір систематизувала дані щодо методологічних аспектів імплементації новітніх наукових стратегій в процес професійного навчання майбутніх викладачів-філологів.

У контексті переходу освіти до цифрового формату, наукове співтовариство акцентує на потенціалі цифровізації в аспекті підготовки майбутніх спеціалістів у сфері перекладу. Розглядаються інноваційні підходи та набуті практики втілення електронного навчання для перекладачів, серед яких А. Ольховська дослідила використання та досвід впровадження дистанційних освітніх методик. С. Цінько та Н. Голуб розкрили перспективи дистанційного навчання для майбутніх учителів-філологів як інструменту розвитку інформаційних та методичних компетенцій. Водночас, виявляється, що аспект розробки методичної систематичності в професійній підготовці перекладачів з основою на принципах локалізації залишається недостатньо дослідженим, вказуючи на потребу подальших наукових розробок у цій області.

Мета статті полягає в презентуванні методичних аспектів реалізації авторської експериментальної педагогічної системи фахової

підготовки майбутніх перекладачів на засадах локалізації.

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. Прагнення до розширення ринків збуту спонукає численні компанії звертати свій розвиток у напрямку міжнародної арени. В цьому процесі, особливо в контексті ІТ-сектора, організації часто стикаються з необхідністю локалізації та мовної адаптації своїх продуктів. Ця вимога породжує оновлені очікування від процесу освіти майбутніх спеціалістів у вищих навчальних закладах, як зазначено у дослідженні Mirza (2017). Локалізація вимагає не лише точного перекладу програмного забезпечення, відеоігор чи інших інформаційних продуктів, але й їхньої культурної адаптації до конкретного ринку, забезпечуючи інтуїтивне розуміння та зручність користування для енд-юзерів. Отже, ключовим методологічним елементом в авторській педагогічній системі фахового навчання на основі локалізації є розвиток навичок у студентів щодо адаптації тексту з урахуванням культурних особливостей цільової аудиторії.

У сучасному світі вимоги до перекладацьких послуг значно виросли, переставши обмежуватися лише прямим перекладом текстів за допомогою комп'ютерних технологій. Клієнти прагнуть отримати не лише переклад високої якості, але й вірне відтворення форматування та зовнішнього оформлення документів, що вимагає точності та уваги до деталей. У контексті глобалізації, коли великі корпорації прагнуть розширити свій вплив на нові ринки, стає актуальним питання локалізації – процесу, що передбачає адаптацію контенту під конкретні культурні та мовні особливості цільової аудиторії.

З розвитком ІТ-сектора та збільшенням обсягу програмного забезпечення, що виходить на міжнародний ринок, важливість адаптації цих продуктів під специфіку різних регіонів стає очевидною. Локалізація в цьому контексті не обмежується лише перекладом інтерфейсу або текстового контенту, але передбачає гли-

боке занурення в культурні нюанси та вимоги споживачів з різних країн.

Джоанн Ротюр'є (J. Roturier) у своїй роботі (2015, с. 9) акцентує на складності та багатогранності процесу локалізації, виходячи за межі традиційного розуміння перекладу. Вона підкреслює, що локалізація вимагає не лише мовної, але й культурної адаптації контенту, забезпечуючи його прийнятність та зрозумілість для кінцевого користувача. Це підтверджує, що локалізація – це комплексна діяльність, що включає в себе глибокий аналіз цільової аудиторії, її культурних особливостей та вимог до програмного продукту.

У науковій праці дослідниці зазначено, що процес адаптації програмного забезпечення або сервісів до вимог користувачів, для кого мова розробки є не рідною, зазвичай включає додаткові лінгвістичні та не лінгвістичні заходи. Це важливо для забезпечення ефективної взаємодії з програмним продуктом. З метою оптимізації та економії витрат на переклад, автор акцентує на необхідності підготовки первинного контенту, що має виконуватися кваліфікованими фахівцями в галузі перекладу. Описана діяльність входить до концепції інтернаціоналізації, яка набуває особливого значення в ІТ-секторі, де передбачає підготовку продукту з урахуванням лінгвістичних, культурних та інфраструктурних особливостей потенційних ринків збуту заздалегідь, щоб мінімізувати необхідність змін під час локалізації (Roturier, 2015, с. 14; Online Browsing Platform, 2012). Інтернаціоналізація розглядається як стратегія, спрямована на усунення регіональної специфіки продукту, що сприяє зниженню вартості та спрощенню процесу його локалізації (Ребрій, 2012, с. 35). Також важливим аспектом є застосування методичних підходів при підготовці майбутніх перекладачів, зокрема з огляду на ключові характеристики локалізації як феномена сучасної перекладацької діяльності.

Локалізація представляє собою комплексний процес адаптації продукту до культурних, мовних та функціональних вимог та особливостей країни-реципієнта. Основними складовими цього процесу є переклад інтерфейсу користувача, відповідної документації, довідкових систем, а також адаптація програмного продукту до локальних стандартів, перевірка його функціональності з огляду на специфіку цільової

аудиторії, аналіз відповідності використаних символів, малюнків, кольорових схем культурному контексту та завершальне тестування та налаштування локалізованого продукту.

У процесі локалізації програмного забезпечення перекладачі стикаються з унікальними викликами, серед яких особливо виділяється проблема відсутності контексту. Це стає значною перешкодою, адже в динамічно генерованих текстових елементах, таких як діагностичні повідомлення, назви вікон, вміст станових рядків, слова та фрази формуються з попередньо заданих компонентів, що ускладнює точне визначення їхнього значення без знання конкретного контексту використання. Така ситуація вимагає від перекладача застосування інтуїції та проведення глибокого тестування для забезпечення коректності перекладу термінів, які можуть мати кілька значень (наприклад, слово «picture» може перекладатися як «малюнок» або «кадр», а «line» – як «лінія» або «рядок»), у відсутності достатнього контексту.

Деякі складнощі процесу локалізації програмного забезпечення можуть бути значною мірою пом'якшені, коли розробка ведеться не англійською мовою, і для програмістів стає зрозумілим, що зміни в формі дієслова можуть залежати не тільки від числа, але й від роду суб'єкта дії. Така особливість виявляється, наприклад, у відмінностях між оновленням одного об'єкта (кадра) і багатьох (бібліотек), де в англійській мові відмінності обмежуються лише числом, а в українській додається зміна за родами. Це демонструє значну мовну гнучкість і необхідність адаптації під множинність мовних структур.

Іншим проблемним аспектом є використання числівників, де англійська мова розрізняє лише форми для однини та множини, в той час як українська мова включає різні форми залежно від кількості, що особливо помітно на прикладі друку сторінок. Це вимагає від локалізаторів знаходження креативних рішень для адекватного представлення інформації, ураховуючи специфіку мови.

Такі особливості підкреслюють важливість комплексного підходу до підготовки майбутніх спеціалістів у галузі локалізації, зокрема, до розуміння і застосування методик, що дозволяють ефективно працювати з мовними та культурними відмінностями. Врахування таких

нюансів є ключовим для формування професійних навичок, які забезпечать високий рівень адаптації програмного забезпечення до потреб конкретної культурної аудиторії.

Локалізація, отже, значно виходить за рамки простого перекладу тексту, вимагаючи врахування цілого ряду культурних аспектів, таких як напрямок читання тексту, формати дат, часу, валют, адресації, способи введення даних, а також особливостей використання чисел і ком у десяткових дробах. Ці елементи вимагають від фахівців не тільки мовних знань, але й глибокого розуміння культурних контекстів, для чого необхідна відповідна фахова підготовка.

Локалізація програмного забезпечення охоплює значно ширший спектр культурних адаптацій, ніж простий переклад тексту, зокрема врахування культурних особливостей, що мають вирішальне значення для точної адаптації продукту. Одним з основних викликів є обмеженість зміни порядку аргументів у програмних рядках з динамічно підставленими параметрами, які не дозволяють адаптації фрази до логічної структури цільової мови. Ця проблематика підкреслює важливість передбачення мовної гнучкості на етапі розробки програмного забезпечення.

Культурні аспекти, які здаються незначними на перший погляд, такі як символіка світлофорів або зображення частин тіла, можуть викликати непорозуміння та неприйняття у користувачів з різних культурних традицій. Важливість врахування таких нюансів не може бути переоцінена, оскільки вони впливають на сприйняття та ефективність використання програмного продукту цільовою аудиторією. Складнощі з метафорами, зокрема, підкреслюють необхідність глибокого дослідження культурних особливостей та відповідної адаптації контенту.

Програми, які мають значні культурні, національні або релігійні відмінності, вимагають особливо ретельного підходу до локалізації. Хоча деякі види програмного забезпечення, як-от SCADA-системи або інструменти для програмування, можуть здаватися менш чутливими до культурних аспектів, метафори та символи, використані у них, все одно можуть потребувати адаптації для забезпечення універсальності та прийнятності на різних ринках.

Ретельне вивчення культурних особливостей, менталітету, гумору, цінностей та інших

аспектів життя потенційних користувачів є критичним для успішної локалізації. Підготовка лінгвістів та локалізаторів, таким чином, вимагає не лише знань мови та перекладацьких навичок, але й глибокого розуміння культурних контекстів, що дозволить адаптувати продукт таким чином, щоб він сприймався цільовою аудиторією як оригінально створений для неї.

Процес локалізації включає не лише переклад текстового контенту програм, ігор чи системного забезпечення, але й комплексну адаптацію до культурних та соціальних особливостей цільової аудиторії. Це вимагає від перекладача не просто перевести текст з однієї мови на іншу, але й творчо переосмислити й адаптувати контент, щоб він відображав культурні звичаї, ментальність та естетичні переваги потенційних користувачів. Така адаптація може включати зміну колірної палітри гри або вебсайту для відповідності естетичним нормам та очікуванням цільового ринку.

Розбіжності в культурних та мовних традиціях вимагають від перекладача глибокого розуміння не тільки мови, але й культури, для якої він адаптує продукт. Створення «нового творіння» – це складний процес, який вимагає не лише мовних знань, але й креативності, здатності думати нестандартно та вміння передбачити, як різні елементи продукту будуть сприйматися різними культурами.

У контексті сучасної вищої освіти існує актуальна потреба в модернізації підготовки майбутніх перекладачів, щоб включити навчання використанню інформаційних технологій для автоматизації перекладу та локалізації. Це стосується не лише технічних аспектів перекладу, але й розуміння того, як культурні особливості впливають на сприйняття контенту. Міждисциплінарний підхід, що включає знання з лінгвістики, культурології, технологій та навіть психології, є ключовим для ефективної підготовки спеціалістів у галузі локалізації.

Інформатизація освіти, зокрема у сфері перекладознавства, відкриває нові можливості для створення цифрових навчальних середовищ, де студенти можуть набувати практичних навичок у реальних проєктах локалізації, використовуючи сучасні програмні засоби. Такий підхід дозволяє майбутнім перекладачам заздалегідь ознайомитися з викликами та особливостями роботи в сфері локалізації, а також

розвиває необхідні компетенції для ефективного вирішення складних завдань, пов'язаних з адаптацією контенту для різних культурних контекстів.

Сучасна перекладацька діяльність, особливо у сфері локалізації, вимагає від фахівців не лише глибоких знань мови та культури, але й здатності оперативно реагувати на швидкі зміни в інформаційному просторі та вміння адаптувати контент до потреб різних аудиторій. З огляду на динамічний розвиток технологій та постійне оновлення інформації, перекладацька професія стає все більш вимогливою до навичок швидкого освоєння нових знань та технік.

Моделювання ситуацій професійної діяльності в освітньому процесі є ключовим елементом підготовки майбутніх перекладачів. Цей метод дозволяє студентам зануритися в реалістичні умови роботи, зіткнутися з типовими та нетиповими завданнями, які вони зможуть зустріти в професійній діяльності. Такий підхід сприяє розвитку критичного мислення, аналітичних здібностей та здатності до швидкого прийняття рішень у складних та непередбачуваних ситуаціях.

Організація освітнього процесу з опорою на реально існуючий комунікативний дискурс, будь-то через аналіз існуючих перекладів, роботу з мультимедійним контентом або моделювання процесів локалізації для конкретних ринків, дозволяє студентам краще зрозуміти специфіку роботи в даній області. Це також включає знайомство з різними інструментами та програмним забезпеченням, яке використовується у професії, та розвиток навичок їх застосування в практичній діяльності.

Локалізація як особливий вид технічного перекладу вимагає від перекладача не лише мовних знань, але й глибокого розуміння культурних особливостей та психології цільової аудиторії, що робить надзвичайно важливим забезпечення квазіпрофесійності освітнього середовища. Таке середовище має сприяти розвитку у студентів здатності до глибокого аналізу контексту, врахування нюансів мовної та культурної адаптації, а також формуванню вмінь ефективно спілкуватися з замовниками та кінцевими користувачами локалізованої продукції.

Використання сучасних інформаційних засобів і технологій у процесі навчання дозво-

ляє автоматизувати ряд процесів і зробити навчання більш ефективним та актуальним для сучасного ринку праці. Це включає не тільки знання програмного забезпечення для перекладу та локалізації, але й розуміння принципів SEO, маркетингу, інтерфейсного дизайну та інших аспектів, що впливають на успішність локалізованого продукту на цільовому ринку.

Саме тому, локалізація як перекладознавчий феномен складається з кількох етапів: інтернаціоналізації (попередньої підготовки вихідних текстів до перекладу шляхом здійснення внутрішньомовного перекладу (у разі необхідності)); власне перекладу (відтворення підготовлених текстових елементів програмного продукту засобами іншої мови, що включає переклад текстів програми, матеріалів інтерактивної довідки, супровідної документації, інформації в інтернеті та ін.); гуманізації (адаптації технічних повідомлень та їх перевираження мовою, зрозумілою для широкого загалу користувачів); тестування локалізованого продукту (перевірки збереження функціональності та коректності відображення програмного продукту в умовах нового мовного оформлення). Зазначені етапи локалізації є тісно взаємопов'язаними та взаємозалежними, а кожен наступний етап може виконуватися паралельно до попереднього, забезпечуючи неперервність та інтерактивність локалізаційного процесу.

Формування конкурентоздатного спеціаліста у сфері локалізації передбачає комплексний підхід до професійної підготовки, який інтегрує глибоке знання мови, культури та технічних нюансів перекладу. Систематизація навчального процесу через алгоритмічні етапи дозволяє створити умови для розвитку відповідних компетенцій і навичок, які відображають реалії професійної діяльності у галузі локалізації.

Аналітичний етап. На цьому етапі студенти занурюються в теоретичні основи перекладацької діяльності, ознайомлюються з лінгвістичними, когнітивними та психологічними аспектами професії. Робота з автентичними матеріалами допомагає майбутнім перекладачам краще зрозуміти специфіку контенту, з яким вони будуть працювати, та розвиває навички аналітичної роботи з текстом.

Тренувальний етап. Цей етап зосереджений на практичних аспектах локалізації. Студенти

вчаться визначати різні типи інформації в тексті, працювати з специфічною лексикою та враховувати прагматичні фактори перекладу. Особлива увага приділяється адаптації контенту, що часто вимагає відходу від дослівного перекладу на користь збереження інтенції оригіналу та забезпечення культурної адекватності.

Завершальний етап. На завершальному етапі студенти мають змогу випробувати свої навички в умовах, максимально наближених до реальної професійної діяльності. Імітація професійного спілкування, оцінка робіт колегами та викладачами дозволяє отримати цінний зворотний зв'язок та вдосконалити перекладацькі навички.

Забезпечення адекватності перекладу в контексті локалізації вимагає не лише мовних знань, а й здатності глибоко аналізувати контент, розуміти культурні та соціальні особливості цільової аудиторії, а також володіти технічними навичками для роботи з різноманітними форматами матеріалів. Такий підхід до навчання сприяє формуванню висококваліфікованих фахівців, здатних ефективно вирішувати завдання локалізації в сучасному багатомовному та багатокультурному світі.

Ефективний переклад часто вимагає відходу від строгої еквівалентності на користь адаптивних підходів, спрямованих на точне відображення змісту і збереження функціональної відповідності між оригінальним текстом та його перекладом. Необхідність адаптації тексту в контексті локалізації обумовлена широким спектром лінгвістичних і позалінгвістичних чинників. Ці фактори включають, серед іншого, розміри візуальних компонентів інтерфейсу, в які інтегруються перекладені тексти, стандарти стилістики та термінології, прийняті в мові перекладу для подібних текстів, а також специфіку місцевого законодавства та індустриальні особливості цільового ринку. Впровадження вказаної стратегії передбачає активне використання новітніх цифрових технологій, включаючи Moodle, Scratch, TagCloud, а також методики *flipped classroom*, які слугують додатковими методологічними інструментами в рамках авторської експериментальної системи професійної підготовки майбутніх спеціалістів у сфері перекладу та локалізації.

Висновки. У сучасній економіці, що характеризується всеосяжною глобалізацією та

активним пошуком нових ринків збуту, компанії інтенсивно інтегруються в міжнародний бізнесовий простір. Цей процес особливо актуальний для представників ІТ-сектора, які стикаються з необхідністю локалізації та адаптації своїх програмних продуктів до вимог різних лінгвокультурних середовищ. Локалізація стає все більш значущим аспектом у контексті швидкого розвитку інформаційних технологій та зростання кількості програмного забезпечення, вебресурсів та комп'ютерних ігор, що вимагають професійного перекладу.

Така тенденція сприяла зростанню інтересу з боку лінгвістів та мовознавців до дослідження локалізації, зокрема її теоретичних та практичних аспектів, а також до розробки нових стра-

тегій перекладу. Це дослідження має за мету не лише підвищити якість перекладу, але й оптимізувати підготовку майбутніх фахівців у вищих навчальних закладах для їхньої ефективної діяльності у сфері локалізації. Основу цієї підготовки складає авторська експериментальна педагогічна система, яка передбачає розвиток високого рівня професійних навичок у сфері локалізації, культурної освіти студентів, виконання практичних завдань, що імітують реальний локалізаційний процес, та застосування інноваційних цифрових технологій. Такий підхід дозволяє досягти високого рівня підготовленості майбутніх перекладачів, забезпечуючи їх готовність до вирішення складних завдань сучасної локалізації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Дмитренко, Т. В., Кучера, А. М., Стрельник, О. О. (2021). Соціокультурні детермінанти формування особистості філолога: лінгводидактичний аспект. *Наукові записки : збірник наукових статей*, 151, 46-54.
2. Максименко, Л. О. (2017). Втілення сучасних підходів у процес формування у філологів-перекладачів компетентності у письмовому перекладі наукових текстів. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Педагогічні науки: реалії та перспективи: зб. наук.праць*, 58, 93–101.
3. Олексієнко, Л. А. (2019). Проблеми змісту професійної підготовки майбутніх перекладачів у закладах вищої освіти України та можливі шляхи їх розв'язання. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, 3 (116), 33–38.
4. Ребрій, О. В. (2012). Сучасні концепції творчості у перекладі: монографія. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна.
5. Сімкова, І. О. (2018). Теорія і методика професійної підготовки майбутніх перекладачів до здійснення усного двостороннього науково-технічного перекладу : дис. док. пед. наук : 13.00.04. Київ, 539.
6. Mirza, C. (2017). Translators of the Future: What Skills Do You Need?. GALA Globalization and Localization Association, 6 June URL: <https://www.gala-global.org/blog/translators-future-whatskills-do-you-need> (data zvernennia: 28.01.2022)
7. Online Browsing Platform, ISO/TS 11669:2012 Translation projects – General guidance. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:11669:ed-1:v1:en>. (data zvernennia: 28.01.2022)
8. Roturier, J. (2015). Localizing Apps: A Practical Guide for Translators and Translation Students. Abingdon, New York : Routledge.
9. Stein, D. (2013). Machine Translation: Past, Present and Future. *Translation: Computation, Corpora, Cognition*, 3 (1), 5–13.

REFERENCES:

1. Dmytrenko, T. V., Kuchera, A. M., Strelnyk, O. O. (2021). Sotsiokulturni determinanty formuvannia osobystosti filoloha: lnhvodidaktychnyi aspekt [Sociocultural determinants of the formation of a philologist's personality: linguistic didactic aspect]. *Naukovi zapysky : zbirnyk naukovykh statei – Scientific notes: a collection of scientific articles*, 151, 46-54. [in Ukrainian].
2. Maksymenko, L. O. (2017). Vtillennia suchasnykh pidkhdov u protses formuvannia u filolohiv-perekladachiv kompetentnosti u pysmovomu perekladi naukovykh tekstiv [Implementation of modern approaches in the process of formation of philologists-translators' competence in the written translation of scientific texts]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Pedahohichni nauky: realii ta perspektyvy: zb. nauk.prats – Scientific journal of the National Pedagogical University named after M. P. Drahomanov. Pedagogical sciences: realities and prospects: coll. Nauk.prat*, 58, 93–101. [in Ukrainian].
3. Oleksiienko, L. A. (2019). Problemy zmistu profesiinoini pidhotovky maibutnikh perekladachiv u zakladakh vyshchoi osvity Ukrainy ta mozhyvi shliakhy yikh rozv'iazannia [Problems of the content of professional training of future translators in higher education institutions of Ukraine and possible ways to solve them]. *Visnyk KrNU imeni Mykhailo Ostrohradskoho – Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky KrNU*, 3 (116), 33–38. [in Ukrainian].

4. Rebrii, O. V. (2012). *Suchasni kontseptsii tvorchosti u perekladi: monohrafiia* [Modern concepts of creativity in translation: a monograph]. Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina. [in Ukrainian].
5. Simkova, I. O. (2018). *Teoriia i metodyka profesiinoi pidhotovky maibutnikh perekladachiv do zdiisnennia usnoho dvostoronnoho naukovo-tekhnicnoho perekladu* [Theory and methodology of professional training of future translators for oral two-way scientific and technical translation]: dys. dok. ped. nauk : 13.00.04. Kyiv, 539. [in Ukrainian].
6. Mirza, C. (2017). *Translators of the Future: What Skills Do You Need?*. GALA Globalization and Localization Association, 6 June URL: <https://www.gala-global.org/blog/translators-future-whatskills-do-you-need> (data zvernennia: 28.01.2022)
7. Online Browsing Platform, *ISO/TS 11669:2012 Translation projects – General guidance*. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:11669:ed-1:v1:en>. (data zvernennia: 28.01.2022)
8. Roturier, J. (2015). *Localizing Apps: A Practical Guide for Translators and Translation Students*. Abingdon, New York : Routledge.
9. Stein, D. (2013). *Machine Translation: Past, Present and Future*. *Translation: Computation, Corpora, Cognition*, 3 (1), 5–13.

УДК 37.016:[54+57]:37.014.6]:004-049.7](045)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-8>

Світлана ЛЮЛЕНКО

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри біології та здоров'я людини, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20300
ORCID: 0000-0002-5898-4511

Роман ПОДЗЕРЕЙ

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, Черкаська обл., Україна, 20300
ORCID: 0000-0001-7667-6515

Бібліографічний опис статті: Люленко, С., Подзереї, Р. (2023). Застосування цифрових технологій як засобу підвищення якості навчання при вивченні хімії та біології. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 66–71, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-8>

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЗАСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАВЧАННЯ ПРИ ВИВЧЕННІ ХІМІЇ ТА БІОЛОГІЇ

Інформаційний етап розвитку сучасного суспільства зумовлює актуальність обраної теми. Метою статті є дослідження застосування цифрових технологій як засобу підвищення якості навчання при вивченні хімії та біології. У ході дослідження використано такі методи дослідження, як аналіз психолого-педагогічної, наукової та навчально-методичної літератури, спостереження. У статті розглянуто цифрові технології які використовуються під час вивчення хімії та біології їх роль у професійній підготовці майбутніх вчителів хімії та біології, практичний аспект використання нових інформаційних технологій в педагогічному процесі. Розглянуто оптимальні умови реалізації методики застосування комп'ютера у системі професійно-методичної підготовки. Інформаційно-комунікаційна наповненість освітнього процесу підвищує роль природничої підготовки, формуючи у студентів цілісне природничо-наукове уявлення про навколишній світ. Цифрові технології у вивченні хімії та біології відкривають нові технологічні можливості навчання і мають численні переваги у організації навчального процесу. Впровадження ІКТ у сучасну освіту суттєво прискорює передавання знань і накопиченого технологічного та соціального досвіду людства не тільки від покоління до покоління, а й від однієї людини до іншої. Сучасні ІКТ, підвищуючи якість навчання й освіти, дають змогу людині успішніше й швидше адаптуватися до навколишнього середовища, до соціальних змін. Це дає кожній людині можливість одержувати необхідні знання як сьогодні, так і в постіндустріальному суспільстві. Активне й ефективно впровадження цих технологій в освіту є важливим чинником створення нової системи освіти, що відповідає вимогам ІС і процесу модернізації традиційної системи освіти.

Ключові слова: навчання біології та хімії, комп'ютеризація, цифрові технології, інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), підготовка майбутніх фахівців.

Svitlana LIULENKO

PhD (Candidate of Pedagogical Sciences), Associate Professor, Department of Biology and human health, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, 2 Sadova str., Uman, Cherkasy region, Ukraine, 20300
ORCID: 0000-0002-5898-4511

Roman PODZEREI

PhD (Candidate of Agricultural Sciences), Associate Professor, Department of Chemistry and Ecology, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, 2 Sadova str., Uman, Cherkasy region, Ukraine, 20300
ORCID: 0000-0001-7667-6515

To cite this article: Liulenko, S., Podzerei, R. (2024). Zastosuvannia tsyfrovyykh tekhnolohii yak zasobu pidvyshchennia yakosti navchannia pry vyvchenni khimii ta biolohii [The use of digital technologies as a means of improving the quality of education in the study of chemistry and biology]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 66–71, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-8>

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES AS A MEANS TO ENHANCE THE QUALITY OF LEARNING IN THE STUDY OF CHEMISTRY AND BIOLOGY

Information stage of modern society's development emphasizes the relevance of the chosen topic. The purpose of the article is to investigate the application of digital technologies as a means to enhance the quality of learning in the study of chemistry and biology. The research employs methods such as analysis of psycho-pedagogical, scientific, and educational literature, as well as observation.

The article examines digital technologies used in the study of chemistry and biology, their role in the professional preparation of future chemistry and biology teachers, and the practical aspect of using new information technologies in the educational process. Optimal conditions for implementing the methodology of computer application in the system of professional and methodological training are considered.

The information and communication content of the educational process enhances the role of natural science education, shaping students' comprehensive scientific understanding of the surrounding world. Digital technologies in the study of chemistry and biology open up new technological possibilities for learning and have numerous advantages in organizing the educational process.

The integration of ICT into modern education significantly accelerates the transfer of knowledge and accumulated technological and social experience not only from generation to generation but also from one individual to another. Modern ICT, by improving the quality of learning and education, enables individuals to adapt more successfully and quickly to the environment and social changes. This provides everyone with the opportunity to acquire necessary knowledge both today and in the post-industrial society. The active and effective implementation of these technologies in education is a crucial factor in creating a new education system that meets the requirements of the Information Society and the process of modernizing the traditional education system.

Key words: *biology and chemistry education, computerization, digital technologies, information and communication technologies (ICT), future professionals' preparation.*

Актуальність проблеми. Національна стратегія розвитку освіти "Україна XXI століття" визначає основним напрямком прогресу в галузі освіти впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, забезпечення доступності та підвищення ефективності освітнього процесу, а також готовність молодого покоління до активної участі в сучасному інформаційному суспільстві.

Сучасний освітній процес на сьогоднішній день потребує конкретного впровадження інновацій. Модернізація змісту освіти та інтеграція зарубіжного досвіду в українську освіту значно вплинули на функціональне призначення цифрових технологій у навчанні біології. Застосування цифрових ресурсів відповідає вимогам сучасності і взаємодіє з дистанційним навчанням.

Спостерігається розмаїття новаторських підходів та методів у навчанні. Під час проведення уроків використовуються як традиційні, так і новітні методи, ставлячи перед собою завдання забезпечити оптимальне поєднання обох підходів. У цьому контексті основні дидактичні принципи, такі як науковість, цілісність, послідовність, наочність та доступність, відіграють ключову роль у процесі навчання.

Так, цифрові застосунки виступають як ефективний засіб наочності в навчанні біології. Вони сприяють формуванню різноманітних

компетентностей та мають значний вплив на розвиток світогляду, розширення кругозору та стимулювання пізнавальних інтересів учнів.

Мета дослідження полягає в розкритті значення цифрових ресурсів під час навчання хімії та біології в закладах загальної середньої освіти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій засвідчує, що використання цифрових ресурсів під час навчання хімії та біології в закладах загальної середньої освіти перебуває на вістрі наукової думки.

Багато науковців, таких як З. Вербицька, А. Дячук, О. Єфремова, Л. Заціпанюк, М. Кісільова, О. Пінчук, І. Судакова, Д. Шуліка, вивчали впровадження цифрових технологій в освітній процес під час навчання.

Використання сучасних інформаційних засобів у процесі підготовки майбутніх учителів природничих дисциплін досліджували І. Безноска, Л. Романишина, О. Шквир, Н. Казакова.

Виклад основного матеріалу. Процес вивчення природничих дисциплін представляє собою цілісну систему взаємопов'язаних елементів, спрямовану на забезпечення учнів знаннями, вміннями і навиками, необхідними для успішного продовження навчання. На сучасному етапі активно досліджується пошук ефективних методів організації навчального процесу та використання цифрових технологій в цьому

контексті. Застосування цифрових технологій дозволяє зробити навчання більш наочним, змістовним та індивідуалізованим. Вони сприяють диференціації процесу навчання і роблять матеріал більш доступним для засвоєння.

Цифрові технології у вивченні хімії та біології відкривають нові технологічні можливості навчання і мають численні переваги у організації навчального процесу. Серед них:

- організація активної навчально-пізнавальної діяльності учнів, що сприяє більш ефективному засвоєнню матеріалу;
- оптимізація навчального процесу, що дозволяє ефективніше використовувати час і ресурси;
- збільшення об'єму матеріалу, який може бути вивчений на уроці завдяки доступу до різноманітних джерел і ресурсів в Інтернеті;
- стимулювання творчих здібностей школярів, оскільки цифрові технології можуть надавати можливості для інтерактивності та творчого вираження;
- можливість реалізації індивідуального навчання, що дозволяє враховувати різний темп та стиль вивчення учнів (Гура, 2018).

Більшість освітніх технологій, включаючи комп'ютерні, характеризуються послідовною дидактичною розробкою цілей навчання, структуруванням і ущільненням інформації, комплексним застосуванням різних засобів, а також гарантованістю визначеного рівня якості навчання. Зокрема, мультимедійні демонстрації є ефективною комп'ютерною технологією навчання, оскільки вони інтегрують звук, відео файли, анімацію, інтерактивний інтерфейс та інші елементи, що сприяють вивченню біології з використанням різноманітних змістовних ресурсів (Сліпчук, 2006).

Так, цифрові технології навчання представляють собою комплекс методів, прийомів, інструментів і умов, що ґрунтуються на використанні комп'ютерної техніки, засобів телекомунікаційного зв'язку та інтерактивного програмно-методичного забезпечення. Ці технології спрямовані на створення умов для цілеспрямованого процесу навчання, самонавчання та самоконтролю. Вони також включають моделюючу складову, яка відтворює частину функцій педагога, забезпечуючи представлення та передачу інформації, а також управління навчальною діяльністю учня, зокрема, орієнтованою на особистість (Міронєць, 2008).

Сучасні інформаційні освітні технології, включаючи комп'ютерні технології, охоплюють різні аспекти навчання та включають в себе освітні цілі, зміст освіти, форми, методи та засоби педагогічної взаємодії, а також результати діяльності. Класифікація цифрових технологій навчання базується на дидактичних аспектах, таких як спосіб отримання знань, ступінь інтелектуалізації, цілі навчання та характер керування пізнавальною діяльністю учнів.

До числа цифрових технологій, які застосовуються на уроках хімії та біології, входять:

1. Комп'ютерні навчальні програми. Вони розроблені для навчання конкретних понять чи навичок та можуть містити відповідні вправи, завдання і тести.

2. Мультимедійні технології. Використання засобів, які об'єднують звук, відео, анімацію та інші мультимедійні елементи для більш ефективного представлення інформації.

3. Технології дистанційного навчання. Можливість вивчення матеріалів та взаємодії з вчителем чи іншими учнями за допомогою інтернет-засобів.

4. Технології програмованого навчання. Використання програм, що дозволяють учням працювати над завданнями із зростаючим рівнем складності в залежності від їхнього прогресу (Безноска, 2020).

Ці технології сприяють більш ефективному та інтерактивному процесу навчання, а також забезпечують додаткові можливості для індивідуалізації навчання та розвитку творчих здібностей учнів.

Біологія спрямована на формування в учнів цілісного уявлення про сучасну природничо-наукову картину світу, а також на усвідомлення ролі та місця людини в навколишньому середовищі. Особливу увагу приділяється моральній відповідальності учнів за збереження природи та цивілізації в цілому.

У контексті викладання біології та хімії в загальноосвітніх закладах формується науково-дослідницька компетентність учнів. Ця компетентність означає їхню здатність шукати та засвоювати нові знання, набувати умінь і навичок, організовувати навчальний процес, використовуючи ефективне управління ресурсами та інформацією. Також вона включає в себе вміння визначати навчальні цілі та обирати шляхи їх досягнення, будувати свою

освітньо-професійну траєкторію, оцінювати особисті результати навчання та відзначатися готовністю навчатися протягом усього життя.

Використання інформаційно-комунікаційних технологій та онлайн-застосунків у вивченні хімії та біології в сучасних умовах є важливим чинником активізації навчально-пізнавальної діяльності учнів. Дослідницькі проекти, робота з базами даних, використання інтерактивних інструментів дозволяють створювати цікаві та змістовні завдання для учнів, сприяючи їхньому поглибленому розумінню біологічних концепцій (Козлакова, 1994).

Онлайн-застосунки, такі як Learning Apps, Moza Book, Wizer.me, Jamboard, Kahoot, Wordwall, Word Art, Lab Xchange, Virtual Labs, дозволяють вчителям створювати інтерактивні завдання, біологічні ігри, вікторини та інші форми інтерактивного навчання. Вони також дозволяють демонструвати та моделювати біологічні об'єкти та процеси, що робить навчання біології більш доступним та цікавим для учнів (Дичківська, 2004).

Проектна діяльність, яка включає в себе використання онлайн ресурсів, дозволяє учням самостійно досліджувати певні біологічні теми, спрямовуючи їхні інтереси і дозволяючи їм застосовувати отримані знання на практиці. Усі ці підходи сприяють формуванню активної, самостійної та дослідницької позиції учнів.

Використання хмарних технологій під час вивчення хімії та біології дозволяє здобувачам освіти не тільки отримувати доступ до навчальних матеріалів різного типу, але й здійснювати освітню діяльність у співпраці з однокласниками та вчителем. Дані технології впливають на створення відповідного мотиваційного середовища в процесі вивчення хімії і біології, підвищують пізнавальну активність здобувачів освіти, стимулюють їх самостійну інтелектуальну діяльність.

Інтеграція освітніх ресурсів та впровадження навчальних проектів вивчення хімії стають важливим елементом розвитку сучасної хімічної освіти. Оновлена програма з хімії, яка акцентує увагу на цих аспектах, має великий потенціал у формуванні компетентностей учнів. Декілька ключових аспектів, які можуть бути враховані в цьому контексті:

– уміння вчитися впродовж життя. Сприяння розвитку навичок самостійного вивчення

та пошуку інформації. Використання інтерактивних онлайн-ресурсів, які дозволяють учням досліджувати хімічні концепції самостійно;

– екологічна грамотність і здоровий спосіб життя. Включення учнів у проекти, спрямовані на вивчення екологічних аспектів хімії, таких як використання екологічно чистих матеріалів та технологій. Акцент на вивченні взаємозв'язку між хімічними процесами і збереженням навколишнього середовища;

– соціальна та громадянська відповідальність. Розвиток учнівської свідомості про соціальні та етичні аспекти застосування хімії у суспільстві (Зламанюк, 2011).

Залучення до проектів, спрямованих на розв'язання хімічних проблем, які впливають на громадянське суспільство;

– ініціативність і підприємливість. Створення проектів та завдань, які сприяють розвитку креативності учнів та їхньої ініціативи в розв'язанні хімічних завдань. Залучення до хімічних дослідницьких проектів, які стимулюють учнів до власних досліджень та висновків.

Ці підходи дозволяють не лише передавати знання про хімію, а й розвивати ключові навички та цінності, які стають важливими в умовах сучасного суспільства.

Взаємодія системи проектної діяльності учнів із хмарними сервісами в педагогічній практиці вчителів біології та хімії може мати ряд переваг і дозволяти реалізувати різноманітні освітні завдання. Нижче наведені приклади використання хмарних сервісів у проектній діяльності:

– спільна робота над проектами. Використання хмарних сервісів для спільного доступу до документів, презентацій, таблиць тощо, дозволяючи учням спільно працювати над проектами в режимі реального часу. Переваги такого підходу включають можливість одночасного редагування, коментування та спільного обговорення матеріалів.

– зберігання та обмін даними. Використання хмарних сховищ для зберігання та обміну документами, зображеннями, відео та іншими матеріалами, пов'язаними з проектною роботою. Забезпечення доступу до необхідних ресурсів з будь-якого пристрою та зручність роботи з великими обсягами інформації.

– використання спеціалізованих сервісів для досліджень. Використання хмарних інстру-

ментів для ведення лабораторних записів, аналізу даних та створення звітів після хімічних та біологічних досліджень. Можливість зберігання результатів досліджень у вигляді цифрових документів, які легко поділитися та обговорити з іншими учнями чи вчителями.

- організація онлайн-презентацій і демонстрацій. Використання хмарних сервісів для створення та демонстрації цифрових презентацій, що сприяє залученню візуальних елементів та зручному обміну матеріалами.

- застосування цифрових інструментів для збору даних (Артемова, 2011 с. 5-7).

Використання мобільних додатків та сервісів для збору та аналізу біологічних або хімічних даних в реальному часі під час польових робіт та досліджень. Взаємодія із хмарними сервісами сприяє ефективнішій організації роботи над проектами, покращує комунікацію між учнями та вчителями та створює зручні умови для зберігання та обміну інформацією.

Досвід роботи з використанням хмарних сервісів у проєктній роботі з хімії та біології демонструє ряд переваг інформаційних технологій над традиційними формами навчання:

- залучення здобувачів освіти до активної урочно-позаурочної діяльності завдяки її новизні і нетрадиційності;

- підвищення інтересу і загальної мотивації до вивчення природничих наук, зокрема біології й хімії (нові форми роботи, прилучення до досягнень науково-технічного прогресу);

- формування вмінь самостійно здобувати якісні знання (пошук інформації в мережі Інтернет);

- індивідуалізація освітньої діяльності (відповідно до здібностей і нахилів);

- розвиток творчого мислення (експериментування, встановлення причинно-наслідкових зв'язків тощо);

- розвиток абстрактного мислення (заміна конкретних біологічних чи хімічних об'єктів на схематичні чи символічні зображення);

- формування практичних умінь і навичок у віртуальному просторі (Кононенко, 2009).

Застосування ІКТ в освіті привело до появи нового покоління інформаційних освітніх технологій, що дали змогу підвищити якість

навчання, створити нові засоби впливу, ефективніше взаємодіяти педагогам з учнями. На думку багатьох фахівців, нові інформаційні освітні технології на основі комп'ютерних засобів дають можливість значно підвищити ефективність навчання. На сьогодні застосування інформаційно-комунікаційних технологій у загальноосвітніх навчальних закладах України створює нові можливості у вивченні біології. Вони дозволяють суттєво перебудувати і вдосконалити шкільну біологічну освіту (Шумська, 2006).

Застосування комп'ютерних технологій сприяє вирішенню проблеми змісту навчання біології, нових її форм і методів, що значно підвищує рівень мотивації в навчанні, розширюються можливості самостійної діяльності учнів у процесі вивчення біології.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Практика використання цифрових технологій в школі підтверджує їх ефективність на всіх етапах освітнього процесу. Спостереження за навчально-виховним процесом у школі надають підстави для твердження, що інформація, яка впливає на кілька органів чуття, має найефективніший вплив на учня. Така інформація засвоюється тим краще й міцніше, чим більше видів сприймання активізовано. Використання цифрових ресурсів вимагає конкретного застосування знань, умінь та навичок, що сприяє більш успішному засвоєнню навчального матеріалу та формуванню вмінь ефективно вирішувати проблеми та ситуації. Все це дозволяє вивести сучасний урок біології на якісно новий рівень; підвищувати статус вчителя; впроваджувати в навчальний процес комп'ютерні та інформаційні технології; розширювати можливості ілюстративного супроводу уроку; використовувати різні форми навчання та види діяльності в межах одного уроку; ефективно організовувати контроль знань, умінь та навичок учнів; полегшувати та вдосконалювати розробку творчих робіт, проєктів.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення конкретних методик та інструментів ІКТ, які є найбільш ефективними в навчанні біології та хімії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Артемова Л. М. Розвиток творчих здібностей учнів на уроках хімії з використанням ІКТ. *Хімія*. 2011. Липень (№ 13-14). с. 5-7.
2. Безноско І. Використання інформаційно-комунікаційних технологій у процесі підготовки фахівців природничо-математичних спеціальностей. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 28, 2020. 144-148.
3. Гура А.Н. Інформаційно-комунікаційні технології в підготовці майбутніх учителів природничих спеціальностей. *Молодий вчений*, 7 (59), 2018. 64-66.
4. Дичківська І.М. Інноваційні педагогічні технології. Навчальний посібник. Київ : Академвидав, 2004. 352 с.
5. Зламанюк Л. М. Особливості професійної діяльності сучасного вчителя хімії. *Біологія і хімія в школі*. 2011. № 3.
6. Козлакова Г.О. Теоретичні і методичні основи застосування інформаційних технологій у вищій технічній освіті: монографія. Київ : ІЗМН, ВІПОЛ, 1997. 180 с.
7. Кононенко Н. Мультимедіа на уроках хімії. *Біологія і хімія в школі*. 2009. № 4. С. 38-39.
8. Міронєць Л. Створення та використання комп'ютерних презентацій під час викладання біології. *Рідна школа*. 2008. № 1,2. с. 40-42.
9. Сліпчук І. Дидактичні можливості інформаційних технологій у навчанні біології. *Біологія і хімія в школі*. 2006. № 5 С. 32-34.
10. Шумська Н. Комп'ютерні технології у навчанні хімії. *Біологія і хімія в школі*. 2006. № 6. С. 24.

REFERENCES:

1. Artemova L. M. (2011) Rozvytok tvorchykh zdbnostey uchniv na urokakh khimiyi z vykorystannyam IKT [Development of Creative Abilities in Students during Chemistry Classes Using ICT] *Khimiya – Chemistry*, Lypen' (№ 13-14), 5 -7. [in Ukrainian]
2. Beznosko I. (2020). Vykorystannia informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii u protsesi pidhotovky fakhivtsiv pryrodnycho-matematychnykh spetsialnostei [The use of information and communication technologies in the process of training specialists in natural and mathematical specialties]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk – Current issues of the humanities*, 28, 144-148. [in Ukrainian]
3. Hura A. N. (2018). Informatsiino-komunikatsiini tekhnolohii v pidhotovtsi maibutnykh uchyteliv pryrodnychykh spetsialnostei [Information and communication technologies in the training of future teachers of natural sciences]. *Molodyi vchenyi – A young scientist*, 7 (59), 64-66 [in Ukrainian].
4. Dychkivska I. M. (2004) Innovatsiyni pedahohichni tekhnolohiyi [Innovative Pedagogical Technologies]. Kyiv : Akademvydav, 352 [in Ukrainian].
5. Zlamanyuk L. M. (2011) Osoblyvosti profesynoyi diyal'nosti suchasnoho vchytelya khimiyi [Features of the Professional Activity of the Modern Chemistry Teacher]. *Biolojiya i khimiya v shkoli – Biology and Chemistry in School*. № 3 [in Ukrainian].
6. Kozlakova H. O. (1997) Teoretychni i metodychni osnovy zastosuvannya informatsiinykh tekhnolohiy u vyshchiiy tekhnichnyi osviti [Theoretical and Methodological Foundations of Applying Information Technologies in Higher Technical Education]. Kyiv : IZMN, VIPOL. 180 [in Ukrainian].
7. Kononenko N. (2009) Mul'tymedia na urokakh khimiyi [Multimedia in Chemistry Classes]. *Biolojiya i khimiya v shkoli – Biology and Chemistry in School*. № 4, 38-39 [in Ukrainian].
8. Mironets L.(2008) Stvorennya ta vykorystannya komp'yuternykh prezentatsiy pid chas vykladannya biolojiyi [Creation and Use of Computer Presentations in Teaching Biology]. *Ridna shkola – Native School*. № 1, 40-42 [in Ukrainian].
9. Slipchuk I. (2006) Dydaktychni mozhlyvosti informatsiinykh tekhnolohiy u navchanni biolojiyi [Didactic Opportunities of Information Technologies in Biology Education]. *Biolojiya i khimiya v shkoli – Biology and Chemistry in School* № 5, 32-34 [in Ukrainian].
10. Shumska (2006) N. Komp'yuterni tekhnolohiyi u navchanni khimiyi [Computer Technologies in Chemistry Education]. *Biolojiya i khimiya v shkoli – Biology and Chemistry in School* № 6, 24 [in Ukrainian].

УДК 378.147.091.31-059.1:5

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-9>

Лариса МАРУШКО

кандидат хімічних наук, доцент, декан факультету хімії та екології, 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. (2023). Цілі, завдання і методика організації експериментальної диференційовано-індивідуалізованої підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 72–77, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-9>

**ЦІЛІ, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНО-ІНДИВІДУАЛІЗОВАНОЇ
ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ
ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

Актуальність проблеми підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності визначається соціальним замовленням суспільства. Недостатня практична підготовленість молодих фахівців потребує пошуку ефективних методів, що сприяють вирішенню проблеми. Мета дослідження – вивчення впливу інтеграції диференціації та інтеграції навчання на якість підготовки майбутніх педагогів природничо-наукових дисциплін до професійної діяльності. З огляду на мету, у межах статті вирішено такі дослідні завдання: 1) представлено поняття педагогічної діагностики, педагогічного експерименту; 2) відображено зміст дослідно-експериментальної роботи: мету, завдання, експериментальну базу дослідження, етапи, план, діагностичний інструментарій; 3) охарактеризовано основні процедури проведення дослідно-експериментальної роботи на кожному етапі. Розкрито методуку і результати проведеного експериментального дослідження стану та сформованості готовності майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності як результату їхньої підготовки на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Відображено результати експериментальної роботи з підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Стаття відображає результати констатувального, формувального та підсумкового етапів експерименту. Дослідно-експериментальна робота проводилася протягом 2017–2023 рр. на базі п'яти закладів вищої освіти. Педагогічний моніторинг підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання здійснений з використанням комплексу діагностичних методик, які дали змогу вивчити хід і результати поетапного розвитку всіх компонентів готовності до професійної діяльності та спостерігати динаміку її формування у студентів.

Ключові слова: педагогічна система, експериментальна перевірка, етапи педагогічного експерименту, майбутні учителі природничих спеціальностей, готовність до професійної діяльності.

Larysa MARUSHKO

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

ResearcherID Web of Science: I-4607-2018

To cite this article: Marushko, L. (2023). Tsili, zavdannia i metodyka orhanizatsii eksperymentalnoi dyferentsiiovano-indyvidualizovanoi pidhotovky maibutnykh uchyteliv pryrodnychychk spetsialnostei do profesiinoi diialnosti [Objectives, tasks and techniques of organizing experimental differentiated and individualized training of future teachers of natural sciences for professional activity]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 72–77, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-9>

OBJECTIVES, TASKS AND TECHNIQUES OF ORGANIZING EXPERIMENTAL DIFFERENTIATED AND INDIVIDUALIZED TRAINING OF FUTURE TEACHERS OF NATURAL SCIENCES FOR PROFESSIONAL ACTIVITY

The relevance of the problem of training future teachers of natural sciences for professional activity is determined by the society's requirements. The insufficient practical training of young specialists requires the search for effective methods that contribute to solving the problem. The purpose of the research is to study the impact of combining differentiation and integration of learning on the quality of training of future teachers of natural science subjects for professional activity. In view of the goal, the following research tasks are solved within the article: 1) the concepts of pedagogical diagnosis and pedagogical experiment are presented; 2) the content of research and experimental work is reflected as goals, tasks, experimental research basis, stages, plan, diagnostic tools; 3) the main procedures of research and experimental work at each stage are characterized. The methodology and results of an experimental study of the state and formation of the readiness of future teachers of natural sciences for professional activity as a result of their training on the basis of differentiation and individualization of education are revealed. The results of experimental work on the preparation of future teachers of natural sciences for professional activity based on differentiation and individualization of education are reflected. The article reflects the results of the statement, formative and final stages of the experiment. Research and experimental work was performed during 2017–2023 among five higher education institutions. Pedagogical monitoring of the preparation of future teachers of natural sciences for professional activity on the basis of differentiation and individualization of education was performed by using a set of diagnostic methods that made it possible to study the output and results of the step-by-step development of all components of readiness for professional activity and to observe the dynamics of its formation in students.

Key words: pedagogical system, experimental verification, stages of pedagogical development, future teachers of natural sciences, readiness for professional activity.

Актуальність проблеми. У сучасних умовах зростання наукової інформації, стрімкого накопичення емпіричного та теоретичного матеріалу з дидактики та методики навчання учнів фізики, хімії та біології, посилення взаємозв'язку предметів природничо-наукового циклу (Bilyk, Udovychenko, Vysochan, Kyrylenko, Stetsula, & Gvozdii, 2022), інтеграції та диференціації шкільної природничої освіти, підготовка майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності є однією з найважливіших проблем.

У сучасній освіті, яка стає все різноманітнішою, викладачі повинні бути готові використовувати різні методи навчання. Це особливо важливо в галузі підготовки вчителів, де студентам необхідно не лише вивчати інноваційні методи навчання, але й бути свідками нововведень та брати участь у освітньому досвіді, який повинен бути стимулюючим (Блашкова, 2019, с. 185). Уроки природознавства з лабораторними вимогами часто бувають активними та цікавими, спонукаючи студентів експериментувати та пізнавати справжню науку (Валько, 2019). Наукові курси університетського рівня відрізняються практичною спрямованістю, передбачають вимоги польових досліджень, стажування та можливість внести реальні відкриття до галузі дослідження. Однак відсутньою у природничо-науковому навчанні є диференціація та інди-

відуалізація методів навчання та оцінки, яка б пропонувала студентам різні варіанти подання ними своїх наукових знань на практиці. Відтак актуальним, на наш погляд, є практичний досвід реалізації педагогічної системи підготовки МУПС до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання та її експериментальна перевірка.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У сучасній педагогічній науці і професійній освіті накопичено значний науковий потенціал з проблематики професійної підготовки майбутніх учителів (В. Андрущенко, Н. Бібік, І. Бех, І. Дичківська, О. Дубасенюк, О. Савченко, С. Сисоєва та ін.), досвіду підготовки майбутніх учителів природничих наук із позиції соціально-професійно зумовлених вимог (О. Біляковська, М. Гриньова, А. Коломієць, Н. Москалюк, Н. Петрова, Г. Тарасенко, О. Ярошенко та ін.), формування компетентнісного фахівця природничої галузі освіти (Л. Барна, Н. Грицай, В. Оніпко, С. Совгіра, О. Тімець, Ю. Шапран та ін.); використанням сучасних інформаційних засобів у процесі підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей (А. Гура, Л. Романишина, О. Шквир, Н. Казакова та ін.). Однак, на основі здійсненого аналізу наукової та спеціальної літератури встановлено, що питанням розробки та впровадження інноваційних підходів у систему підго-

товки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання присвячено недостатню кількість досліджень, що потребує подальших теоретичних та емпіричних досліджень та підкреслює актуальність і практичну складову обраного напряму наукової розвідки.

Мета статті полягає в відображенні основних результатів функціонування педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання.

Методи дослідження – методи діагностики та самодіагностики: опитування, анкетування, констатування, діагностичне та проєктивне тестування (тести навчальних досягнень та особистісні тести, які виявляють індивідуальні якості особистості), педагогічне спостереження.

Виклад основного матеріалу. Для перевірки ефективності педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання було проведено педагогічний експеримент, в ході якого здійснювалася перевірка ефективності педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання, які розроблялися згідно обґрунтованим теоретико-методичним положенням з охопленням контингенту діагностичними заходами студентів напряму навчання.

Експеримент як метод наукового пізнання, передбачає цілеспрямований процес отримання об'єктивних наукових даних щодо сутності, динаміки, особливостей існування та розвитку досліджуваних явищ та процесів. Тобто це метод пізнання за допомогою якого досліджуються певні процеси та явища (Панасенко, 2011, с. 29), у межах дослідження – процеси педагогічної спрямованості. Педагогічний експеримент, на думку О. Жосан, є науково поставленим досвідом у галузі навчальної або виховної роботи, педагогічного явища у спеціально створених та контрольованих дослідником умовах (Жосан, 2008, с. 34). Педагогічні експерименти класифікують за різними ознаками – спрямованістю, об'єктами дослідження, місцем та тривалістю проведення тощо. Зазви-

чай педагогічний експеримент має варіативний характер, тобто варіюються умови, коли одне й те саме експериментальне завдання пропонується студентам однієї і тієї ж групи, але на різних етапах навчання (на початку та наприкінці експерименту) (Hays, & Reinders, 2020, с. 40).

У межах дослідження педагогічний експеримент проводився протягом 2017–2023 рр., а його метою була перевірка гіпотез, зокрема:

- ефективності використання науково-обґрунтованих підходів у підготовці МУПС до професійної діяльності, навчально-освітніх можливостей ЗВО, ефективності використання навчальних та навчально-методичних збірників, розроблених автором, оцінних засобів діагностики рівня сформованості готовності до професійної діяльності МУПС;

- ефективності педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання.

Організація та проведення експериментальної роботи здійснювалися на основі таких загальнонаукових та конкретно-наукових принципів: цілісності, об'єктивності, ефективності, науковості, персоніфікованого підходу до учасників експерименту (Демкова, 2016), необхідності та достатності наукової інформації, всебічного науково-методичного консультування, гуманізації педагогічного експерименту (Baker-Shelley, van Zeijl-Rozema, & Martens, 2017).

Експериментальне дослідження проводилося протягом семи років (2017–2023 рр.) і охоплювало три етапи: констатувальний, формувальний, підсумковий. Експериментальною базою дослідження були Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Волинський національний університет імені Лесі Українки, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка. Експериментальне дослідження проводилося зі студентами спеціальності: 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини), 014.06 Середня освіта (Хімія), 014.08 Середня освіта (Фізика), 014.15 Середня освіта (Природничі науки).

Для дослідження стану сформованості готовності майбутніх учителів природничих спеціаль-

ностей (МУПС) до професійної діяльності було проведено *констатувальний етап педагогічного експерименту* (2017–2018 н.р.) (таблиця 1).

Організація констатувального етапу експерименту передбачала такі завдання (Misiaszek, 2020):

1. На основі теоретичного аналізу наукових джерел та вивчення освітньої практики професійної підготовки МУПС в закладах вищої освіти, обробити та систематизувати отриману інформацію, визначити напрями та методику проведення констатувального етапу експерименту та здійснити підбір експериментальних майданчиків.

2. Визначити методичний інструментарій для діагностики стану професійно спрямованої диференційованої та індивідуалізованої

підготовки та рівнів сформованості готовності до професійної діяльності МУПС на основі адаптації існуючих та розробки авторських методик дослідження з метою подальшого аналізу результатів, встановлення суперечностей у вирішенні психолого-педагогічної проблеми професійної підготовки майбутніх педагогів природничо профілю на засадах диференціації та індивідуалізації навчання.

3. Вивчити вплив змісту освітнього процесу ЗВО на ефективність формування готовності до професійної діяльності МУПС та проаналізувати результати анкетування викладачів, педагогів-практиків природничого фаху щодо стану професійної підготовки МУПС до професійної діяльності та можливих шляхів її вдосконалення.

Таблиця 1

Етапи, терміни, завдання, зміст та методи експериментальної роботиз підготовки МУПС до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання

Етап	Завдання і зміст роботи	Методи
Констатувальний (2017–2018 н.р.)	<ol style="list-style-type: none"> Організація констатувального етапу експерименту; Експериментальна перевірка методів діагностики рівнів сформованості готовності до професійної діяльності. Визначення взаємозв'язку між рівнем сформованості готовності до професійної діяльності МУПС та змістом їхньої методологічної, теоретичної та практичної підготовки. Уточнення комплексу критеріїв та показників ефективності формування готовності до професійної діяльності МУПС. Аналіз результатів констатувального етапу експерименту. 	<p>Анкетування, тестування з метою визначення початкового рівня сформованості до професійної діяльності МУПС;</p> <p>узагальнення та систематизація одержаного матеріалу;</p> <p>бесіда і спостереження.</p>
Формувальний (2018–2023 н.р.)	<ol style="list-style-type: none"> Розробка методики впровадження педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Організація та проведення формувального етапу експерименту з формування готовності МУПС до професійної діяльності. Експериментальна перевірка методики впровадження педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Аналіз та математична обробка результатів формувального етапу експерименту. 	<p>Формувальний етап експерименту;</p> <p>статистичні методи обробки результатів;</p> <p>методи тестування, анкетування;</p> <p>експертна оцінка результатів формувального етапу.</p>
Підсумковий (2023 р.)	<ol style="list-style-type: none"> Теоретичне осмислення експериментальних даних та їхній психолого-педагогічний аналіз та інтерпретація. Оформлення результатів експерименту та формулювання висновків. Розробка методичних рекомендацій для вчителів та викладачів з формування готовності МУПС до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Проведення контрольних зрізів та аналіз результатів формувального етапу експерименту. Порівняльний аналіз результатів констатувального та формувального етапів експерименту. 	<p>Аналіз, інтерпретація, узагальнення, систематизація;</p> <p>методи графічного представлення результатів;</p> <p>методи математичної, статистичної та комп'ютерної обробки результатів.</p>

4. З'ясувати стан професійної підготовки МУПС та визначити рівень сформованості готовності до професійної діяльності студентів спеціальності Середня освіта (предметних спеціальностей 014.15 «Природничі науки», 014.05 «Біологія та здоров'я людини», 014.06 «Хімія», 014.08 «Фізика»).

Дослідження стану сформованості готовності майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності згідно з рекомендаціями проведення педагогічного експерименту передбачає проведення психолого-педагогічної діагностики поточного стану сформованості досліджуваної готовності. З цієї метою необхідно застосувати різні релевантні методи діагностики, які враховуючи сутність, структуру та особливості формування готовності МУПС до професійної діяльності та відповідали б потребам психолого-педагогічного діагностування рівнів сформованості готовності. Таким чином, доцільним стало застосування таких методів: опитування, анкетування, констатування, діагностичне та проєктивне тестування (тести навчальних досягнень та особистісні тести, які виявляють соціально-психологічні якості особистості), педагогічне спостереження тощо.

Аналіз результатів констатувального етапу експерименту підтвердив актуальність та необхідність розробки педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання, а також впровадження такої системи у реальний освітній процес. З огляду на це було сформульовано мету та завдання дослідження.

Формувальний етап. Формувальний етап експериментального дослідження проводився протягом 2018–2023 років. Мета цього етапу полягала у реалізації розробленої педагогічної системи підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Для перевірки ефективності розробленої авторської системи сформовано експериментальні (ЕГ) та контрольні (КГ) групи. Експериментальна група навчалася за запропонованою методикою, контрольна – за традиційною методикою.

На формувальному етапі уточнено диференційовані та індивідуалізовані методи, форми та

засоби навчання МУПС. У процесі навчання широко застосовувалися алгоритми навчальних дій у межах індивідуалізованих та диференційованих технологій; авторські збірники диференційованих завдань для студентів спеціальності 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини), 014.06 Середня освіта (Хімія), 014.08 Середня освіта (Фізика), 014.15 Середня освіта (Природничі науки) під час вивчення фахових дисциплін, система методичних прийомів; диференційовані інструктивні карти для лабораторних та практичних занять; доцільні засоби навчання. На цьому етапі визначалася ефективність запропонованої авторської педагогічної системи (Анічкіна, 2010).

Підсумковий етап експерименту проводився у 2023 р. Його мета полягала в організації перевірки міри достовірності результатів, отриманих під час проведення констатувального та формувального етапів експерименту. Підсумковий етап передбачав аналіз даних дослідження, порівняння, узагальнення результатів та висновків, отриманих на початку та наприкінці формувального етапу експериментального дослідження.

Висновки. Таким чином, у межах експериментального дослідження встановлено статично значиму відмінність рівнів готовності МУПС до професійної діяльності, що свідчить про позитивну динаміку сформованості досліджуваного феномену в ході експериментальної роботи у контексті реалізації завдань дослідження. Теоретична значущість дослідження полягає у визначенні способу підготовки майбутніх учителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Практична – у можливості застосування результатів дослідження для підготовки майбутніх учителів природничих дисциплін до професійної діяльності у закладах середньої освіти. Перспективи розвитку цього дослідження можуть виявлятися у впровадженні спроектованої педагогічної системи підготовки МУПС до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання, підвищення кваліфікації вчителів та викладачів ЗВО. У перспективі є можливим продовження досліджень процесу безперервної диференційованої та індивідуалізованої природничо-наукової освіти в системі «школа – ЗВО».

ЛІТЕРАТУРА:

1. Анічкіна, О. В. Удосконалення змісту експериментальної підготовки майбутніх учителів хімії. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер. Педагогічні та психологічні науки*. 2010. № 5. 5–7.
2. Блашкова, О. Ключові компетентності майбутніх вчителів природничих спеціальностей та їх вплив на формування світоглядних орієнтирів сучасної студентської молоді. *Молодь і ринок*. 2019. № 5 (172). 184–189.
3. Валько, Н. В. Аналіз та перспективи підготовки майбутніх учителів інтегрованого курсу «Природничі науки». *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Сер.: Педагогічні науки*. 2019. № 2. 170–178.
4. Демкова, В. О. Модель формування експериментальної компетентності майбутніх учителів фізики і математики. *Фізико-математична освіта*. 2016. № 3(9). С. 29–33.
5. Жосан, О. Е. (Уклад.). *Педагогічний експеримент*. [Навч.-метод. посіб.]. Кіровоград: Вид-во КОІППО імені Василя Сухомлинського. 2008. 72.
6. Панасенко, Е. Зміст і структура експерименту як методу наукового дослідження у теорії та практиці вітчизняної педагогіки. *Рідна школа*. 2011. № 11, С. 28–35.
7. Baker-Shelley, A., van Zeijl-Rozema, A., & Martens, P. A conceptual synthesis of organisational transformation: How to diagnose, and navigate, pathways for sustainability at universities? *Journal of Cleaner Production*. 2017. № 145, С. 262–276.
8. Bilyk, V., Udovychenko, I., Vysochan, L., Kyrylenko, K., Stetsula, N., & Gvozdi, S. Modernization of Natural Science Education in the Context of Teacher Training. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*. 2022. 14, No 1 (Sup1), С. 25–48.
9. Hays, J., & Reinders, H. Sustainable learning and education: A curriculum for the future. *International Review of Education*. 2020. № 66 (1), С. 29–52.
10. Misiaszek, G. W. Countering post-truths through ecopedagogical literacies: Teaching to critically read ‘development’ and ‘sustainable development.’ *Educational Philosophy and Theory*. 2020. № 52 (7), С. 747–758.

REFERENCES:

1. Anichkina, O. V. (2010). Udoskonalennia zmistu eksperymentalnoi pidhotovky maibutnix uchyteliv khimii [Improving the content of experimental training of future chemistry teachers]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Ser. Pedagogichni ta psykholohichni nauky – Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Service of Ukraine. Ser. Pedagogical and Psychological Sciences*, 55, 5–7 [in Ukrainian].
2. Blashkova, O. (2019). Kliuchovi kompetentnosti maibutnix vchyteliv pryrodnychikh spetsialnostei ta yikh vplyv na formuvannya svitohliadnykh oriientyriv suchasnoi studentskoi molodi [Key competences of future teachers of natural sciences and their influence on the formation of worldview orientations of modern student youth]. *Molod i rynek – Youth and the market*, 5 (172), 184–189 [in Ukrainian].
3. Valko, N. V. (2019). Analiz ta perspektyvy pidhotovky maibutnix uchyteliv intehrovanoho kursu «Pryrodnychi nauky» – Analysis and prospects of training future teachers of the integrated course "Natural Sciences". *Naukovi zapysky Berdianskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Ser.: Pedagogichni nauky – Scientific notes of Berdyan State Pedagogical University. Ser.: Pedagogical Sciences*, 2, 170–178 [in Ukrainian].
4. Demkova, V. O. (2016). Model formuvannya eksperymentalnoi kompetentnosti maibutnix uchyteliv fizyky i matematyky [Model of formation of experimental competence of future teachers of physics and mathematics]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 3(9), 29–33 [in Ukrainian].
5. Zhosan, O. E. (Uklad.). (2008). *Pedahohichniy eksperyment. [Navch.-metod. posib.] [Pedagogical experiment. [Scientific method. manual]]*. Kirovohrad: Vyd-vo KOIPPO imeni Vasyliia Sukhomlynskoho, 72 [in Ukrainian].
6. Panasenko, E. (2011). Zmist i struktura eksperymentu yak metodu naukovooho doslidzhennia u teorii ta praktytsi vitchyznianoї pedahohiky [The content and structure of the experiment as a method of scientific research in the theory and practice of domestic pedagogy]. *Ridna shkola – Native school*, 11, 28–35 [in Ukrainian].
7. Baker-Shelley, A., van Zeijl-Rozema, A., & Martens, P. (2017). A conceptual synthesis of organisational transformation: How to diagnose, and navigate, pathways for sustainability at universities? *Journal of Cleaner Production*, 145, 262–276.
8. Bilyk, V., Udovychenko, I., Vysochan, L., Kyrylenko, K., Stetsula, N., & Gvozdi, S. (2022). Modernization of Natural Science Education in the Context of Teacher Training. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 14, No 1 (1, Sup.1), 25–48.
9. Hays, J., & Reinders, H. (2020). Sustainable learning and education: A curriculum for the future. *International Review of Education*, 66 (1), 29–52.
10. Misiaszek, G. W. (2020). Countering post-truths through ecopedagogical literacies: Teaching to critically read ‘development’ and ‘sustainable development.’ *Educational Philosophy and Theory*, 52 (7), 747–758.

УДК 378.14+035

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-10>

Володимир РОДІКОВ

полковник, кандидат педагогічних наук, начальник 143 Об'єднаного навчально-тренувального центру «ПОДІЛЛЯ» Сил підтримки Збройних сил України, просп. Грушевського, 50, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область, Україна, 32302

ORCID: 0009-0006-8683-359X

Бібліографічний опис статті: Родіков, В. (2023). Модернізація професійної підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 78–83, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-10>

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Впровадження наукомістких технологій у військово-промисловий комплекс, модернізація Збройних сил України згідно зі стандартами НАТО супроводжуються реорганізацією військової освіти, що загострило кадрові проблеми. Потреба висококваліфікованих фахівців інженерних військ збільшилася, оскільки для ефективної боротьби проти армії Росії необхідно створювати та обслуговувати техніку нового покоління. З урахуванням цього, у статті актуалізовано проблеми, пов'язані з необхідністю модернізації професійної підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану. Дослідження проведено за допомогою аналізу робіт вітчизняних науковців із проблем підготовки курсантів до професійної військово-інженерної діяльності. Встановлено, що ефективність підготовки майбутніх фахівців інженерних військ залежить від рівня оволодіння курсантами теорією та практикою організації та виконання завдань інженерного забезпечення службово-бойової діяльності.

Окреслено напрями модернізації системи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ: формування ефективної системи управління військовою освітою; підвищення якості освітнього процесу; забезпечення мережі та місткості військових навчальних закладів згідно з параметрами кадрового замовлення; вдосконалення нормативно-правового регулювання діяльності системи військової освіти; впровадження інноваційних технологій та пошук ефективних форм та методів навчання курсантів.

Перспективами подальших досліджень є обґрунтування доцільності модернізації професійної підготовки майбутніх фахівців інженерних військ шляхом використання інноваційних інформаційних технологій, застосування новітніх технологій в організації та методиці навчання курсантів інженерної підготовки, у межах якої курсанти, використовуючи штучний інтелект, набувають знання, вміння та навички та оперативно приймають рішення у модельованій бойовій обстановці.

Ключові слова: військова освіта, військово-інженерна підготовка, воєнний стан, модернізація, фахівці інженерних військ.

Volodymyr RODIKOV

Colonel, Candidate of Pedagogic Sciences, Chief of the 143rd Joint Training Center "PODILLYA" of the Support Forces of the Armed Forces of Ukraine, 50 Hrushevskiyi ave., Kamianets-Podilskiyi, Khmelnytsk region, Ukraine, 32302

ORCID: 0009-0006-8683-359X

To cite this article: Rodikov, V. (2023). Modernizatsiia profesiinoi pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv inzhenernykh viisk v umovakh voiennoho stanu [Modernization of professional training of future specialists in military engineering under martial law]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 78–83, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-4-10>

MODERNIZATION OF PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE SPECIALISTS IN MILITARY ENGINEERING UNDER MARTIAL LAW

The introduction of high-tech technologies to the military and industrial complex and the modernization of the Armed Forces of Ukraine according to NATO standards are accompanied by the reorganization of military education. This fact has exacerbated personnel issues. The need for highly competent specialists in military engineering has increased since

it is necessary to create and maintain a new generation of equipment to fight against the Russian army effectively. In this regard, the article actualizes the issues concerning the need to modernize the professional training of future specialists in military engineering under martial law. The study was conducted by analyzing the studies of Ukrainian scholars concerning the problems of training cadets for professional military engineering activities. It has been established that the effectiveness of training future specialists in military engineering troops depends on the level of cadets' mastery of the theory and practice of organizing and performing engineering support tasks for service and fighting activities.

The author outlines the directions for modernizing the training system for future specialists in military engineering. They include the formation of an effective system of military education management, improvement of educational process quality, provision of a network and capacity of military educational institutions based on the parameters of the personnel request, improvement of the regulatory framework for the military education system, introduction of innovative technologies and the search for adequate forms and methods of teaching cadets.

The prospects for further research include the substantiation of the expediency of modernizing the professional training of future specialists in military engineering by using innovative information technologies, as well as the use of cutting-edge technologies in the organization and methodology of teaching engineering cadets. Within the framework of such training, cadets, by using artificial intelligence, acquire knowledge, skills, and abilities, as well as make decisions promptly in a simulated battlefield scenario.

Key words: *military education, military engineering training, martial law, modernization, specialists of military engineering troops.*

Актуальність проблеми. Сучасна закордонна військова техніка, що надходить на озброєння української армії, розвиток технічних систем, заснованих на застосуванні інновацій у військовій галузі, вимагають докорінних змін у підготовці військово-інженерних кадрів. Посилюється актуальність модернізації підготовки майбутніх фахівців інженерних військ й тим, що в умовах війни російська армія мінує об'єкти, де можливе скупчення великих і малих груп людей, широко застосовують різноманітні вибухові пристрої. Ці та інші обставини вимагають ретельної підготовки фахівців інженерної служби зі знешкодження вибухонебезпечних об'єктів та дій в умовах мінної небезпеки, а також щодо запобігання загибелі особового складу, що бере участь війні України проти Росії.

У сучасних умовах воєнного часу для боротьби з російськими окупантами у військовій промисловості ведеться активна розробка засобів інженерного озброєння, що мають у своєму складі штучний інтелект (Ковальов, Корнієнко, & Івченко, 2021). Широко використовують роботизовані комплекси, безпілотні літальні апарати (БПЛА), спеціальні міни. Завдяки високій технічній оснащеності військ сучасним західним модернізованим озброєнням, що надходять на постачання військ, неухильно зростають і закономірно ускладнюються обсяги завдань інженерного забезпечення військ і, отже, до військовослужбовців, які виконують ці завдання, висуваються нові вимоги, які відповідають тенденціям сучасного суспільства (Васильєв, 2022).

Модернізація озброєння та військової техніки висуває високі вимоги до професіоналізму фахівців інженерних військ, їхній бойовий дух та морально-ділові якості повинні сприяти високій ефективності виконання бойових завдань у межах професійної діяльності. Водночас виконання цих завдань відбувається зазвичай в екстремальних умовах, поєднуються з ризиком для життя, обмеженим часом і високим рівнем відповідальності, що, безумовно, вимагає від нього психологічної стійкості та високої військово-професійної підготовки. Якісна підготовка майбутніх фахівців інженерних військ є одним з основних завдань військової освіти в умовах воєнного стану.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Актуальність дослідження системи підготовки майбутніх фахівців інженерних військ до професійної діяльності підтверджується зростанням кількості досліджень, присвячених цій темі. Так, науковці розглядають загальні питання модернізації військової освіти (О. Васильєв (2022); А. Галімов (2013), М. Маслій (2017); Ю. Приходько (2023) та ін.); моделювання процесу формування професійної компетентності та готовності до військово-професійної діяльності (О. Бондаренко (2020); Є. Брижаний (2013); І. Ковальов, О. Корнієнко, & А. Івченко (2021); П. Хоменко, & Є. Денисенко (2023) та ін.); використання інноваційних технологій у військовій освіті та підготовці курсантів та майбутніх офіцерів (В. Воловник (2022); О. Корносенко, О. Даниско, & Бухун (2022)) та ін. Однак проблема модернізації системи професійної підготовки майбутніх фахів-

ців інженерних військ в умовах воєнного стану залишається недостатньо вивченою.

Мета статті полягає в розгляді проблеми модернізації професійної підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану та окресленні основних напрямів цього процесу.

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. Модернізація військової освіти на сучасному етапі розвитку суспільства та технологій потребує якісної та кількісної зміни підходів щодо відбору змісту навчання (Галімов, 2013: 33), а також розробки інноваційних форм, методів та засобів навчання, що передбачає фундаментальну трансформацію педагогічних та методологічних підходів до освітнього процесу.

Підготовка майбутніх фахівців інженерних військ, з огляду на впровадження у ЗСУ складного інженерного обладнання, вимагає пошуку шляхів її вдосконалення. З огляду на певну закритість, система військово-професійної освіти дещо інертна та поступається системі підготовки цивільного інженера (Маслій, 2017). Проте ізольованість військових закладів освіти дала змогу зберегти багаторівневість та безперервність освітнього процесу (Бондаренко, 2020). Водночас необхідність підвищення ефективності освітнього процесу спонукає шукати нові шляхи його оптимізації.

Передусім варто відзначити, що система професійної освіти у військових закладах освіти різних рівнів має певну специфіку, зумовлену особливостями сфери професійної діяльності майбутніх військових фахівців, зокрема й інженерних спеціальностей, зокрема: жорстка регламентація освітнього процесу, що поєднує освітню, виховну та службово-бойову складові (Хоменко, & Денисенко, 2023); висока психофізіологічна напруженість, зумовлена режимом організації різних видів діяльності, їхньою інтеграцією, що супроводжується емоційними та фізичними навантаженнями; нормативно закріплений режим міжсуб’єктної взаємодії, що передбачає наявність чіткої управлінської вертикалі, закріплення статусу кожного з суб’єктів

системи; наявність нестандартних ситуацій, викликаних службово-бойовою необхідністю реагування на негативні чинники середовища, здатних певним чином дестабілізувати освітній маршрут та порушити звичний ритм діяльності; ймовірність виникнення конфліктних ситуацій, зумовлених особливим режимом функціонування військових закладів освіти та специфікою взаємодії його суб’єктів (Маслій, 2017).

Військові заклади освіти як частина системи вищої освіти не можуть перебувати осторонь змін, що відбуваються в Україні і пов’язані з формуванням нових запитів суспільства і держави щодо компетентностей військових фахівців (Брижатиї, 2013). Складний та динамічний характер сучасної службово-бойової діяльності в воєнний час, використання в ній новітніх інформаційних технологій, західних зразків озброєння та військової техніки НАТО, залежність ходу та результату (результатів) військових дій від змісту та якості заздалегідь проведеної підготовки військової техніки зумовлюють об’єктивну потребу у вдосконаленні системи військової освіти, її спрямованість на формування у майбутніх фахівців інженерних військ готовності до професійної діяльності.

З огляду на те, що професійна освіта майбутніх військових фахівців інженерних спеціальностей має виражений прикладний характер, що визначається спектром пріоритетних службово-бойових завдань та специфікою професійної діяльності, вважаємо можливим у подальшому аналізі розглядати військово-професійну підготовку майбутніх фахівців. У загальному сенсі підготовка є прикладним аспектом освіти, пов’язана з певним видом регулярної діяльності (Корносенко, Даниско, & Бухун, 2022); вона характеризується освоєнням майбутніми фахівцями соціального досвіду з метою їхньої подальшої актуалізації для виконання завдань практичного плану. Водночас підготовка передбачає забезпечення готовності фахівців до вирішення завдань згідно з функціональним призначенням як його установку на відповідні дії.

Аналізуючи наукові пошуки щодо дефінітивного тлумачення поняття «професійна підготовка» зазначимо, що у більшості випадків йдеться про засвоєння знань, формування умінь та навичок, адекватних сфері професійної діяльності, які визначають готовність фахівця до професійної діяльності та виконання функ-

цій з професійного призначення (Галімов, 2013; Маслій, 2017). Подібне бачення відображає лише професійно-функціональний аспект професійної підготовки, не приділяючи належної уваги розвитку власне особистості щодо актуалізації в процесі професійної підготовки її внутрішніх ресурсів, які достатньо впливають на ефективність професійної діяльності та забезпечують готовність фахівця до її здійснення.

Не підлягає сумніву, що професійна підготовка майбутніх фахівців інженерних військ, будучи органічною складовою системи військово-професійної освіти, є цілеспрямованим, поліфункціональним процесом оволодіння курсантами системою компетентностей (загальнокультурних, професійних, спеціальних (військово-професійних)) згідно кваліфікаційних вимог та спектру виконуваних видів діяльності та професійних завдань, формування особистості, що володіє готовністю до реалізації професійних функцій у різних умовах службово-бойової діяльності.

Згідно з сучасними державними та відомчими вимогами, система підготовки військових кадрів повинна бути орієнтована на забезпечення умов для самореалізації особистості, розвиток Збройних сил України у суворій відповідності до сучасного рівня військової науки, виробництва військової техніки та зброї (Про затвердження Концепції військової кадрової політики Міністерства оборони України на період до 2025 року, 2021); на завдання формування та розвитку правової держави та зміцнення її оборони та безпеки (Про Стратегію воєнної безпеки України, 2021). Військово-професійна підготовка є процесом формування професійних компетентностей, військово-професійної культури, готовності до виконання професійних функцій та поставлених завдань (Приходько, 2022: 182). Водночас військово-професійна підготовка покликана забезпечити відповідну сучасному рівню знань підготовку курсантів до вирішення специфічних завдань оборони та безпеки держави; відповідний рівень загальної, зокрема й культурної, підготовки; формування особистості громадянина та патріота; удосконалення кадрового потенціалу Збройних сил України та інших військових формувань, у яких передбачено військову службу.

Військова освіта та військово-професійна підготовка вирішують два основні завдання:

по-перше, забезпечують потреби військової безпеки країни у військових фахівцях, які володіють необхідним набором знань, умінь та навичок для військово-професійної діяльності, і, по-друге, задовольняють потреби громадян в здобутті професійної освіти відповідного рівня та спрямованості (Воловник, Лебедев, & Маслій, 2022). Тобто військова освіта має задовольняти одночасно вимоги забезпечення обороноздатності країни та державної політики в галузі освіти.

Система військової освіти займає особливе місце у системі освіти України. У вдосконаленні системи підготовки військових фахівців, зокрема й фахівців інженерних військ, доцільно окреслити такі напрями:

- 1) формування ефективної системи управління військовою освітою;
- 2) підвищення якості освітнього процесу;
- 3) забезпечення мережі та місткості військових навчальних закладів відповідно до параметрів кадрового замовлення;
- 4) вдосконалення нормативно-правового регулювання діяльності системи військової освіти;
- 5) впровадження інноваційних технологій та пошук ефективних форм та методів навчання курсантів.

Система військової освіти формує кадровий потенціал Збройних сил України, що відіграє провідну роль у навчанні, професійній перепідготовці та підвищенні кваліфікації військовослужбовців, відтворенні педагогічних та наукових кадрів. Водночас система військової освіти має специфічні риси: відносна замкнутість, ієрархічність, корпоративність середовища; відомчий характер; основне джерело поповнення офіцерського корпусу; тісний зв'язок з політикою держави у сфері національної оборони; залучення курсантів до базових цінностей, пов'язаних із традиціями, нормами, заборонами, які виробляються в державно-військовому соціумі.

Висновки. Зміст та розвиток системи вищої військової освіти залежить від стану всієї системи освіти України та від військової доктрини, що визначають цілі та завдання оборони країни у військовий час та захисту її кордонів. Ключовою метою регулювання діяльності військових закладів освіти є приведення змісту та якості підготовки майбутніх військових фахівців,

зокрема й фахівців інженерних військ, у відповідність до нових вимог, забезпечення гарантованого та сталого комплектування Збройних Сил України компетентними військовими кадрами.

Специфіка освітнього процесу військових закладів освіти (поєднання військових та цивільних спеціальностей в одній освітній програмі; необхідність отримання обсягу знань, що дають змогу випускнику вирішувати військово-професійні завдання без досвіду виконання службових обов'язків) зумовлює необхідність внесення змін до військово-професійної підготовки курсантів, зокрема майбутніх фахівців інженерних військ.

Таким чином, основними вимогами до підготовки майбутніх фахівців інженерних військ є відповідність змісту інженерної підготовки характеру службово-бойової діяль-

ності військ та завдань, що виконуються, особливостями районів майбутніх дій; вивчення досягнень науки, досвіду інженерного забезпечення дій військ під час воєнного стану у різних умовах обстановки та їхнє впровадження у практику інженерної підготовки; ефективне використання та розвиток навчально-матеріальної бази. Подальші наукові дослідження вбачаємо в пошуку шляхів модернізації професійної підготовки майбутніх фахівців інженерних військ, зокрема шляхом використання інноваційних інформаційних технологій, застосування новітніх технологій в організації та методиці навчання курсантів інженерної підготовки, у межах якої курсанти, використовуючи штучний інтелект, набувають знання, вміння та навички та оперативно приймають рішення у модельованій бойовій обстановці.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бондаренко, О. О. Модель забезпечення формування професійної готовності майбутніх офіцерів збройних сил України для забезпечення освітньо-виховного процесу у військових ліцеях. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. 2020. 70 (1), 45–50.
2. Брижати́й, Є. І. Моделювання процесу підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в системі безперервної підготовки. *Вісник Національного університету оборони України*. 2013.1 (32), 26–31.
3. Васильєв, О. Теоретичні аспекти інноваційного розвитку військової освіти. *Військова освіта*. 2022. 1 (45), 9–22.
4. Воловник В. Є., Лебедев, Б. В., & Маслій, О. М. Організаційно-педагогічні умови формування інформаційно-освітнього простору при підготовці майбутніх інженерно-військових фахівців. *Інноваційна педагогіка*. 2022. 54 (1), 106–110.
5. Галімов, А. В. Компетентність сучасного офіцера як результат професійної освіти: проблема визначення. *Вісник Національного університету оборони України: питання педагогіки*. 2013. 2 (33), 32–35.
6. Ковальов, І. М., Корнієнко, О. Д., & Івченко, А. О. Моделювання педагогічних умов формування готовності майбутніх офіцерів інституцій сектору безпеки та оборони України до застосування заходів фізичного впливу проти переважаючого за силою супротивника. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. 2021.75 (1), 37–42.
7. Корносенко, О. К., Даниско, О. В., & Бухун, А. Г. Сучасні педагогічні технології проєктної діяльності як основа науково-дослідницької компетентності майбутніх військових фахівців. *Ukrainian professional education = Українська професійна освіта*. 2022.12, 62–69.
8. Маслій, М. М. Концептуальні засади професійної підготовки майбутніх офіцерів ракетно-артилерійського озброєння. *Професійна освіта: методологія, теорія та технології*. 2017. 5, 142–155.
9. Приходько, Ю. Актуальні проблеми трансформації стану та якості системи вищої військової освіти. *Військова освіта*. 2022. 1 (45), 179–196.
10. Про затвердження Концепції військової кадрової політики Міністерства оборони України на період до 2025 року. *Наказ Міністерства оборони України № 280 від 14.09.2021 р.* Взято з URL: https://www.mil.gov.ua/content/mou_orders/mou_2021/280_nm.PDF
11. Про Стратегію воєнної безпеки України Указ Президента України. № 121/2021 від 25.03.2021 р. Взято з URL: <https://www.president.gov.ua/documents/1212021-37661>
12. Хоменко, П. В., & Денисенко, С. В. Гуманітарно-педагогічне моделювання розвитку професійної компетентності майбутніх офіцерів. *Імідж сучасного педагога*. 2023.4 (211), 21–28.

REFERENCES:

1. Bondarenko, O. O. (2020). Model zabezpechennia formuvannia profesiinoi hotovnosti maibutnikh ofitseriv zbroinykh syl Ukrainy dlia zabezpechennia osvithno-vykhovnoho protsesu u viiskovykh litseiakh [A model for ensuring the formation of professional readiness of future officers of the armed forces of Ukraine to ensure the educational process in military lyceums]. *Pedahohika formuvannia tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh – Pedagogy of creative personality formation in higher and secondary schools*, 70, 1, 45-50 [in Ukrainian].
2. Bryzhatyi, Ye. I. (2013). Modeliuvannia protsesu pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv inzhenernykh viisk v systemi bezpererвної pidhotovky [Modeling the process of training future specialists of engineering troops in the system of continuous training]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy – Bulletin of the National Defense University of Ukraine*, 1 (32), 26-31 [in Ukrainian].
3. Vasyliiev, O. (2022). Teoretychni aspekty innovatsiinoho rozvytku viiskovoi osvity [Theoretical aspects of innovative development of military education]. *Viiskova osvita – Military Education*, 1 (45), 9–22 [in Ukrainian].
4. Volovnyk, V. Ye., Lebediev, B. V., & Maslii, O. M. (2022). Orhanizatsiino-pedahohichni umovy formuvannia informatsiino-osvitnoho prostoru pry pidhotovtsi maibutnikh inzhenerno-viiskovykh fakhivtsiv [Organizational and pedagogical conditions for the formation of an informational and educational space during the training of future engineering and military specialists]. *Innovatsiina pedahohika – Innovative Pedagogy*, 54 (1), 106–110 [in Ukrainian].
5. Halimov, A. V. (2013). Kompetentnist suchasnoho ofitsera yak rezultat profesiinoi osvity: problema vyznachennia [The competence of a modern officer as a result of professional education: the problem of definition]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy: pytannia pedahohiky – Bulletin of the National Defense University of Ukraine: issues of pedagogy*, 2 (33), 32–35.
6. Kovalov, I. M., Korniienko, O. D., & Ivchenko, A. O. (2021). Modeliuvannia pedahohichnykh umov formuvannia hotovnosti maibutnikh ofitseriv instytuttsii sektoru bezpeky ta oborony Ukrainy do zastosuvannia zakhodiv fizychnoho vplyvu proty perevazhaiuchoho za syloi suprotyvnyka [Modeling of pedagogical conditions for the formation of the readiness of future officers of institutions of the security and defense sector of Ukraine to use measures of physical influence against an opponent superior in strength]. *Pedahohika formuvannia tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh [Pedagogy of creative personality formation in higher and secondary schools]*, 75, 1, 37-42 [in Ukrainian].
7. Kornosenko, O. K., Danysko, O. V., & Bukhun, A. H. (2022). Suchasni pedahohichni tekhnolohii proiektnoi diialnosti yak osnova naukovo-doslidnytskoi kompetentnosti maibutnikh viiskovykh fakhivtsiv [Modern pedagogical technologies of project activity as the basis of scientific and research competence of future military specialists]. *Ukrainian professional education = Ukrainska profesiina osvita*, 12, 62-69 [in Ukrainian].
8. Maslii, M. M. (2017). Kontseptualni zasady profesiinoi pidhotovky maibutnikh ofitseriv raketno-artyleriiskoho ozbroiennia [Conceptual principles of professional training of future officers of missile and artillery weapons]. *Profesiina osvita: metodolohiia, teoriia ta tekhnolohii – Vocational Education: Methodology, Theory and Technologies*, 5, 142–155 [in Ukrainian].
9. Prykhodko, Yu. (2022). Aktualni problemy transformatsii stanu ta yakosti systemy vyshchoi viiskovoi osvity [Actual problems of transformation of the state and quality of the system of higher military education]. *Viiskova osvita – Military Education*, 1 (45), 179–196 [in Ukrainian].
10. Pro zatverdzhennia Kontseptsii viiskovoi kadrovoy polityky Ministerstva oborony Ukrainy na period do 2025 roku [On approval of the Concept of military personnel policy of the Ministry of Defense of Ukraine for the period until 2025] (2021). *Nakaz Ministerstva oborony Ukrainy – Order of the Ministry of Defense of Ukraine № 280 vid 14.09.2021 r.* Retrieved from https://www.mil.gov.ua/content/mou_orders/mou_2021/280_nm.PDF
11. Pro Stratehiiu voiennoi bezpeky Ukrainy [On the Military Security Strategy of Ukraine] (2021). *Ukaz Prezydenta Ukrainy – Decree of the President of Ukraine № 121/2021 vid 25.03.2021 r.* Retrieved from <https://www.president.gov.ua/documents/1212021-37661>
12. Khomenko, P. V., & Denysenko, Ye. V. (2023). Humanitarno-pedahohichne modeliuvannia rozvytku profesiinoi kompetentnosti maibutnikh ofitseriv [Humanitarian and pedagogical modeling of the development of professional competence of future officers]. *Imidzh suchasnoho pedahoha – The image of a modern teacher*, 4 (211), 21–28 [in Ukrainian].

ЗМІСТ

ХІМІЯ

**Наталія СЛИВКА, Леся САЛІЄВА, Елла КАДИКАЛО, Роман ШАНДРУК,
Олександр ПРИЙМАЧУК, Богдан ЛУКАШЕВИЧ, Ірина МАЗУРЕНКО, Михайло ВОВК**
СКРИНІНГ ПОТЕНЦІЙНИХ ІНГІБІТОРІВ РОСТУ CUCUMIS SATIVUS СЕРЕД ПОХІДНИХ
(ІМІДАЗО[2,1-b][1,3]-ТІАЗИН-6-ІЛ)-1,2,3-ТРИАЗОЛО-5-КАРБОКСИЛАТІВ.....3

**Іванна ДАНИЛЮК, Наталія КОВАЛЕНКО, Валентина ТОЛМАЧОВА, Олена КОВТУН,
Ніна ЯКОВИЧУК, Аліна ГРОЗАВ, Леся САЛІЄВА, Наталія СЛИВКА, Михайло ВОВК**
ВИВЧЕННЯ ПРОТИБАКТЕРІАЛЬНОЇ ТА ПРОТИГРИБКОВОЇ АКТИВНОСТІ
ДЕЯКИХ 4-ТІОМЕТИЛФУНКЦІОНАЛІЗОВАНИХ ТІАЗОЛІВ.....12

Людмила ПІСКАЧ, Ірина СТЕЦА, Любомир ГУЛАЙ
ФАЗОВІ РІВНОВАГИ В СИСТЕМІ $Ag_8SiSe_6-Ag_7PSe_6$20

Галина РІЗАК
ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ: ВПЛИВ НА ЗРОЗУМІННЯ
ТА ЗАЦІКАВЛЕНІСТЬ СТУДЕНТІВ ХІМІЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....30

ЕКОЛОГІЯ

Костянтин ГРИГОР'ЄВ
ОЦІНКА СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У МІСТІ МИКОЛАЄВІ.....39

**Ольга КАРАЇМ, Володимир КАРАЇМ, Зоряна ЛАВРИНЮК, Марія БОЯРИН,
Олена ДЖАМ**
ОЦІНКА ГІДРОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ В АСПЕКТІ ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ
У БАСЕЙНІ РІЧКИ СТРИПА.....49

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ. ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

Юлія ГОЛОВАЦЬКА
МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОРСЬКОЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ
ПЕДАГОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ПЕРЕКЛАДАЧІВ
НА ЗАСАДАХ ЛОКАЛІЗАЦІЇ.....57

Світлана ЛЮЛЕНКО, Роман ПОДЗЕРЕЙ
ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ЗАСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАВЧАННЯ
ПРИ ВИВЧЕННІ ХІМІЇ ТА БІОЛОГІЇ.....66

Лариса МАРУШКО
ЦІЛІ, ЗАВДАННЯ І МЕТОДИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ
ДИФЕРЕНЦІЙОВАНО-ІНДИВІДУАЛІЗОВАНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ
ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ72

Володимир РОДІКОВ
МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК
В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....78

CONTENTS

CHEMISTRY

- Nataliia SLYVKA, Lesya SALIYEVA, Ella KADYKALO, Roman SHANDRUK, Oleksandr PRYMACHUK, Bohdan LUKASHEVYCH, Iryna MAZURENKO, Mykhailo VOVK**
 SCREENING OF POTENTIAL CUCUMIS SATIVUS GROWTH INHIBITORS AMONG (IMIDAZO[2,1-b][1,3]-THIAZIN-6-YL)-1,2,3-TRIAZOLE-5-CARBOXYLATE DERIVATIVES.....3
- Ivanna DANYLIUK, Nataliia KOVALENKO, Valentina TOLMACHOVA, Olena KOVTUN, Nina YAKOVYCHUK, Alina GROZAV, Lesya SALIYEVA, Nataliia SLYVKA, Mykhailo VOVK**
 INVESTIGATION OF ANTIBACTERIAL AND ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SOME 4-THIOMETHYL FUNCTIONALIZED THIAZOLES.....12
- Lyudmyla PISKACH, Iryna STETSA, Liubomyr HULAI**
 PHASE EQUILIBRIA IN THE $Ag_8SiSe_6-Ag_7PSe_6$ SYSTEM.....20
- Galina RIZAK**
 INNOVATIVE METHODS OF TEACHING OF ORGANIC CHEMISTRY: IMPACT UPON COMPREHENSION AND INTEREST OF STUDENTS OF CHEMICAL AND PHARMACEUTICAL SPECIALITIES.....30

ECOLOGY

- Kostiantyn GRYGORIEV**
 ASSESSMENT OF THE STATE OF ATMOSPHERIC AIR IN THE MYKOLAIV CITY.....39
- Olha KARAIM, Volodymyr KARAIM, Zoryana LAVRYNYUK, Mariia BOIARYN, Olena DZHAM**
 EVALUATION OF HYDROCHEMICAL INDICATORS IN THE ASPECT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN THE STRYPA RIVER BASIN.....49

EDUCATIONAL, PEDAGOGICAL SCIENCES. VOCATIONAL EDUCATION

- Yuliia HOLOVATSKA**
 METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF THE AUTHOR'S EXPERIMENTAL PEDAGOGICAL SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE TRANSLATORS ON THE BASIS OF LOCALIZATION.....57
- Svitlana LIULENKO, Roman PODZEREI**
 THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES AS A MEANS TO ENHANCE THE QUALITY OF LEARNING IN THE STUDY OF CHEMISTRY AND BIOLOGY.....66
- Larysa MARUSHKO**
 OBJECTIVES, TASKS AND TECHNIQUES OF ORGANIZING EXPERIMENTAL DIFFERENTIATED AND INDIVIDUALIZED TRAINING OF FUTURE TEACHERS OF NATURAL SCIENCES FOR PROFESSIONAL ACTIVITY.....72
- Volodymyr RODIKOV**
 MODERNIZATION OF PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE SPECIALISTS IN MILITARY ENGINEERING UNDER MARTIAL LAW.....78

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 4

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Андрій Олександрович Філатов

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 10,00. Замов. № 0224/153. 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.