Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 1

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Журнал ухвалено до друку Вченою радою Волинського національного університету імені Лесі Українки
31 травня 2024 р., протокол № 7

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

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

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

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

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

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

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

© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2024

ХІМІЯ

УДК 547.78+547.789
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-1

Іванна ДАНИЛЮК
кандидат хімічних наук, науковий співробітник відділу хімії функціональних гетероциклічних систем, Інститут 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, пл. 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, пл. 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 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: Данилюк, І., Коваленко, Н., Толмачова, В., Ковтун, О., Яковичук, Н., Грозав, А., Салієва, Л., Сливка Н., Вовк, М. (2024). Синтез [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній броміду та оцінка протимікробної та антиоксидантної активності. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 3–9, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-1

СИНТЕЗ І ОЦІНКА ПРОТИМІКРОБНОЇ ТА АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ [(2-(ЦІАНОМЕТИЛ)-1,3-ТІАЗОЛ-4-ІЛ)МЕТИЛ](ТРИФЕНІЛ) ФОСФОНІЙ БРОМІДУ

Мітохондріально-таргетовані сполуки на основі трифенілфосфіну знайшли використання для отримання протипухлинних, протигрибкових, протипаразитарних та антиоксидантних агентів. Стратегії, що включають отримання біологічно активних сполук за рахунок поєднання ліпофільних трифенілфосфонієвих катіонних фрагментів з біологічно активними молекулярними платформами, широко досліджується для спрямованого мітохондріального націлювання. Саме тому доцільним видавався синтез модельного [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній броміду та оцінка його протибактеріальної, протигрибкової та антиоксидантної дії.

Отримані результати проведеного біоскринінгу показали, що [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній бромід виявляє від помірної до високої протибактеріальну активність (мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) становила 7,81-250 мкг/мл), помірну протигрибкову дію (МІК становила 62.5-125 мкг/мл) та високу антиоксидантну активність, рівень інгібування радикалів DPPH складає 91.4%.

Ключові слова: *1,3-тіазол, трифенілфосфін, протибактеріальна активність, протигрибкова активність, антиоксидантна 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 Kuharya 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 Pirogova 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 Pirogova str., Kyiv, Ukraine, 01601
ORCID: *0000-0002-4082-3381*

Olena KOVTUN
Associate Professor of the Department of Chemistry, Dragomanov Ukrainian State University, 9 Pirogova 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., Associate Professor 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 Kuharya str., Kyiv, Ukraine, 02660
ORCID: *0000-0003-1753-3535*

To cite this article: Danyliuk, I., Kovalenko, N., Tolmacheva, V., Kovtun, O., Yakovychuk, N., Grozav, A., Saliyeva, L., Slyvka, N., Vovk, M. (2024). Syntez [(2-(tsianometyl)-1,3-tiazol-4-il)metyl] (tryfenil)fosfonii bromidu ta otsinka protymikrobnoi ta antyoksydantnoi aktyvnosti [Synthesis of [(2-(cyanomethyl)-1,3-thiazol-4-yl)methyl](triphenyl)phosphanium bromide and evaluation of antimicrobial and antioxidant activity]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 3–9, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-1

SYNTHESIS AND EVALUATION OF ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF [(2-(CYANOMETHYL)-1,3-THIAZOL-4-YL)METHYL](TRIPHENYL) PHOSPHANIUM BROMIDE

Triphenylphosphine-based mitochondrial-targeted compounds are widely used to obtain drugs with antitumor, antifungal, antiparasitic, and antioxidant properties. Strategies involving the production of biologically active compounds by coupling lipophilic triphenylphosphine cationic fragment with a biologically active molecular platforms have been widely explored for mitochondrial targeting. That is why we synthesized [(2-(cyanomethyl)-1,3-thiazol-4-yl)methyl](triphenyl)phosphonium bromide and evaluated its antibacterial, antifungal and antioxidant effects.

The obtained results of the bioscreening showed that [(2-(cyanomethyl)-1,3-thiazol-4-yl)methyl](triphenyl) phosphonium bromide exhibits moderate to high antibacterial activity (minimum inhibitory concentration (MIC) was 7.81-250 µg/ml), moderate antifungal effect (MIC was 62.5-125 µg/ml) and high antioxidant activity, the level of inhibition of DPPH radicals is 91.4%.

Key words: *1,3-thiazole, triphenylphosphonium, antibacterial activity, antifungal activity, antioxidant activity, bioscreening.*

Важливим фактором створення антимікробних препаратів є націленість біомолекули саме на патогенну клітину не порушуючи при цьому нормальну життєдіяльність людської клітини. Саме тому, сучасний підхід до дизайну лікарських засобів базується на пошуку сполук, які мають достатню ліпофільність і позитивно заряджені центри, що можуть взаємодіяти із подвійним шаром бактеріальної мембрани і приводити до її руйнування. Позитивний заряд на ліпофільних сполуках сприяє їх нагромадженню в бактеріальній клітині, що надає їм селективної токсичності (Ibrahim, Haria, Mehta, Degani, 2023; Zielonka, Joseph, Sikora, Hardy, Ouari, Vasquez-Vivar, Cheng, Lopez, Kalyanaraman, 2017; Cheng, Feng, Lv, Cui, Wang, Wang, Zhang, 2023). Стратегії, що включають отримання фармакологічно привабливих сполук за рахунок з'єднання ліпофільних катіонних онієвих солей, особливо солей трифенілфосфонію, з біологічно активними молекулами, широко досліджується для мітохондріального націлювання (рис. 1). Даний підхід використовують і в лікуванні раку (Cheng, Feng, Lv, Cui, Wang, Wang, Zhang, 2023).

Відомо, що мітохондрія є основним місцем виробництва внутрішньоклітинних активних форм кисню (АФК). Висока концентрація

АФК виконує шкідливі патологічні функції, які викликають окиснювальний стрес у клітинах, діючи безпосередньо на білки, ліпіди та ДНК, викликаючи окисне пошкодження, що приводить до раку, діабету, серцево-судинних захворювань, нейродегенеративних розладів і старіння. Основною функцією антиоксидантів є їх локалізація в мітохондрії для зниження вмісту АФК. Однак звичайні антиоксиданти, як правило, не досягають задовільних результатів, найвірогідніше через можливість важкого проникнення в мітохондрії. В свою чергу антиоксиданти, скеровані на мітохондрії, головним чином через ліпофільні катіони, зокрема трифенілфосфонієвий, є досить ефективними для такої цілі (Wang, Li, Xiao, Fu, Qin, 2020). Серед них на особливу увагу заслуговують похідні 1,3-тіазолу із трифенілфосфонієвим угрупованням. Поєднання в одній структурі поширеного в медичних препаратах тіазольного скафолда (Mohanty, Behera, Behura, Shubhadarshinee, Mohapatra, Barick, Jali, 2022), модифікованого трифенілфосфонієвим фрагментом, суттєво полегшує націлювання на мітохондрії (Heller, Brockhoff, Goepferich, 2012; Oyewole, Birch-Machin, 2015; Lu, Bruno, Rabenau, Lim, 2016; Xu, Zeng, Jiang, Chang, Yuan, 2016) та є вагомим підґрунтям для цілеспрямованого пошуку, скринінгу, розроблення та впровадження на основі даного каркасу лікарських засобів із протимікробною, антиоксидантною та протираковою дією.

Зважаючи на викладене вище, а також на результатах попереднього дослідження (Danyliuk, Kovalenko, Tolmachova, Kovtun, Saliyeva, Slyvka, Holota, Kutrov, Tsapko, Vovk, 2023), взаємодією препаративно доступного 2-(4-(бромометил)тіазол-2-іл)ацетонітрилу **1** із трифенілфосфіном **2** в киплячому ізопропанолі нами синтезовано [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній бромід **3** із виходом 70% (схема 1) та проведено оцінку його протибактеріальної, протигрибкової та антиоксидантної дії.

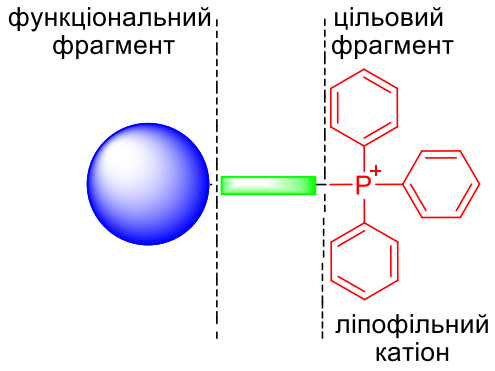


Рис. 1. Анатомія агентів, націлених на мітохондрії на основі трифенілфосфонію

Протибактеріальну та протигрибкову активність перевіряли мікрометодом серійних розведень відповідно до процедур Європейського комітету з тестування чутливості до антимікробних засобів (EUCAST) (Janowska, Andrzejczuk, Gawryś Wujec, 2023). Мінімальні бактеріостатичні (фунгістатичні) та бактерицидні (фунгіцидні) концентрації 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 ATCC 885-653, Candida krusei ATCC 6258, Aspergillus niger K9, Aspergillus amtelodali K12*). За негативний контроль було взято ДМСО, який використовувався як розчинник, за позитивний контроль у випадку протибактеріальної активності – антибактеріальний засіб Декасан (*Nazarchuk, 2016*), а у випадку протигрибкової активності – Клотримазол (Crowley, Gallagher, 2014), засіб з фунгіцидною дією. Отримані результати біоскринінгу свідчать, що [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)

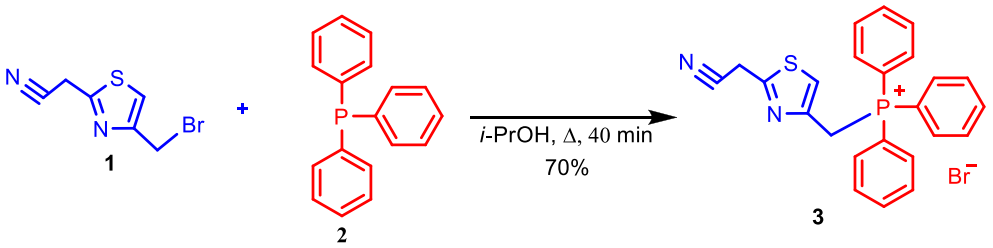


Схема 1. Синтез [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній броміду

метил](трифеніл)фосфоній бромід виявляє протибактеріальну активність від помірної до високої (мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) становила 7,81-250 мкг/мл) (табл. 1) та помірну протигрибкову дію (МІК становила 62.5-125 мкг/мл) (табл. 2).

Для оцінки антиоксидантної активності сполуки **3** використовували аналіз інгібування радикалів 1,1-дифеніл-2-пікрилгідразиду (DPPH) у відповідності до описаної методики (Brand-Williams, Cuvelier, Berset, 1995). До метанольних розчинів досліджуваної речовини та аскорбінової кислоти як еталону додавали по 1 мл розчину DPPH (8 мг/100 мл) та залишали при кімнатній температурі в темному місці на 1 год. Величину поглинання визначали при 517 нм відносно контролю за допомогою спектрофотометра UV-1800 (Shimadzu, Японія). Кожен зразок аналізували в трьох повторах. Відсоток інгібування розраховували відносно холостого зразка:

$$I\% = \frac{(A_{\text{blank}} - \left(A_{\text{sample+DPPH}} - A_{\text{sample}}\right)}{A_{\text{blank}}} \cdot 100\% .$$

A_{blank} – поглинання контрольної реакції (включає всі реагенти, крім досліджуваної сполуки);

$A_{sample+DPPH}$ – поглинання досліджуваної сполуки після 60 хв інкубації з розчином DPPH;

A_{sample} – поглинання досліджуваної сполуки без розчину DPPH (рис. 2).

Результати скринінгу продемонстрували, що [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній бромід проявляє високу антиоксидантну активність, рівень інгібування радикалів DPPH складає 91.4%.

Отримані результати біоскринінгових досліджень [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній броміду **3** переконливо показують, що вказана модельна сполука, а також її можливі аналоги видаються перспективними об'єктами для подальших поглиблених пошуків протимікробних та антиоксидантних агентів.

Експериментальна частина. Температуру плавлення визначали на приладі Кофлера. Спектри ЯМР ^{1}H та ^{13}C записували на приладах Varian VXR-400 (400 і 126 МГц відповідно) у розчині ДМСО-d_6, із ТМС як внутрішнім стандартом. РХ-МС-спектри записували на

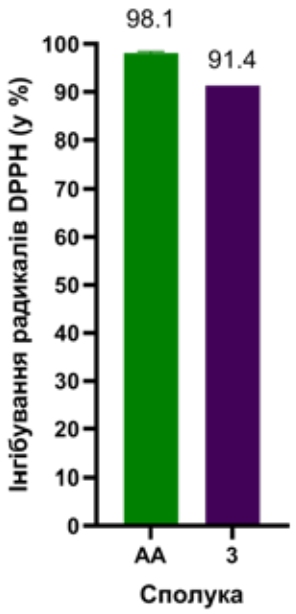


Рис. 2. Інгібування радикалів DPPH в концентрації 5 мМ [(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній бромідом 3

високоефективному рідинному хроматографі серії Agilent 1100, обладнаному діодною матрицею з мас-селективним детектором Agilent LC\MSD SL. Мас-спектрометричне виявлення зразків проводили за допомогою системи Infinity 1260 UHPLC (Agilent Technologies, Waldbronn, Німеччина), поєднаної з системою 6224 Accurate Mass TOF LC/MS (Agilent Technologies, Сінгапур). Елементний аналіз проводили на аналізаторі PerkinElmer 2400 CHN.

[(2-(Ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній бромід 3.

Суміш 1 ммоль 4-бромометил тіазолу **1** та 1 ммоль трифенілфосфіну **2** кип'ятили в ізопропропанолі впродовж 40 хв. Реакційну суміш охолоджували, твердий осад цільового продукту відфільтровували та промивали ізопропанолом. Вихід: 3,4 г (70%), жовтий осад, т. топл. 220-221 °C. ЯМР ^{1}H спектр, ДМСО-d_6, δ, м.ч. (КССВ, J, Гц): 4.48 с (2H, CH_2CN), 5.46 д (2H, ^2J = 15.2, CH_2P), 7.48 с (1H, CH-S), 7.73-7.88 м (15H, Ar-H). Спектр ЯМР ^{13}C, ДМСО-d_6, δ, м.ч., (J, Гц): 25.91 (CH_2), 116.22 (CH_2), 118.73, 122.84, 130.18, 134.39, 135.1, 143.32, 159.67. Мас-спектр, m/z: 400 $[M+H]^+$. Знайдено, %: C 60.12; H 4.14; N 5.80. $C_{24}H_{20}BrN_2PS$. Вирахувано, %: C, 60.13; H, 4.21; N, 5.84.

Таблиця 1

Протибактеріальна активність
[(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній броміду 3

Сполука	*S. aureus*		*E. faecalis*		*B. cereus*		*E. coli*		*S. epidermidis*		*Sh. sonnei*	
	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК
3	125	125	125	250	62,5	62,5	62,5	62,5	7,81	7,81	62,5	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»*

Таблиця 2

Протигрибкова активність
[(2-(ціанометил)-1,3-тіазол-4-іл)метил](трифеніл)фосфоній броміду 3

Сполука	*C. albicans*		*C. krusei*		*Asp. niger*		*Asp. amtel.*	
	МФсК	МФцК	МФсК	МФцК	МФсК	МФцК	МФсК	МФцК
3	125	125	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
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 «Борщагівський ХФЗ».*

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ibrahim M.K., Haria A., Mehta N.V., Degani M.S. Antimicrobial potential of quaternary phosphonium salt compounds: a review. *Future Med. Chem.* 2023. 15(22). P. 2113–2141.
2. Zielonka J., Joseph J., Sikora A., Hardy M., Ouari O., Vasquez-Vivar J., Cheng G., Lopez M., Kalyanaraman B. Mitochondria-targeted triphenylphosphonium-based compounds: syntheses, mechanisms of action, and therapeutic and diagnostic applications. *Chem. Rev.* 2017. 117(15). P. 10043–10120.
3. Cheng X., Feng D., Lv J., Cui X., Wang Y., Wang Q., Zhang L. Application prospects of triphenylphosphine-based mitochondria-targeted cancer therapy. *Cancers.* 2023. 15(3). P. 666.
4. Wang J., Li J., Xiao Y., Fu B., Qin Z. Triphenylphosphonium (TPP)-based antioxidants: a new perspective on antioxidant design. *ChemMedChem*. 2020. 15(5). P. 404–410.
5. 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.
6. Heller A., Brockhoff G., Goepferich A. Targeting drugs to mitochondria. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 2012. 82(1). P. 1–18.
7. Oyewole A. O., Birch-Machin M. A. Mitochondria-targeted antioxidants. *FASEB J.* 2015. 29(12). P. 4766–4771.
8. Lu P., Bruno B.J., Rabenau M., Lim C.S. Delivery of drugs and macromolecules to the mitochondria for cancer therapy. *J. Controlled Release* 2016. 240. P. 38–51.
9. Xu W., Zeng Z., Jiang J.H., Chang Y.T., Yuan L. Discerning the chemistry in individual organelles with small-molecule fluorescent probes. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2016. 55. P. 13658–13699.
10. 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.
11. 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.
12. Nazarchuk O. A. Antiseptics: modern strategy of struggle with causing agents of the infection complications. *Klin Khir.* 2016. 9. P. 59–61.
13. Crowley P.D., Gallagher H.C. Clotrimazole as a pharmaceutical: past, present and future. *J. Appl. Microbiol.* 2014. 117(3). P. 611–617.
14. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*. 1995. 28(1). P. 25–30.

REFERENCES:

1. Ibrahim, M.K., Haria, A., Mehta, N.V., & Degani, M.S. (2023). Antimicrobial potential of quaternary phosphonium salt compounds: a review. *Future Med. Chem,* 15(22), 2113–2141.

2. Zielonka, J., Joseph, J., Sikora, A., Hardy, M., Ouari, O., Vasquez-Vivar, J., Cheng, G., Lopez, M., & Kalyanaraman, B. (2017). Mitochondria-targeted triphenylphosphonium-based compounds: syntheses, mechanisms of action, and therapeutic and diagnostic applications. *Chem. Rev.,* 117(15), 10043–10120.

3. Cheng, X., Feng, D., Lv, J., Cui, X., Wang, Y., Wang, Q., & Zhang, L. (2023). Application prospects of triphenylphosphine-based mitochondria-targeted cancer therapy. *Cancers,* 15(3), 666.

4. Wang, J., Li, J., Xiao, Y., Fu, B., & Qin, Z. (2020). Triphenylphosphonium (TPP)-based antioxidants: a new perspective on antioxidant design. *ChemMedChem*, 15(5), 404–410.

5. 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.

6. Heller, A., Brockhoff, G., & Goepferich, A. (2012). Targeting drugs to mitochondria. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 82(1), 1–18.

7. Oyewole, A. O., & Birch-Machin, M. A. (2015). Mitochondria-targeted antioxidants. *FASEB J.*, 29(12), 4766–4771.

8. Lu, P., Bruno, B.J., Rabenau, M., & Lim, C.S. (2016). Delivery of drugs and macromolecules to the mitochondria for cancer therapy. *J. Controlled Release,* 240, 38–51.

9. Xu, W., Zeng, Z., Jiang, J.H., Chang, Y.T., & Yuan, L. (2016). Discerning the chemistry in individual organelles with small-molecule fluorescent probes. *Angew. Chem., Int. Ed.*, 55, 13658–13699.

10. 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.

11. 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.

12. Nazarchuk, O. A. (2016). Antiseptics: modern strategy of struggle with causing agents of the infection complications. *Klin Khir.,* 9, 59–61.

13. Crowley, P.D., & Gallagher, H.C. (2014). Clotrimazole as a pharmaceutical: past, present and future. *J. Appl. Microbiol.*,117(3), 611–617.

14. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*., 28(1), 25–30.

УДК 543
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-2

Жолт КОРМОШ
кандидат хімічних наук, професор, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025
професор кафедри хімії та екології, Уманський державний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, Черкаська область, Україна, 20300
ORCID: *0000-0001-6018-8787*
Scopus Author ID: *35580134800*

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

Наталія КОРМОШ
викладач, Волинський медичний інститут, вул. Лесі Українки, 2, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43000
ORCID: *0000-0002-4272-888X*

Микола ШЕВЧУК
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства, Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43000
ORCID: *000-0002-6602-2929*

Євгеній РАСПОПОВ
викладач циклової комісії з базової та фундаментальної підготовки, Луцький фаховий коледж рекреаційних технологій і права, вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43023
ORCID: *0000-0002-6067-3907*

Неделько ПАВЛОВІЧ
викладач циклової комісії з базової та фундаментальної підготовки, Луцький фаховий коледж рекреаційних технологій і права, вул. Карбишева, 2, м. Луцьк, Волинська обл.,Україна, 43023

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

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

Бібліографічний опис статті: Кормош, Ж., Горбатюк. Н., Кормош, Н., Шевчук, М., Распопов, Є., Павловіч, Н., Юрченко, О., Піскач, Л. (2024). Потенціометричний сенсор для визначення скополаміну. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 1, 10–17, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-2

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКОПОЛАМІНУ

Розвиток прикладної потенціометрії вимагає як теоретичних досліджень, вкладених у з'ясування природи селективності електродних мембран, і пошуку нових способів синтезу мембран та його модифікації з метою отримання досконаліших структурних одиниць із ширшим діапазоном функціональні властивості цих матеріалів. Для вирішення цієї проблеми важливу роль відіграє встановлення зв'язку між структурними характеристиками мембран та їх впливом на електроаналітичні властивості. Взаємодія органічного катіону скополаміну (Скоп$^+$) з еритрозином (ЕР$^-$) було досліджено методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем Скоп$^+$ + ЕР$^-$ та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протиіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+.

Розроблено скополамін-селективний сенсор із пластифікованою полівінілхлоридною мембраною. Електрод містить іонний асоціат скополаміну з еритрозином. Для моделювання складу мембрани як матрицю використовували ПВХ; досліджено мембрани, пластифіковані дибутілфталатом (ДБФ), діетилфталатом (ДЕФ), діоктилфталатом (ДОФ), динонілфталатом (ДНФ), дибутилсебацинатом (ДБС), трикрезилфосфат (ТКФ). Встановлено, що природа пластифікатора дещо впливає на крутизну і до певної міри на межу виявлення сенсорів. Відгук лінійний у межах зміни концентрації іонів скополаміну $1\cdot10^{-5}$ – $1\cdot10^{-1}$ моль/л із крутизною електродної функції 55,2 ± 1,0 мВ/pC. Сенсор має короткий час відклику 6-10 с і може використовуватися не менше 10 тижнів. Сенсори з більшим вмістом пластифікатора працюють довше, ніж з меншим вмістом. Електрод можна використовувати у діапазоні pH 3,0-7,0. Були досліджені коефіцієнти селективності для скополаміну по відношенню до іонів, що потенційно можуть заважати. Для оцінки розроблених сенсорів було проведено їх апробацію щодо визначення скополаміну в різних об'єктах методом іонометрії та потенціометричного титрування.

Ключові слова: *скополамін-селективний сенсор; потенціометрія; визначення скополаміну.*

Zholt KORMOSH
PhD in Chemistry, Professor, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
Professor of the Department of Chemistry and Ecology of Uman State University named after Pavlo Tychyna, 2 Sadova str., Uman, Cherkasy region, Ukraine, 20300
ORCID: *0000-0001-6018-8787*
Scopus Author ID: *35580134800*

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

Natalia KORMOSH
Teacher, Volyn Medical Institute, 2 Lesi Ukrainky str., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43000
ORCID: *0000-0002-4272-888X*

Mykola SHEVCHUK
PhD in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Materials Science, Lutsk National Technical University, 75 Lvivska str., Lutsk, Volyn region, Ukraine
ORCID: *000-0002-6602-2929*

Evgeniy RASPOPOV
Teacher of the cycle commission for basic and fundamental training, Lutsk Vocational College of Recreational Technologies and Law, 2 Karbysheva str., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43023
ORCID: *0000-0002-6067-3907*

Nedelko PAVLOVICH
Teacher of the cycle commission for basic and fundamental training, Lutsk Vocational College of Recreational Technologies and Law, 2 Karbysheva str., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43023

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

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

To cite this article: Kormosh, Zh., Horbatiuk, N., Kormosh, N., Shevchuk, M., Raspopov, Y., Pavlovich, N., Yurchenko, O., Piskach, L. (2024). Potentsiometrychnyi sensor dlia vyznachennia scopolamine [Potentiometric sensor for determination of scopolamine]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 10–17, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-2

POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF SCOPOLAMINE

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

A scopolamine-selective sensor with a plasticized polyvinyl chloride membrane was developed. The electrode contains the ionic associate of scopolamine with erythrosine. To model the composition of the membrane, PVC was used as a matrix; investigated membranes plasticized with dibutyl phthalate (DBP), diethyl phthalate (DEP), dioctyl phthalate (DOP), dinonyl phthalate (DNP), dibutyl sebaceate (DBS), tricresyl phosphate (TCP). It was established that the nature of the plasticizer somewhat affects the steepness and to some extent the detection limit of the sensors. The response is linear within the range of scopolamine ion concentration change of $1\cdot10^{-5} – 1\cdot10^{-1}$ mol/l with a slope of the electrode function of 55.2 ± 1.0 mV/pC. The sensor has a short response time of 6-10 s and can be used for at least 10 weeks. Sensors with a higher content of plasticizer work longer than with a lower content. The electrode can be used in the pH range of 3.0-7.0. Selectivity coefficients for scopolamine with respect to potentially interfering ions were investigated. To evaluate the developed sensors, they were tested for the determination of scopolamine in various objects by the method of ionometry and potentiometric titration.

Key words: *scopolamine-selective sensor; potentiometry; determination of scopolamine.*

Вступ. Скополамін – тропановий алкалоїд, є антагоністом мускаринових рецепторів. У медицині використовується у препараті Аерон, як протиблювотний засіб. Застосовується для запобігання морській хворобі, при нудоті і блюванні вагітних тощо [1]. Скополамін, також відомий як гіосцин [2], є природним або синтетичним алкалоїдом тропану та антихолінергічним препаратом, який використовується як ліки для лікування заколисування [3] та післяопераційної нудоти та блювоти. Його також іноді використовують перед операцією, щоб зменшити виділення слини. При ін'єкційному застосуванні ефект починається приблизно через 20 хвилин і триває до 8 годин [1]. Його також можна використовувати перорально та як трансдермальний пластир, оскільки давно відомо, що він має трансдермальну біодоступність [4, 5].

У зв'язку з широким застосуванням скополаміну є необхідність розробки надійних методів його визначення. Відомі аналітичні методи разом із можливостями їх застосування мають і ряд обмежень. Наприклад: хромато-масспектральний аналіз вимагає складної пробопідготовки та апаратурного оформлення [6]; у методі [7] заважають відновники; у методі [8] заважають сполуки аналогічної структури,

амінокислоти та ін.; відомий мембранний електрод [9] є недостатньо селективним.

Розвиток прикладної потенціометрії вимагає як теоретичних досліджень, вкладених у з'ясування природи селективності електродних мембран, і пошуку нових способів синтезу мембран та його модифікації з метою отримання досконаліших структурних одиниць із ширшим діапазоном функціональні властивості цих матеріалів. Для вирішення цієї проблеми важливу роль відіграє встановлення зв'язку між структурними характеристиками мембран та їх впливом на електроаналітичні властивості [10-15].

Метою даної роботи було вивчення можливості застосування виділеного іонного асоціату скополаміну (Скоп) з еритрозином (ЕР), як електродоактивної речовини пластифікованих ІСЕ та створення на цій основі нового потенціометричного сенсора для визначення скополаміну.

Матеріали та методи дослідження. Іонні асоціати отримували шляхом осадження при змішуванні розчину скополаміну ($1*10^{-2}$ моль/л) з ЕР у співвідношенні 1:1 при pH 4. Суміш перемішували та залишали при кімнатній температурі на 2 сутки. Випавший осад, відфільтровували, кілька разів промивали холодною водою і сушили при кімнатній температурі протягом 3 діб.

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

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

Результати та їх обговорення. На основі констант протонування скополаміну та дисоціації еритрозину за допомогою програми MarvinScetch 21.11 [16] розраховано діаграми розподілу різних форм від pH. Як видно з рис. 1 та рис. 2, Скоп існує в однозарядній катіонній формі при pH менше 7, а еритрозин існує переважно в однозарядній аніонній форми при pH 3-5. Отже, найбільш імовірні умови утворення іонного асоціату при pH 3-5.

Математичне моделювання утворення ІА. Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА.

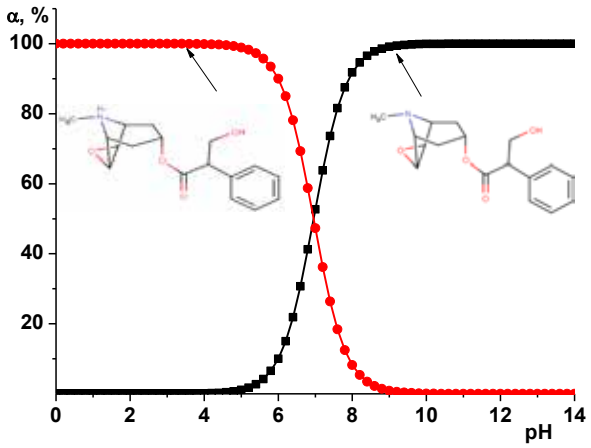


Рис. 1. Розподіл форм скополаміну від pH середовища (1 – катіонна форма; 2 – молекулярна форма)

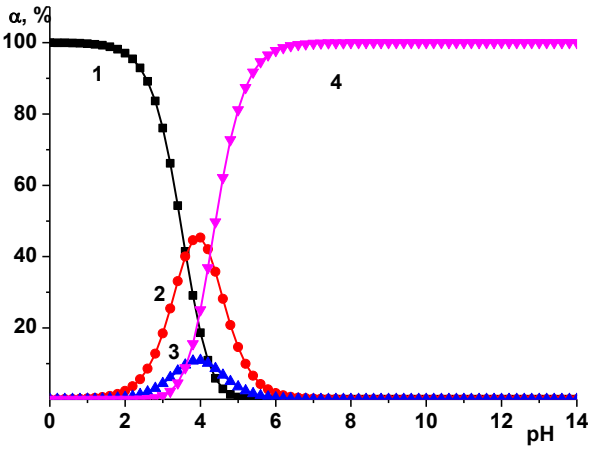


Рис. 2. Розподіл форм еритрозину від pH середовища (1 – молекулярна форма; 2 і 3 – таутомерні однозарядні аніонні форми; 4 – двохзарядна аніонна форма)

Молекулярне моделювання систем «ЕР$^-$ + Скоп$^+$» та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протиіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+.

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

Таблиця 1

Енергетичні характеристики взаємодії ЕР$^-$ + Скоп$^+$

Частинка	Е, кДж/моль
Скоп$^+$	17754,4
ЕР$^-$	17700,0
Σ (ЕР$^-$ + Скоп$^+$)	35454,4
ЕР$^-$Скоп$^+$	35727,2
Σ(ЕР$^-$+Скоп$^+$) – ЕР$^-$Скоп$^+$	272,8

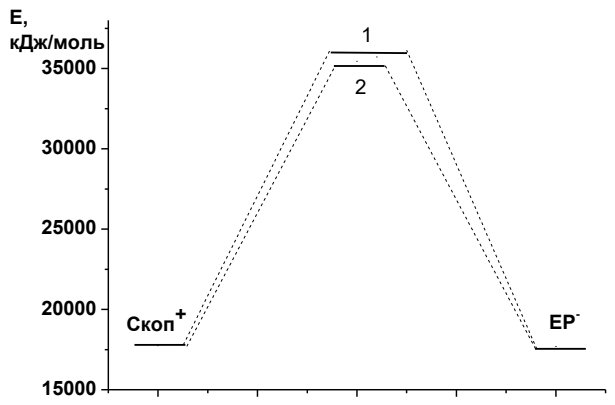


Рис. 3. Рівні енергії іонів ЕР$^-$, Скоп$^+$ та їх ІА; (1) сума енергій ЕР$^-$ + Скоп$^+$ і (2) енергія ІА

Як видно, різниця в енергії утворення іонного асоціату і суми енергій утворення його компонентів дорівнює 272,8 кДж/моль. Отже, процес утворення ІА є термодинамічно вигідним.

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

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

Показано, що робочий інтервал електрода становить pH 3,0 – 7,0. Стабільні значення електродних потенціалів встановлюються протягом 6-10 с. Синтезовані мембрани зберігають стабільні показники не менше 10 тижнів.

Вивчено вплив внутрішнього розчину на електрохімічні властивості ІСЕ. Для цього використовували розчини скополаміну з концентрацією $1\cdot10^{-2}$, $1\cdot10^{-3}$, $1\cdot10^{-4}$ моль/л. Встановлено, що концентрація внутрішнього розчину не впливає на потенціал ІСЕ.

Коефіцієнти потенціометричної селективності (скополамін-селективних сенсорів визначали для ряду видів іонів за допомогою окремих розчинів. Вплив деяких неорганічних катіонів досліджували, використовуючи рівняння Нікольського-Ейзенмана. Коефіцієнти селективності, знайдені цим методом для однозарядних іонів, описується рівнянням:

$$K_{ij}^{pot} = \frac{k_j c_i}{k_i c_j}$$

де k_i і k_j – індивідуальні коефіцієнти розподілу головних та сторонніх іонів, які залежать тільки від стандартних вільних енергій гідратації та сольватації, та являють собою концентрації вільних (не зв'язаних в іонні пари з іонообмінником) іонів і та j у фазі мембрани, за умови, що всі обмінні центри зайняті лише і іонами або лише j іонами відповідно.

Як видно з таблиці 2, розроблений в даній роботі потенціометричний сенсор для визначення скополаміну характеризується значно кращою селективністю ніж відомий у літературі.

На основі створеного скополамін-селективного сенсора розроблена методика його

Таблиця 2

Порівняльна характеристика селективності відомого сенсора та сенсора, розробленого в даній роботі

Іон, речовина	Від'ємній логарифмічний коефіцієнт селективності	
	Сенсор на основі ІА вольфрамофосфату скополаміну [9]	Сенсор на основі ІА еритрозинату скополаміну (розроблений)
Na^+	2,11	3,9
K^+	2,11	3,8
Mg^{2+}	2,59	3,5
Ca^{2+}	2,59	3,6
CO_3^{2-}	2,59	3,9
Cl^-	2,59	3,9
NO_3^-	2,59	3,9
Ацетат	2,59	3,9
Цитрат	2,59	4,0
Форміат	1,48	3,9
Сечовина	2,59	3,9
Гліцин	2,46	3,9
Фруктоза	2,59	4,0

Таблиця 3

Результати визначення скополаміну (n = 5; P = 0,95) (F_{tabl}=5,05; t_{tabl} = 2,78)

Введено скополаміну, мг	Знайдено методом прямої потенціометрії			Знайдено методом потенциометричного титрування			F-test	t-test
	мг	S^2	RSD (%)	мг	S^2	RSD (%)		
50	49,2 ± 1,2	0,7	1,7	49,8 ± 1,2	0,7	1,7	1,00	2,31
100	98,6 ± 1,2	0,8	0,9	99,4 ± 1,6	1,3	1,1	1,60	0,76
150	150,0 ± 2,6	3,5	1,3	150,2 ± 1,8	1,7	0,9	2,06	0,05

визначення. Правильність методики перевірено методом «введено-знайдено».

Методика визначення. До аліквотної частини, що містить скополамін, додають необхідну кількість фонового електроліту з pH 4. В одержаний розчин опускають розроблений сенсор та електрод порівняння, визначають різницю потенціалів. Вміст скополаміну визначають за калібрувальним графіком, побудованим в ідентичних умовах. Проводили 5 паралельних вимірювань методом прямої потенціометрії (P = 0,95) та розраховували результати аналізу методами математичної статистики (табл. 3). При потенціометричному титруванні: до аліквотної частини, що містить скополамін, додають необхідну кількість фонового електроліту з pH 4; в одержаний розчин опускають розроблений сенсор та електрод порівняння; розчин титрують тетрафенілборатом натрію. Будують криву титрування, розраховують точку еквівалентності та розраховують вміст скополаміну.

Як видно з таблиці 3, розроблена методика має добрі метрологічні характеристики.

Висновок. Показано, що синтезований іонний асоціат скополаміну з еритрозином може бути використаний як ЕАР для визначення скополаміну у різних об'єктах. Досліджено умови роботи запропонованого сенсора (вплив pH розчину, внутрішнього розчину, природи пластифікатора, концентрації скополамін-іонів, часу відгуку, час життя електрода та ін.) вивчено питання селективності розроблених сенсорів. На основі отриманих результатів розроблено нову надійну методику потенціометричного визначення скополаміну, що апробовано методом «введено-знайдено».

ЛІТЕРАТУРА:

1. Putcha L., Cintrón N. M., Tsui J., Vanderploeg J. M., Kramer W. G. Pharmacokinetics and Oral Bioavailability of Scopolamine in Normal Subjects. *Pharmacology Research*. 1989. Vol. 6 (6). P. 481–485. DOI:10.1023/A:1015916423156.

2. Juo P.S. *Concise Dictionary of Biomedicine and Molecular Biology* (2nd ed.). Hoboken: CRC Press. 2001. p. 570. ISBN 9781420041309.

3. Fischer J., Ganellin C.R. *Analogue-based Drug Discovery*. John Wiley & Sons. 2006. p. 551. ISBN 9783527607495.

4. Raetsch C. *The encyclopedia of psychoactive plants: ethnopharmacology and its applications*. US: Park Street Press. 2005. pp. 277–282.

5. World Health Organization. *World Health Organization model list of essential medicines: 21st list 2019*. Geneva: World Health Organization. 2019. 60 p. WHO/MVP/EMP/IAU/2019.06. URL: https://iris.who.int/handle/10665/325771.

6. Chen J., Lu A., Tan D., Zhang Q., Lu Y., Qin L., and He Y. Determination of Scopolamine Distribution in Plasma and Brain by LC-MS/MS in Rats. *International Journal of Analytical Chemistry*. 2022. Article ID 8536235, 9 p. https://doi.org/10.1155/2022/8536235.

7. Jornet-Martínez N., Herraez-Hernandez R., and Campíns-Falco P. Scopolamine analysis in beverages: Bicolorimetric device vs portable nano liquid chromatography. *Talanta*. 2021. Vol. 232. 122406. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122406.

8. Brown K., Jacquet Ch., Biscay J., Allan P., and Dennany L. *Analyst*. 2020. Vol. 145, PP. 4295–4304. DOI: 10.1039/d0an00846j.

9. Mostafa G.A.EH. Potentiometric PVC Membrane Sensor for the Determination of Scopolamine in Some Pharmaceutical Formulations. *Analytical Sciences.* 2002. Vol. 18. PP. 1335–1338. https://doi.org/10.2116/analsci.18.1335

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

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

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

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

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

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

16. Програма MarvinScetch. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.chemaxon.com.

REFERENCES:

1. Putcha, L., Cintrón, N. M., Tsui, J., Vanderploeg, J. M., Kramer, W. G. (1989). Pharmacokinetics and Oral Bioavailability of Scopolamine in Normal Subjects. *Pharmacology Research*. 6 (6). 481–485. DOI:10.1023/A:1015916423156.

2. Juo, P.S. (2001). *Concise Dictionary of Biomedicine and Molecular Biology* (2nd ed.). Hoboken: CRC Press. p. 570. ISBN 9781420041309.

3. Fischer, J., & Ganellin, C.R. (2006). *Analogue-based Drug Discovery*. John Wiley & Sons. p. 551. ISBN 9783527607495.

4. Raetsch, C. (2005). *The encyclopedia of psychoactive plants: ethnopharmacology and its applications*. US: Park Street Press. pp. 277–282.

5. World Health Organization. (2019). *World Health Organization model list of essential medicines: 21st list 2019*. Geneva: World Health Organization. 60 p. WHO/MVP/EMP/IAU/2019.06. https://iris.who.int/handle/10665/325771.

6. Chen, J., Lu, A., Tan, D., Zhang, Q., Lu, Y., Qin, L., and He, Y. (2022). Determination of Scopolamine Distribution in Plasma and Brain by LC-MS/MS in Rats. *International Journal of Analytical Chemistry*. Article ID 8536235, 9 p. https://doi.org/10.1155/2022/8536235.

7. Jornet-Martínez, N., Herraez-Hernandez, R., and Campíns-Falco, P. (2021). Scopolamine analysis in beverages: Bicolorimetric device vs portable nano liquid chromatography. *Talanta*. 232. 122406. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122406.

8. Brown, K., Jacquet, Ch., Biscay, J., Allan, P., and Dennany, L. (2020). *Analyst*. 145. 4295–4304. DOI: 10.1039/d0an00846j.

9. Mostafa, G.A.EH. Potentiometric PVC Membrane Sensor for the Determination of Scopolamine in Some Pharmaceutical Formulations. (2002). *Analytical Sciences.* 18. 1335–1338. https://doi.org/10.2116/analsci.18.1335.

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

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

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

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

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

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

16. MarvinScetch program. [Electronic resource]. – Access mode: http://www.chemaxon.com.

УДК 547.7:547.923.2:547.234
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-3

Галина РІЗАК
кандидат фармацевтичних наук, доцент кафедри органічної хімії, Навчально-науковий інститут хімії та екології, Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна, 88000
***ORCID**: 0000-0002-0230-2366*

Бібліографічний опис статті: Різак, Г. (2024). Синтез уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів і вивчення їх циклізації. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 18–25, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-3

СИНТЕЗ УРЕЇДНИХ ПОХІДНИХ 2-АМІНО-3-КАРБЕТОКСИ(ЦІАНО)ТІОФЕНІВ І ВИВЧЕННЯ ЇХ ЦИКЛІЗАЦІЇ

Робота присвячена вивченню особливостей синтезу уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів та їх циклізації для створення на їхній основі нових ефективних лікарських засобів, що є одним з актуальних завдань органічної хімії та фармацевтики. ***Метою роботи*** *був синтез уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів і вивчення їх циклізації.* ***Методологія****. Для синтезу вихідних уреїдів нами досліджено взаємодію 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів з фенілізоціанатом, з реакційного середовища були виділені вихідні тіофени (2.1a-d), розроблено методику синтезу уреїдних похідних (3.1a-c), що містять у положенні 3 естерну групу, яка передбачає використання неполярного розчинника – бензену, з оптимальний часом проведення синтезу орієнтовно 3 години. Одержані сполуки охарактеризовано спектроскопічними методами, зокрема УФ, ІЧ та ЯМР 1Н-спектроскопії. Встановлено, що реакцію можна проводити шляхом кип'ятіння в бензені, що потребує збільшення часу проведення синтезу, окремі уреїди (3.1e,f) були отримані з виходом 75% при кип'ятінні протягом 3,5 годин. Утворення уреїдних похідних в умовах описаного в літературі синтезу аналогічних тіоуреїдів не відбувався. Запропоновано альтернативну методику синтезу уреїдних похідних, що містять у положенні 3 естерну групу, яка передбачає використання неполярного розчинника – бензену. Знайдено оптимальні умови синтезу уреїдних похідних з ціано-групою у положенні 3, а саме: нагрівання 2-аміно-3-ціанотіофенів з фенілізоціанатом протягом 3 годин у середовищі толуену або суміші ізомерів ксилену.* ***Висновки.*** *Розроблено методики синтезу уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів, натрієвих солей 2-окси-4-оксо(іміно)-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів, 2,4-діоксо- та 2-оксо-4-іміно-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів та вивчено їх циклізацію.*

Ключові слова: *тієно[2,3-d]піримідини, уреїдні похідні 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів, синтез, циклізація.*

Galina RIZAK
Candidate of Pharmaceutical Sciences, Adviser to the Director of the Foundation on Public Grounds, Charitable Fund for the Support of Education, Science, Scientific and Technical, Uzhhorod, Ukraine, 88000
***ORCID:** 0000-0002-0230-2366*

To cite this article: Rizak, G. V. (2024). Syntez ureidnykh pokhidnykh 2-amino-3-karbetoksy(tsiano) tiofeniv i vyvchennia yikh tsyklizatsii [Synthesis of ureide derivatives of 2-amino-3-carbetoxy(cyano) thiophenes and study of their cyclization]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 18–25, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-3

SYNTHESIS OF UREIDE DERIVATIVES OF 2-AMINO-3-CARBETOXY(CYANO) THIOPHENES AND STUDY OF THEIR CYCLIZATION

This work is devoted to the study of the synthesis of ureide derivatives of 2-amino-3-carbetoxy(thio)thiophenes and their cyclization to create new effective drugs based on them, which is one of the most urgent tasks of organic chemistry and pharmaceutical science. ***The aim*** *of this work was to synthesize ureide derivatives of 2-amino-3-carbetoxy(cyano) thiophenes and study their cyclization.* ***Methodology****. For the synthesis of the initial ureides, we studied the interaction of 2-amino-3-carbetoxy(cyano)thiophenes with phenylisocyanate, isolated the initial thiophenes (2.1a-d) from the reaction medium, and developed a method for the synthesis of ureide derivatives (3.1a-c) containing an ester group at position 3, which involves the use of a nonpolar solvent, benzene, with an optimal synthesis time of approximately*

3 hours. The obtained compounds were characterized by spectroscopic methods, including UV, IR and 1H NMR spectroscopy. It was found that the reaction can be carried out by boiling in benzene, which requires an increase in the synthesis time; individual ureides (3.1e,f) were obtained in 75% yield when boiled for 3.5 hours. It was found that the formation of ureide derivatives did not occur under the conditions of the synthesis of similar thioureides described in the literature. An alternative method for the synthesis of ureide derivatives containing an ester group at position 3, which involves the use of a nonpolar solvent, benzene, has been proposed. The optimum conditions for the synthesis of ureide derivatives with a cyanogen group in position 3 were found, namely, heating 2-amino-3-cyanothiophenes with phenylisocyanate for 3 hours in the medium of toluene or a mixture of xylene isomers. ***Conclusions.*** *Methods for the synthesis of ureide derivatives of 2-amino-3-carbetoxy(thio)thiophenes, sodium salts of 2-oxy-4-oxo(imino)-3-phenyl-5-R-6-R`-thieno[2,3-d]pyrimidines, 2,4-dioxo- and 2-oxo-4-imino-3-phenyl-5-R-6-R`-thieno[2,3-d]pyrimidines were developed and their cyclization was studied.*

Key words*: thieno[2,3-d]pyrimidines, ureide derivatives of 2-amino-3-carbetoxy(cyano)thiophenes, synthesis, cyclization.*

Актуальність проблеми й аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині у світі однією з найпоширеніших причин смерті є онкологічні захворювання, докладаються великі зусилля для пошуку нових біологічно активних речовин для відкриття на їхній основі нових протипухлинних засобів. Наявні на сьогоднішній день протипухлинні препарати мають токсичність, ефект лікарської взаємодії та резистентність, через що активно ведеться пошук нових протипухлинних препаратів (El-Metwally, 2021; Dastyafteh, 2023).

У статті «Synthesis and molecular modeling of novel bio-functional moieties derived from 2-cyanoacetamide-3,4,5-substituted thiophene as human carcinoma growth inhibitors» (Khalifa, 2020) обговорюється синтез нових біофункціональних заміщених тіофенових скафолдів за допомогою тандемних нуклеофільних реакцій та реакцій циклізації. Сполуки були досліджені на людських клітинних лініях первинного раку печінки та карциноми молочної залози, демонструючи різний ступінь пригнічення росту пухлин, що робить їх потенційними біологічно активними хімічними сполуками для синтезу антиканцерогенних препаратів. В актуальному дослідженні He et al. (2020) було детально описано синтез несиметричних похідних сечовини за допомогою послідовної трикомпонентної реакції в одному посуді за участю циклічних 2-діазо-1,3-дикетонів, карбодіімідів та 1,2-дігалоетанів.

У роботі Monika Wałęsa-Chorab і Skene (2020) було використано реакцію Гевальда для отримання 2,5-діамінотіфонену, який функціоналізували двома мономерами стиролу, його конденсували з 2,5-тіофендикарбоксальдегідом, щоб отримати сполучену азометинову тріаду. Рентгенівська кристалографічна структура азометину червоного кольору підтвердила антипаралельне розташування та майже компланарність трьох тіофенів. Було також виявлено, що кінцеві аміни зазнають як внутрішньо-, так і міжмолекулярних водневих зв’язків зі своїм ефірним карбонілом. Ці сполуки можуть бути гідролізовані як до своїх відповідних амінних, так і до альдегідних конституційних компонентів, одночасно зазнаючи компонентного обміну з аніліном. Перспективним класом для цього є похідні тієно[2,3-d]піримідинів. Серед анельованих похідних тіофену та піримідину останнім часом поширення набули тієно[2,3-d] піримідини. Це зумовлено різноманітністю методів одержання відповідних прекурсорів, наприклад, відомі й поширені реакції Торпа-Циглера та Гевальда, що дають змогу синтезувати функціоналізований тіофеновий цикл, зокрема похідні 2- і 3-амінотіофену.

У дослідженні Dastyafteh et al. (2023) було представлено дизайн і синтез нових похідних тіоксотіазолідинілацетамідів як потужних інгібіторів уреази. Враховуючи високу ефективність цих похідних як антиуреазних агентів, було розроблено та синтезовано нові кандидати, що містять тіоксотіазолідиніл, проте ще необхідно вивчити їхню біологічну активність.

Особливий інтерес становлять реакції заміщених тієно[2,3-d]піримідинів, які відкривають шлях до різних гетероциклічних систем – продуктів і напівпродуктів тонкого органічного синтезу й інших речовин з цінними властивостями (Rizak, 2023). У зв'язку з цим розробка методів синтезу нових заміщених тієно[2,3-d] піримідинів і вивчення їхніх фізико-хімічних, біологічних властивостей та проведення фармакологічного скринінгу синтезованих сполук є актуальним завданням. Похідні піримідину (піримідин-2,4-діон (урацил), його 5-метилзаміщене (тимін), 4-амінопіримідин-2-он (цитозин)) входять до складу нуклеїнових кислот

(Власова, 2020). Важливе місце серед біологічно активних гетероциклів природного і синтетичного походження посідають конденсовані піримідини. Зокрема відомо, що похідні тієнопіримідинів володіють широким спектром біологічної активності, тому синтез нових конденсованих систем на основі тіофену і піримідину становить інтерес як з погляду хімії, так і вивчення їхніх фармакологічних властивостей (Ay, 2023; Monier, 2020).

Таким чином активно триває синтез уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано) тіофенів з метою відбору найбільш перспективних сполук для створення лікувальних протипухлинних препаратів. Модифікація синтезу цих сполук надає можливість отримувати нові похідні з метою покращення фармакалогічних показників при біологічної апробації цих хімічних речовин.

Мета дослідження. Метою роботи був синтез уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано) тіофенів та вивчення їх циклізації.

Експериментальна частина. Загальний план синтезу наведено на рис. 1.

Для модифікації синтезу уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів було застосовано загальні методи синтезу хімічних сполук (таблиця 1).

Результати та їх обговорення. Встановлено, що утворення уреїдних похідних (3.1a-d) в умовах описаного синтезу аналогічних тіоуреїдів не відбувається (кип'ятіння 2–3 год в 1,4-діоксані). З реакційного середовища були виділені вихідні тіофени (2.1a-d). Ми розробили методику синтезу уреїдних похідних (3.1a-c), що містять у положенні 3 естерну групу, яка передбачає використання неполярного розчинника – бензену, оптимальний час проведення синтезу – 3 год. (рис. 2).

Оптимальними розчинниками для синтезу уреїдних похідних з ціаногрупою у положенні 3 виявились толуен або суміш ізомерів ксилену, оптимальний час проведення синтезу – 3 год. (рис. 3). У подальшому було встановлено, що реакцію можна проводити і за умов нижчої температури (наприклад, кип'ятіння в бензені), але це потребує збільшення часу проведення синтезу.

Збільшення тривалості реакції до 4–5 год. супроводжується процесами часткового осмолення вихідних як 2-аміно-3-карбетокси-, так і 2-аміно-3-ціанотіофенів (2.1a-g) та цільових продуктів 3.1a-c,e,f, що спричиняє зниження виходу уреїдних похідних (3.1a-c,e,f).

У випадку використання для реакції тіофенів 2.1d і 2.1g (R = Me, R` = CO2Et) за умов реакції було виділено вихідні сполуки, що, ймовірно, можна пояснити зниженням нуклеофільних властивостей аміногрупи у положенні 2 тіофенового ядра за рахунок електроноакцепторного впливу другої естерної групи в положенні 5. Було визначено виходи та температури плавлення синтезованих сполук 3.1, які представлені у таблиці 2.

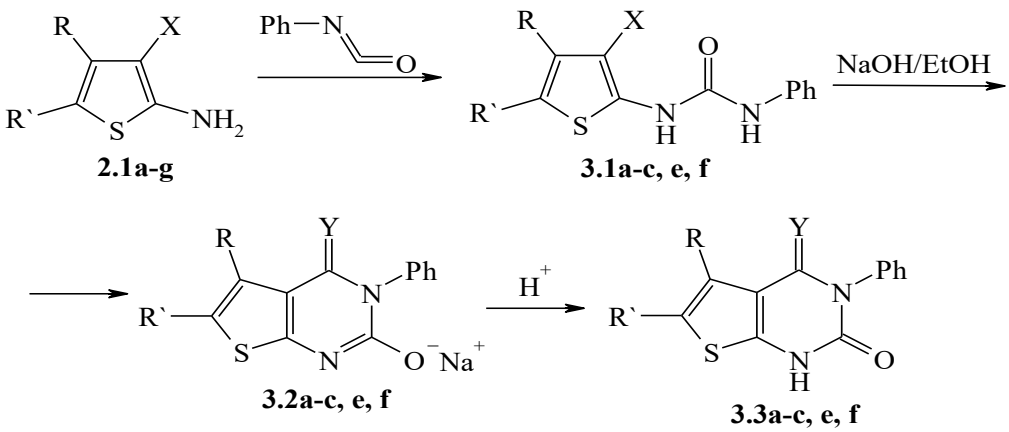
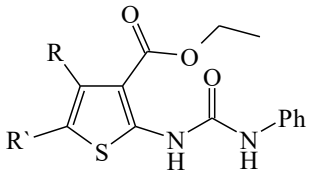
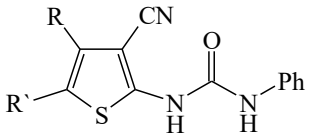
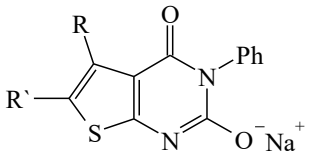
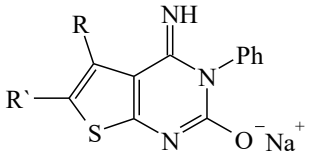
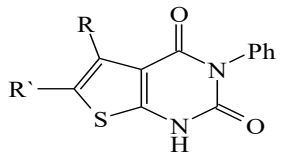
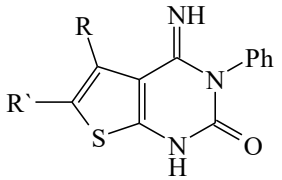


Рис. 1. Схема синтезу уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів

2.1a, 3.1a R = R` = Me, X = CO2Et; **2.1b, 3.1b** R + R` = (CH2)3, X = CO2Et; **2.1c, 3.1c** R + R` = (CH2)4, X = CO2Et; **2.1d** R = Me, R` = X = CO2Et; **2.1e, 3.1e** R + R` = (CH2)3, X = CN; 2.1f R + R` = (CH2)4, X = CN; 2.1g R = Me, R` = CO2Et, X = CN; **3.2a, 3.3a** R = R` = Me, Y = O; **3.2b, 3.3b** R + R` = (CH2)3, Y = O; **3.2c, 3.3c** R + R` = (CH2)4, Y = O; **3.2e, 3.3e** R + R` = (CH2)3, Y = NH; **3.2f, 3.3f** R + R` = (CH2)4, Y = NH.

Таблиця 1

Методи синтезу уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів

Структурна формула	Назва сполуки	Умови синтезу
	2-N-(1-фенілуреїдо)-3-карбетокси-4-R-5-R`-тіофени (3.1a-c).	До 0,1 моль амінотіофену (2.1 a-c) у 50 мл сухого бензену додають 0,12 моль фенілізоціанату, кип'ятять на водяній бані 2 год. Після гарячого фільтрування утвореного осаду проводять перекристалізацію цільового продукту з діоксану.
	2-N-(1-фенілуреїдо)-3-ціано-4-R-5-R`-тіофени (3.1e, f).	До 0,1 моль відповідного амінотіофену (2.1 e, f) у 100 мл толуену додають 13 мл (0,12 моль) фенілізоціанату, кип'ятять на водяній бані 3 год. і залишають на 20 год. Цільовий продукт, який випадає в осад, відфільтровують, промивають на фільтрі теплим толуеном, діетиловим етером і використовують далі без попереднього очищення.
	синтезу натрієвих солей 2-окси-4-оксо-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d] піримідини (3.2a-c)	До розчину 0,05 моль відповідної сечовини (3.1a-c) у 150 мл діоксану додають 50 мл 2н розчину натрій гідроксиду і кип'ятять 2-4 год. до випадання осаду, який відфільтровують і перекристалізовують із етанолу.
	натрієва сіль 4-іміно-2-окси-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідини (3.2e, f)	До розчину 0,05 моль відповідної сечовини (3.1e, f) у 150 мл діоксану додають розчин 5,6 г (0,10 моль) натрій гідроксиду в 40 мл 90 % етанолу і кип'ятять 2 год. Після охолодження осад відфільтровують і перекристалізовують із етанолу.
	2,4-діоксо-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d] піримідини 3.3(a-c)	До розчину 0,01 моль відповідної солі (3.2a-c) у 100 мл води додають 20 мл 10 % розчину оцтової кислоти. Осад відфільтровують і перекристалізовують із діоксану.
	4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d] піримідини (3.3e, f)	До розчину 0,05 моль відповідної солі (3.2e, f) у 100 мл води додають 15 мл 10% розчину оцтової кислоти. Осад відфільтровують і перекристалізовують із диметилсульфоксиду.

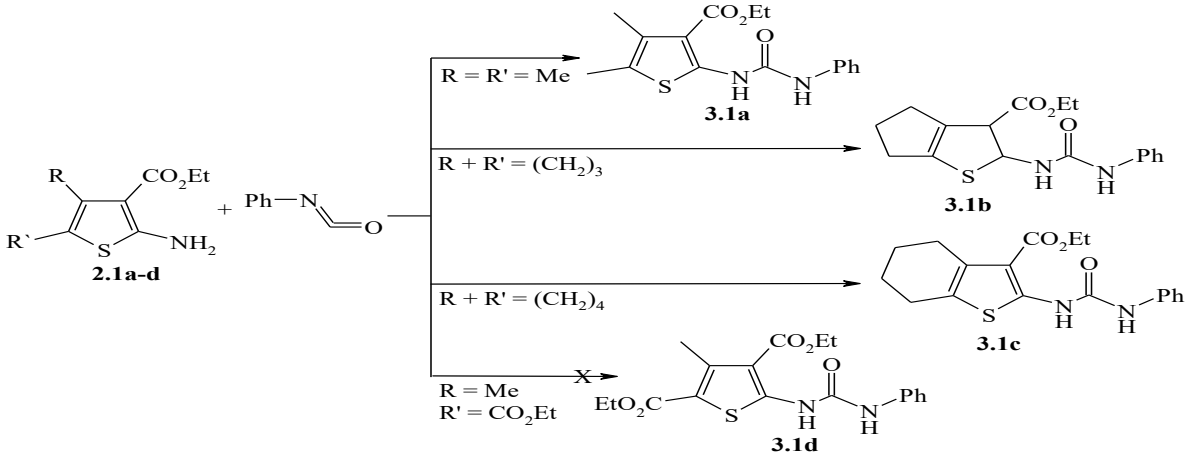


Рис. 2. Схема синтезу уреїдних похідних (3.1a-c)

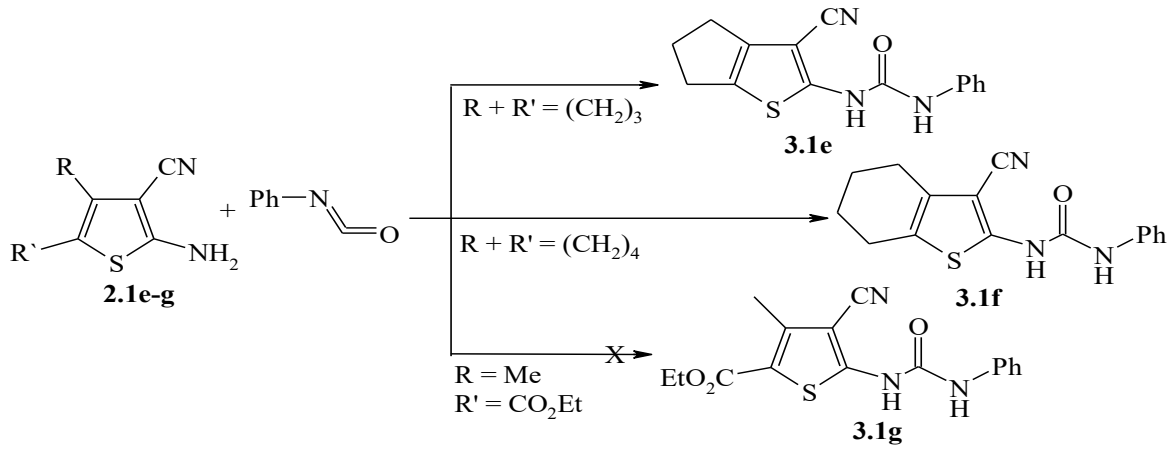


Рис. 3. Схема синтезу уреїдних похідних (3.1e-f)

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики сполук 3.1a-c, e, f

Сполуки	Т пл., °С	Вихід, %
3.1a	132-133	62
3.1b	121-122	75
3.1c	153-154	78
3.1e	250-254	80
3.1f	237-240	69

Таблиця 3

Дані елементного аналізу сполук 3.1a-c, e, f

Сполука	Знайдено, %			Брутто-формула	Вирахувано, %		
	C	H	N		C	H	N
3.1a	60,68	5,86	8,78	$C_{16}H_{18}N_2O_3S$	60,36	5,70	8,80
3.1b	62,12	5,62	8,43	$C_{17}H_{18}N_2O_3S$	61,80	5,49	8,48
3.1c	62,50	5,77	8,20	$C_{18}H_{20}N_2O_3S$	62,77	5,85	8,13
3.1e	63,50	4,55	14,82	$C_{15}H_{13}N_3OS$	63,58	4,62	14,83
3.1f	64,42	5,19	14,16	$C_{16}H_{15}N_3OS$	64,62	5,08	14,13

Будову одержаних сполук 3.1a-c, e, f підтверджували даними елементного аналізу (табл. 3), методом ЯМР 1Н-спектроскопії та, у деяких випадках, методами УФ- та ІЧ-спектроскопії.

Спектри ЯМР 1Н уреїдних похідних (3.1) характеризуються наявністю сигналів у сильному полі 1,6-2,8 м.ч., що відповідають аліфатичним замісникам у положеннях 4 і 5 тіофенового ядра, сигналів ароматичних протонів у діапазоні 6,9–7,7 м.ч. та двох груп NH у межах 10,0–11,2 м.ч. Спектри ЯМР 1Н уреїдних похідних (3.1a-c), які містять у положенні 3 тіофенового ядра карбетоксигрупу, додатково містять сигнали етильного замісника, яких у спектрах 3-ціанопохідних (3.1e,f) не спостерігається.

В УФ-спектрі 2-N-(1-фенілуреїдо)-3-карбетокси-4,5-диметилтіофену (3.1a) спостерігаються максимуми поглинання при 231,2 нм, 265,5 нм та 300,3 нм. В ІЧ-спектрі цієї сполуки спостерігаються коливання ароматичних (3064 $см^{-1}$) та аліфатичних С-Н зв'язків (2962 $см^{-1}$), С=О групи гетероциклічного кільця (1725 $см^{-1}$), естерної С=О групи (1658 $см^{-1}$) та зв'язку С–О–С (1167 $см^{-1}$).

В УФ-спектрі 2-N-(1-фенілуреїдо)-3-ціано-4,5-тетраметиленотіофену (3.1f) спостерігаються максимуми при 231,2 нм, 265,5 нм та 300,3 нм. В ІЧ-спектрі цієї сполуки спостерігаються коливання ароматичних (3064 $см^{-1}$) та аліфатичних С–Н зв'язків (2962 $см^{-1}$), CN групи (2231 $см^{-1}$), естерної

C=O групи (1658 $см^{-1}$) та зв'язку C–O–C (1167 $см^{-1}$).

Циклізація уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)-тіофенів.

Циклізацію уреїдних похідних (3.1a-c) проводили у 90 % водному розчині етанолу при дії двократного надлишку лугу. При цьому одержали натрієві солі 2-окси-4-оксо-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів (3.2a-c), при додаванні до яких 10 % водного розчину оцтової кислоти виділено відповідні 2,4-діоксо-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідини (3.3a-c) (рис. 4).

В аналогічних умовах одержували натрієві солі 4-іміно-2-окси-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів (3.2e, f) та 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідини (3.3e, f) (рис. 5).

Виходи і температури плавлення синтезованих сполук 3.2 і 3.3 наведено в табл. 4.

Будову одержаних сполук 3.2, 3.3 підтверджували даними елементного аналізу (табл. 5), методом ЯМР ^{1}H-спектроскопії та, у деяких випадках, методами УФ- та ІЧ-спектроскопії.

Спектри ЯМР ^{1}H 2,4-діоксо-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів (3.3a-c) характеризуються наявністю сигналів, що відповідають аліфатичним замісникам у положеннях 4 і 5 тіофенового ядра, сигналів ароматичних протонів у діапазоні 6,9 – 7,7 м.ч. На відміну від вихідних уреїдних похідних (3.1a-c) у спектрах відсутні сигнали груп NH уреїдного фрагмента, проте з'являється сигнал ендоциклічної групи NH у слабшому полі

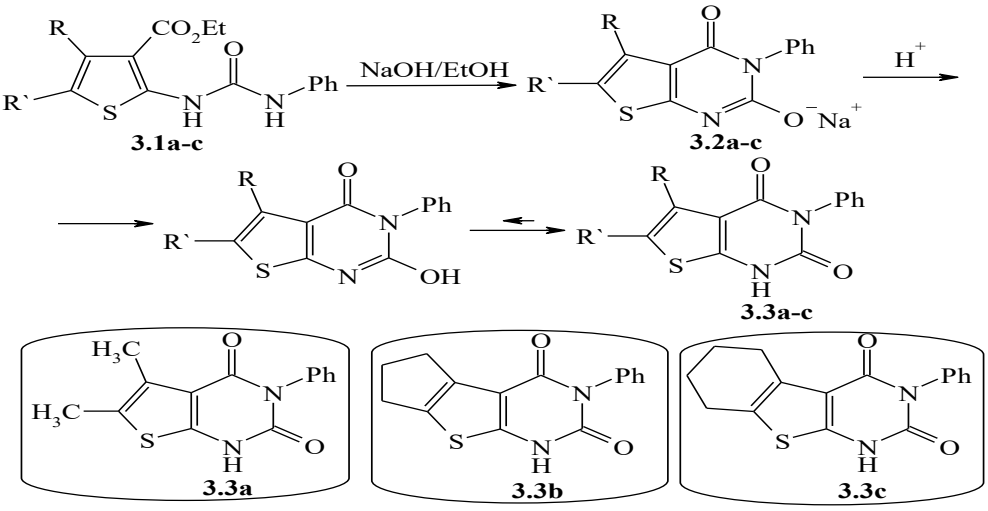


Рис. 4. Схема циклізації уреїдних похідних (3.1a-c)

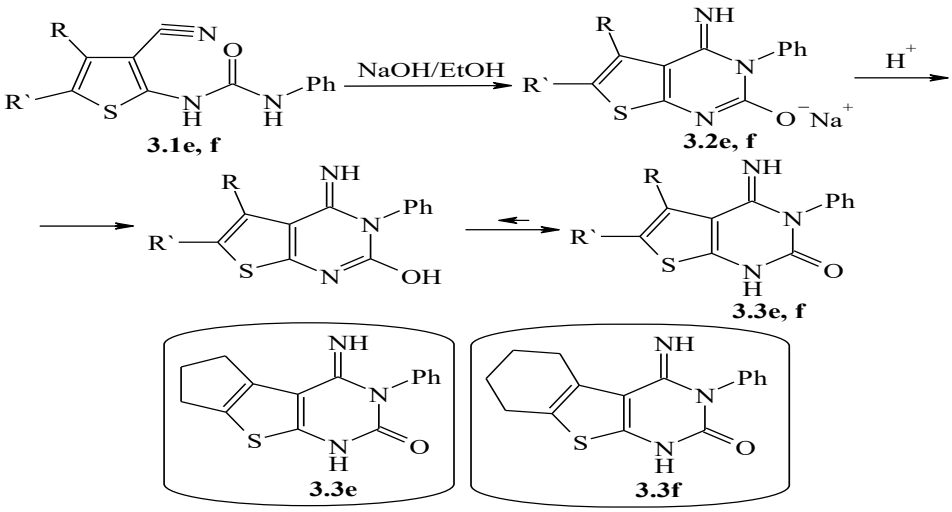


Рис. 5. Схема циклізації уреїдних похідних (3.2e, f; 3.3e, f)

Таблиця 4

Фізико-хімічні характеристики сполук 3.2 – 3.3

Сполука	Т пл., °С	Вихід, %	Сполука	Т пл., °С	Вихід, %
3.2a	300-302	78	3.3a	293-294	94
3.2b	250-255	79	3.3b	183-184	92
3.2c	320-323	81	3.3c	303-305	96
3.2e*	–	–	3.3e	250-252	40
3.2f*	–	–	3.3f	311-313	72

*Примітка. * – натрієві солі 3.2e і 3.2f без виділення використовували у подальших дослідженнях.*

Таблиця 5

Дані елементного аналізу сполук 3.3a-c, e, f та 3.4a-c, e, f

Сполука	Знайдено, %			Брутто-формула	Вирахувано, %		
	C	H	N		C	H	N
3.3a	57,46	3,93	9,50	$C_{14}H_{11}N_2NaO_2S$	57,14	3,77	9,52
3.3b	59,14	3,75	9,10	$C_{15}H_{11}N_2NaO_2S$	58,82	3,62	9,15
3.3c	59,72	4,01	8,81	$C_{16}H_{13}N_2NaO_2S$	59,99	4,09	8,74
3.3e	58,93	3,89	13,75	$C_{15}H_{12}N_3NaOS$	59,01	3,96	13,76
3.3f	59,98	4,53	13,19	$C_{16}H_{14}N_3NaOS$	60,18	4,42	13,16
3.4a	62,07	4,60	10,27	$C_{14}H_{12}N_2O_2S$	61,75	4,44	10,29
3.4b	63,68	4,38	9,80	$C_{15}H_{12}N_2O_2S$	63,36	4,25	9,85
3.4c	64,14	4,65	9,46	$C_{16}H_{14}N_2O_2S$	64,41	4,73	9,39
3.4e	63,50	4,55	14,82	$C_{15}H_{13}N_3OS$	63,58	4,62	14,83
3.4f	64,42	5,19	14,16	$C_{16}H_{15}N_3OS$	64,62	5,08	14,13

(~ 12 м.ч.). Спектри ЯМР ^{1}H 2-оксо-4-іміно-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів (3.3e, f) додатково містять сигнали екзоциклічної групи NH.

В УФ-спектрі 2,4-діоксо-3-феніл-5,6-тетраметиленотієно[2,3-d]піримідину (3.3c) спостерігаються максимуми при 217,5 нм, 252,8 нм та 301,0 нм. В ІЧ-спектрі цієї сполуки спостерігаються коливання зв'язків NH групи (3402 та 3222 см$^{-1}$), карбонільних груп (1614 см$^{-1}$), групи CONH (смуга I, 1679 см$^{-1}$, смуга II, 1560 см$^{-1}$) та C=C зв'язків ароматичного кільця (1616 см$^{-1}$).

В УФ-спектрі 4-іміно-2-оксо-3-феніл-5,6-триметиленотієно[2,3-d]піримідину (3.3d) спостерігаються максимуми при 223,9 нм, 254,2 нм та 304,0 нм. Тоді як, ІЧ-спектрі спостерігаються коливання зв'язків груп NH (3392 та 3201 см$^{-1}$), ароматичних C-H зв'язків (3057 см$^{-1}$), C=O групи (1653 см$^{-1}$), групи CONH (1649 см$^{-1}$, амід I та 1567 см$^{-1}$, амід II), C=C зв'язків ароматичного кільця (1591 – 1452 см$^{-1}$).

Висновки. Розроблено препаративні методики синтезу уреїдних похідних 2-аміно-3-карбетокси(ціано)тіофенів, натрієвих солей 2-окси-4-оксо(іміно)-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів, 2,4-діоксо- та 2-оксо-4-іміно-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d] піримідинів. Циклізацією відповідних уреїдних похідних одержано натрієві солі 2-окси-4-оксо(іміно)-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідинів, при додаванні до яких 10 % водного розчину оцтової кислоти виділено відповідні 2,4-діоксо- та 2-оксо-4-іміно-3-феніл-5-R-6-R`-тієно[2,3-d]піримідини.

Перспективи подальших досліджень. Одержані уреїдні є перспективними для досліджень їхньої біологічної активності та доклінічних досліджень.

Подяки. Авторка дякує академіку НАН України проф. Черниху В.П., проф. Шемчуку Л.А. та проф. Хрипаку С.М. за допомогу в проведенні наукових досліджень та багаторічні наукові консультації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. El-Metwally S. A., Abou-El-Regal M. M., Eissa I. H., et al. Discovery of thieno[2,3-d]pyrimidine-based derivatives as potent VEGFR-2 kinase inhibitors and anti-cancer agents. *Bioorganic chemistry*. 2021. No. 112. P. 104947. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.104947.

2. Dastyafteh N., Noori M., Nazari Montazer M., et al. New thioxothiazolidinyl-acetamides derivatives as potent urease inhibitors: design, synthesis, in vitro inhibition, and molecular dynamic simulation. *Scientific reports*. 2023. No. 13(1). P. 21. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-27234-3.

3. Mohamed E. Khalifa. Synthesis and molecular modeling of novel bio-functional moieties derived from 2-cyanoacetamide-3,4,5-substituted thiophene as human carcinoma growth inhibitors. *Journal of Molecular Structure*. 2020. No. 1215. P. 128270. DOI: https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128270.

4. He X., Yang, C., Wu, Y., et al. Synthesis of unsymmetrical urea derivatives via one-pot sequential three-component reactions of cyclic 2-diazo-1,3-diketones, carbodiimides, and 1,2-dihaloethanes. *Organic & biomolecular chemistry.* 2020. No. 18(22). P. 4178–4182. DOI: https://doi.org/10.1039/d0ob00683a.

5. Monika Wałęsa-Chorab, Skene W. G. Engaging the Reversible Bonds of an Immobilized Styreno-Thiophene Film. *Cryst. Growth Des*. 2020. No. 20(9). P. 5688–5697. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b01235.

6. Rizak G. V. Search for biologically active substances using the example of 2.4-dioxo- and 4-imino-2-oxo-3-phenyl-5-R-6-R`-thieno[2.3-d]pyrimidines, prospects for their usein pharmacy and medicine. *Azerbaijan Pharmaceutic al Pharmacotherapy Journal*. 2023. No. 23(1). P. 29–46.

7. Власова О. Д., Власов С. В., Кабачний В. І., Власов В. С. Синтез, перетворення та біологічна активність похідних тієно[2,3-d]піримідину з карбоксильними замісниками в піримідиновому ядрі. *Журнал органічної та фармацевтичної хімії.* 2020. № 4 (72). С. 4–17. DOI: https://doi.org/10.24959/ophcj.20.209835.

8. Ay E. Synthesis of new 1,2,3-triazolo-nucleoside analogues with 2-propargylamino pyrimidines via click reactions. *Nucleosides, nucleotides, nucleic acids*. 2023. No. 42(3). P. 191–205. DOI: https://doi.org/10.1080/15257770.2022.2118317.

9. Monier M., El-Mekabaty A., Abdel-Latif D., et al. Heterocyclic steroids: Efficient routes for annulation of pentacyclic steroidal pyrimidines. *Steroids*. 2020. No. 154. P. 108548. DOI: https://doi.org/10.1016/j.steroids.2019.108548.

REFERENCES:

1. El-Metwally, S. A., Abou-El-Regal. M. M., Eissa, I. H., Mehany, A. B. M., Mahdy, H. A., Elkady, H., Elwan, A., & Elkaeed, E. B. (2021). Discovery of thieno[2,3-d]pyrimidine-based derivatives as potent VEGFR-2 kinase inhibitors and anti-cancer agents. *Bioorganic chemistry*, 112, 104947.

2. Dastyafteh, N., Noori, M., Nazari Montazer, M., Zomorodian, K., Yazdanpanah, S., Iraji, A., Khalili Ghomi, M., Javanshir, S., Asadi, M., Dianatpour, M., Biglar, M., Larijani, B., Amanlou, M., & Mahdavi, M. (2023). New thioxothiazolidinyl-acetamides derivatives as potent urease inhibitors: design, synthesis, in vitro inhibition, and molecular dynamic simulation. *Scientific reports*, *13*(1), 21.

3. Mohamed E. Khalifa. Synthesis and molecular modeling of novel bio-functional moieties derived from 2-cyanoacetamide-3,4,5-substituted thiophene as human carcinoma growth inhibitors. *Journal of Molecular Structure*, 1215, 128270.

4. He, X., Yang, C., Wu, Y., Xie, M., Li, R., Duan, J., & Shang, Y. (2020). Synthesis of unsymmetrical urea derivatives via one-pot sequential three-component reactions of cyclic 2-diazo-1,3-diketones, carbodiimides, and 1,2-dihaloethanes. *Organic & biomolecular chemistry*, *18*(22), 4178–4182.

5. Monika Wałęsa-Chorab & Skene, W. G. (2020). Engaging the Reversible Bonds of an Immobilized Styreno-Thiophene Film. *Cryst. Growth Des*, 20 (9), 5688–5697.

6. Rizak, G.V. (2023) Search for biologically active substances using the example of 2.4-dioxo- and 4-imino-2-oxo-3-phenyl-5-R-6-R`-thieno[2.3-d]pyrimidines, prospects for their usein pharmacy and medicine. *Azerbaijan Pharmaceutic al & Pharmacotherapy Journal*, 23 (1), 29–46.

7. Vlasova, O. D., Vlasov, S. V., Kabachnyy, V. I., & Vlasov V. S. (2020). Syntez, peretvorennia ta biolohichna aktyvnist pokhidnykh tiieno[2,3-d]pirymidynu z karboksylnymy zamisnykamy v pirymidynovomu yadri [National University of Pharmacy of the Ministry of Health of Ukraine. The synthesis, transformations and biological activity of thieno[2,3-d]pyrimidine derivatives with the carboxylic groups as the substituents in the pyrimidine ring*]. Zhurnal orhanichnoi ta farmatsevtychnoi khimii.* 4(72), 4–17. [in Ukrainian].

8. Ay, E. (2023). Synthesis of new 1,2,3-triazolo-nucleoside analogues with 2-propargylamino pyrimidines via click reactions. *Nucleosides, nucleotides & nucleic acids*, 42(3), 191–205.

9. Monier, M., El-Mekabaty, A., Abdel-Latif, D., Doğru Mert, B., & Elattar, K. M. (2020). Heterocyclic steroids: Efficient routes for annulation of pentacyclic steroidal pyrimidines. *Steroids*, 154, 108548.

ЕКОЛОГІЯ

УДК 574.5:556.531.4
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-4

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

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

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

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

Бібліографічний опис статті: Лавринюк, З., Караїм, О., Гулай, Л. Джам, О. (2024). Гідрохімічний аналіз та раціональне використання природних вод річки Михайлівки. *Проблеми хімії та сталого розвитку,* 1, 26–31, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-4

ГІДРОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ ВОД РІЧКИ МИХАЙЛІВКИ

Контроль над раціональним використанням природних вод, моніторинг екологічного стану басейну та хімічного складу води малої річки Михайлівки, в тому числі гідрохімічних показників якості води, що є частиною загального екологічного аналізу стану води у даній водоймі є актуальним в умовах зростаючого антропогенного навантаження.

Дослідження проведено на основі матеріалів обстеження стану басейну річки Михайлівки, методами збору та аналізу статистичної інформації, потенціометричного та фотометричного аналізів визначення вмісту сполук нітрогену та фосфору.

Михайлівка – річка у Сарненському районі, Рівненської області. Ліва притока Случа, басейн Прип'яті. Довжина 33 км. Площа водозбору – 128 км^2, витікає з болотного масиву за 4 км на схід від села Тутовичі. Тече переважно на північний схід: у Тутовичах, Ремчицях, Любиковичах, Стрільську. Впадає в р. Случ в с. Стрільську. Річище має по всій протяжності випрямлене і перетворене на магістральний канал осушувальної системи. Заплава заболочена, широка. Похил річки 0,53 м/км.

Нами здійснено відбір серії проб для дослідження гідрохімічних показників поверхневих вод річки Михайлівка у чотири сезони (зима, весна, літо, осінь) 2021–2022 рр. у трьох створах: 1 – у верній течії річки (с. Тутовичі); 2 – біля с. Ремчиці, у середній течії річки, 3 – біля с. Стрільськ у нижній течії річки.

На основі проведених досліджень встановлено, що якість води у водоймі є задовільною. Нами зафіксовано перевищення концентрації фосфору. Встановлено, що водні ресурси на даний час використовуються помірно. В основному здійснюється забір води для культурно побутового використання та рибного господарства. Пере-

вищення норм інших гідрохімічних показників не зафіксовано. Екологічний стан басейну річки Михайлівки є задовільним.

Ключові слова: *річка Михайлівка, поверхневі води, екологічний стан, гідрохімічні показники, раціональне використання, управління водними ресурсами.*

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

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

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

Olena DZHAM
PhD of Chemistry, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025
ORCID*: 0000-0002-6602-2929*

To cite this article: Lavrinyuk, Z., Karaim, O., Gulay, L., Dzham, O. (2024). Hidrokhimichnyi analiz ta ratsionalne vykorystannia pryrodnykh vod richky Mykhailivky [Hydrochemical analysis and rational use of the natural waters of the Mykhailivka River]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development,* 1, 26–31, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-4

HYDROCHEMICAL ANALYSIS AND RATIONAL USE OF THE NATURAL WATERS OF THE MYKHAILIVKA RIVER

Control over the rational use of natural waters, monitoring the ecological state of the basinand the chemical composition oft he water of the small Mykhailivka River, including hydrochemical indicator soft water quality, that is part of the general ecological analysis of the state of water in this reservoir, is relevantin the conditions of growing anthropogenic load.

The research was carried out on the basis of the material sof the survey of the state of the Mykhailivka River basin, the methods of collecting and analyzing statistical information, potentiometric and photometric analyzes of determining the content of nitrogen and phosphorus compounds.

Mykhailivka is a river in the Sarnen district, Rivne region. Left tributary of the Sluch River, the Pripyat Riverbasin. The lengt his 33 km. The water catchmentareais 128 km2, it flows out of the swamp massif 4 kmaway, to the east of the village of Tutovichi. It flows to the northeast: inTutovychy, Remchytsy, Lyubikovychy, Strilsk. It flows into the Sluch river in the village of Strelska. The river has been straightened along its entire length and transformed into the main channel of the drainage system. The floodplain is swampy and wide. The slope of the riveris 0.53 m/km.

Wetook a series of samples for the study of hydrochemicalin dicators of the surface water sof the Mykhailivka Riverin four seasons (winter, spring, summer, autumn) of 2021–2022 years in three areas (1 – in the upstream of the river (Tutovychi village), 2 – near the village Remchitsi in the middle course of the river, 3 – nearthe village of Strilsk in the lower course of the river).

Based on the conducted research, it was established that the water quality in the reservoiris satisfactory. We recorded an excess of phosphorus concentration. It has been established that water resources are currently being used sparingly. Water is mainly taken for cultural domesticuse and fish farming. Exceeding the norms of hydrochemical parameters was not recorded. The ecological condition of the Mykhailivka river basinis satisfactory.

Key words: *Mykhailivka river, surface waters, ecological condition, hydrochemical parameters, rational use, water resources management.*

Актуальність проблеми. Антропогенне навантаження на малі річки, що визначається у інтенсивному природокористуванні, призвело до значного виснаження водних ресурсів, погіршення екологічного стану окремих водних об'єктів (Вишневський В, 2000). Басейн річки Михайлівка під впливом цього фактору зазнав досить значних змін. Моніторинг екологічного стану басейну та хімічного складу води малої річки Михайлівка, в тому числі гідрохімічних показників якості води, що є частиною загального екологічного аналізу стану води у даній водоймі є актуальним, саме оцінка якості поверхневих вод дає можливість оцінити результат сукупного впливу природних та антропогенних факторів на екологічний стан річки, а також контролювати шкідливий антропогенний вплив, якщо такий присутній.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемою якості поверхневих вод та їх екологічної оцінки займались автори (Яцик, 2006, Гопчак, 2006, Лавринюк, 2021, Караїм, 2021, Гулай, 2022) у контексті порівняння результатів сучасного стану якості води річок з екологічними нормативами. Раціональному використанню та збереженню водних ресурсів присвячені роботи авторів (Караїм, 2022). Проте дослідженню екологічного стану басейну річки Михайлівки та якості природних вод не було приділено достатньо уваги.

Метою роботи є аналіз екологічного стану басейну та оцінка якості поверхневих вод малої річки Михайлівка в межах Сарненського району Рівненської області.

Виклад основного матеріалу дослідження. Михайлівка – річка у Сарненському районі, Рівненської області. Ліва притока Случа, басейн Прип'яті. Довжина 33 км. Площа водозбору – 128 км^2, витікає з болотного масиву за 4 км. на схід від села Тутовичі. Тече переважно на північний схід: у Тутовичах, Ремчицях, Любиковичах, Стрільську. Впадає в р. Случ в с. Стрільську. Річище має по всій протяжності випрямлене і перетворене на магістральний канал осушувальної системи. Заплава заболочена, широка. Похил річки 0,53 м/км.

Притоки річки – невеликі потічки та меліоративні канали. У басейні річки на території району розташована осушувальна система «Яринівка» – 4876 га, ставок у с. Любиковичах. Біля с. Яринівка здійснюється кріплення берегів – 0,9 км. Річку перетинають автодороги: Стрільськ – Любиковичі, Сарни – Яринівка; залізнична колія Сарни – Дубровиця. На річці розташовані мости: с. Яринівка, с. Стрільськ; шлюзи: с. Яринівка, с. Стрільськ.

Річка Михайлівка відноситься до річок з мішаним типом живлення з переважанням снігового, оскільки на талі снігові води припадає близько 60–70 % річкового стоку. Решта стоку припадає на дощове і підземне живлення.

Клімат Сарненського району помірноконтинентальний, з перемінними пересічними температурами та невеликою кількістю опадів. На корисні копалини район небагатий; тут переважають нерудні їх види: торф, бурштин, граніт.

Щодо рослинного та тваринного світу то басейн річки характеризується наявністю представників Зеленої книги: високобонітетні насадження дуба звичайного, сосни, та сосново-дубові насадження. Представники Червоної книги України: булатка червона, черевички зозулині справжні, зозулинець саленовий, зозулинець шоломоносний, плаун колючий, корячка болотна, корячка морозниковидна, лілія лісова, любка дволиста.

Територія басейну річки Михайлівки характеризується переважно рівнинною місцевістю, розташована на схилах українського щита (тектонічна будова) та за геологічною будовою району відноситься до мезозойської групи та крейдової системи: крейда, піски, пісковини, глини. Ґрунти – дерново-підзолисті, та в басейні р. Случ – лучно-болотні.

Землі басейну річки Михайлівки активно використовуються, в основному як рілля, пасовища та сіножаті.

Нами здійснено відбір серії проб для дослідження гідрохімічних показників поверхневих вод річки Михайлівка у чотири сезони (зима, весна, літо, осінь) 2021–2022 рр. у трьох створах: 1 – у верхній течії річки (с. Тутовичі), 2 – біля с. Ремчиці у середній течії річки, 3 – біля с. Стрільськ у нижній течії річки. Аналіз проб проводили у лабораторії не пізніше 12 годин після відбору. Консервування проб не проводилось (Кукурудза, 1990, Набиванець, 2002). Вміст йонів амонію та нітрит-йонів та фосфору визначали фотометричним методом відповідно до (КНД 211.1.4.023-95, КНД 211.1.4.030). Вміст нітратів у воді визначали

Таблиця 1

Характеристика басейну річки Михайлівка

№	Показник	Значення	
		км^2	%
1	Площа басейну річки	128 км^2	100
2	Сільськогосподарські землі: рілля сіножаті пасовища	 51 34 27	 39,84 26,58 21,09
3	Ліси Заповідні території	14 2	10,93 1,57

Таблиця 2

Основні гідрохімічні показники якості води річки Михайлівка на час обстеження

Показники якості води	Розмірність	Створ 1	Створ 2	Створ 3
Мінералізація Головні іони: HCO_3^- SO_4^{2-} Cl^- Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+,K^+	мг/л	282,82 155,35 27,40 15,00 40,10 6,08 13,01	291,93 160,75 40,00 15,06 42,09 13,38 13,11	300,6 163,45 46,20 17,02 46,08 13,90 19,55
Загальна жорсткість	мг-екв/л	2,60	3,40	2,90
Завислі речовини	мг/л	24,60	28,80	45,04
Біогенні компоненти: Азот амонійний NH_4^+ Азот нітритний NO_2^- Азот нітратний NO_3^- Залізо загальне Fe Фосфор загальний P	мг/л	 1,03 0,016 0,63 0,3 0, 01	 1,30 0,056 0, 65 0,3 0,10	 1,70 0,056 0, 67 0,30 0, 40

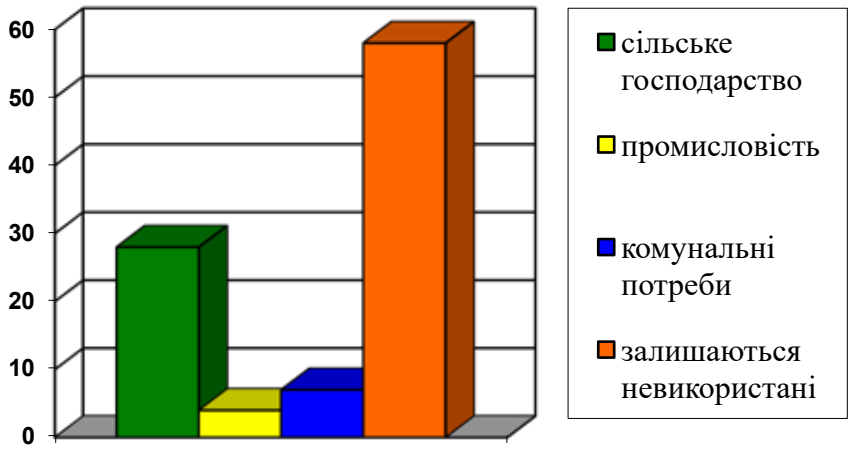


Рис. 1. Діаграма використання водних ресурсів річки Михайлівка

потенціометричним методом. Усереднені результати подані у табл. 2.

Перевищення зафіксовано нами у створах 2 і 3 по загальному фосфору. Відповідно до показника загального фосфору вода річки Михайлівки є II класу якості. Це означає, що вода помірно забруднена, може умовно використовуватись для зрошування, рибальства та купання, але є непридатною для інших цілей.

Освоєність басейну річки невисока. Використання водних ресурсів галузями народного господарства у (%): 28 % – на сільське господарство; 11 % – промисловість; 3 % – комунальні потреби; 58 % – залишаються не використаними (рис. 1)..

Висновки та перспективи подальших досліджень. Встановлено, що більшість гідрохімічних показників води річки Михайлівки за досліджуваний період знаходяться у межах норми. Використання водних ресурсів на даний час помірне. Зафіксовано перевищення норми загального фосфору. Це є свідченням забрудненості водойми. Отже, під дією антропогенних факторів відбувається незначне погіршення екологічного стану басейну річки. Помітно підвищується вміст біогенних речовин у воді річки від витоку до впадання у річку Случ, хоч показники цих речовин знаходяться в межах норми, постійний контроль за якістю поверхневих вод річки є необхідністю.

Для покращення екологічного стану басейну річки Михайлівка та якості поверхневих вод річки потрібно провести ряд природоохоронних заходів, зокрема: проведення еколого-освітніх акцій з жителями довколишніх населених пунктів; контроль господарської діяльності місцевими органами виконавчої влади згідно з чинним законодавством, участь у цьому громадськості; нормування (обмеження) випасу худоби і птиці у безпосередній близькості до русла річки; підтримання відновлення лісових або чагарникових насаджень; викошування надмірної кількості водної рослинності; дотримання екологічного режиму використання водоохоронної зони.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вишневський В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ, 2000. 376 с.
2. Яцик А.В., Гопчак И.В. Екологічна оцінка стану поверхневих вод Волинської області та нормування їх якості. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* Київ: ВГЛ Обрій. 2006. 10.С 129–135
3. Гопчак І.В. Порівняння результатів екологічної оцінки сучасного стану якості води річок Волинської області з екологічними нормативами. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* Київ: ВГЛ Обрій. 2006. 9.С 148–156.
4. Лавринюк З.В., Юрченко О.М., Караїм О.А. Гідрохімічний аналіз якості поверхневих вод річки Бистряк Любомльського району Волинської області. *Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології* : матеріали І Міжнар. наук. конф., Луцьк, 12–14 травня 2021 р. Луцьк : ВНУ імені Лесі Українки, 2021. С. 193–195.
5. 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. https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-4
6. 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
7. Кукурудза С.І, Гурій С.М. Аналіз якості природних вод. Львів, 1990. 90 с.
8. Набиванець Б.І., Сухан В.В., Калабша Л.В. Аналітична хімія природного середовища. К.: Либідь, 2002. 304 с.
9. КНД 211.1.4.023-95. Методика визначення нітрит-йонів з реактивом Гріса в поверхневих та очищених стічних водах. Київ, 1995. 11 с.
10. КНД 211.1.4.030. Методика визначення амоній-іонів з реактивом Неслера в стічних водах. Київ, 1995. 16 с.

REFERENCES:

1. Vishnevsky, V.I. (2000). Rihku ta vodoimu Ukrainu.Stan i vukorustana. [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use.] Kyiv: Vipol [in Ukrainian].
2. Jacik, A.V., & Gopchak, I.V. (2006). Ekolohichna otsinka stanu poverkhnevykh vod Volyns′koyi oblasti ta normuvannya yikh yakosti. [Ecological assessment of the state of surface waters of Volyn region and standardization of their quality]. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. Kyiv: VGL Obrij. 10, 129–135 [in Ukrainian].
3. Gopchak, I.V. (2006). Porivnyannya rezul′tativ ekolohichnoyi otsinky suchasnoho stanu yakosti vody richok Volyns′koyi oblasti z ekolohichnymy normatyvamy [Comparison of the results of ecological assessment of the current state of water quality of rivers of Volyn region with ecological standards]. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. Kyiv: VGL Obrij. 9, 148–156 [in Ukrainian].
4. Lavrynyuk, Z.V., Yurchenko, O.M., & Karaim, O.A. (2021). Hidrokhimichnyy analiz yakosti poverkhnevykh vod richky Bystryak Lyuboml′s′koho rayonu Volyns′koyi oblasti [Hydrochemical analysis of the surface water quality of the Bystryak river, Lyuboml district, Volyn region]. Proceedings of I International Scientific Conference "Current problems of chemistry, materials science and ecology" are represented. Lutsk, May 12-14. Lutsk: Lesya Ukrainka Volyn National University. (pp. 193–195) [in Ukrainian].
5. Lavryniuk, Z., Karaim, O., & Gulay, L. (2021). Hidrokhimichnyi analiz ta osoblyvosti vykorystannia poverkhnevykh 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].

6. Karaim, O., Akhnyuk, M., Lavrynyuk, Z., Dzham, O., & Gulay, L. (2022). Hidrokhimichnyi analiz poverkhnevykh 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].

7. Kukurudza, S.I., & Guriy, S.M. (1990). Analiz yakosti pryrodnykh vod. L′viv. [Analysis of natural water quality]. Lviv [in Ukrainian].

8. Nabyvanets, B.I., Sukhan, V.V., & Kalabsha, L.V. (2002). Analitychna khimiya pryrodnoho seredovyshcha [Analytical chemistry of the natural environment]. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].

9. KND 211.1.4.023-95. Metodyka vyznachennya nitryt-yoniv z reaktyvom Hrisa v poverkhnevykh ta ochyshchenykh stichnykh vodakh [Method of determination of nitrite-ions with Gris reagent in surface and treated waste water]. Kyiv: 1995. 11 p. [in Ukrainian].

10. KND 211.1.4.030. Metodyka vyznachennya amoniy-ioniv z reaktyvom Neslera v stichnykh vodakh [Method of determination of ammonium-ions with Nessler's reagent in waste water]. Kyiv: 1995. 16 p [in Ukrainian].

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ. ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

УДК 613.6
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-5

Вікторія ВАЩУК
кандидат технічних наук, асистент кафедри безпеки життєдіяльності, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Дорошенка, 41, м. Львів, Україна, 79000
ORCID: *0000-0002-5344-3820*

Соломія ПИСАРЕВСЬКА
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки життєдіяльності, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Дорошенка, 41, м. Львів, Україна, 79000
ORCID: *0000-0003-4043-1692*

Зіновій ЯРЕМКО
доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Дорошенка, 41, м. Львів, Україна, 79000
ORCID: *0000-0001-8508-7763*

Бібліографічний опис статті: Ващук, В., Писаревська, С., Яремко, З. (2024). Усвідомлення молоддю екологічних наслідків війни рф проти України. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 32–37, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-5

УСВІДОМЛЕННЯ МОЛОДДЮ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІЙНИ РФ ПРОТИ УКРАЇНИ

Повномасштабне вторгнення рф до України з 24 лютого 2022 року завдало і продовжує завдавати величезної шкоди не лише людям та інфраструктурі населених пунктів, де тривають бойові дії, але й навколишньому природному середовищу не тільки України, а й сусідніх країн та клімату Землі в цілому. Ці згубні наслідки для довкілля матимуть не лише короткостроковий, а й довгостроковий ефект. Тому важливим моментом є усвідомлення населенням згубного впливу результатів бойових дій на екологічний стан нашої країни, бо воно сприятиме швидшому відновленню навколишнього природного середовища після закінчення війни.

Проведено опитування студентів різних напрямів підготовки щодо їхнього усвідомлення та сприйняття екологічних наслідків війни в Україні. Переважна більшість студентів вказує, що війна перш за все вплинула негативно на їхній психологічний стан, проте окремі студенти стверджують, що війна ніяк не вплинула на них. Критичними наслідками війни студенти назвали можливість радіоактивного забруднення території України внаслідок можливого обстрілу Запорізької АЕС, а також мінування значної території нашої країни. Студенти недооцінюють згубний вплив забруднення атмосферного повітря, хоча за моніторинговими даними розраховані збитки від забруднення повітря значно переважають усі інші збитки.

В більшості опитані студенти вважають, що інформування населення щодо екологічних наслідків війни є недостатнім. Тому ефективну систему моніторингу стану довкілля, яка б дозволила зафіксувати фактичний обсяг завданої шкоди довкіллю, важливо доповнити підвищенням рівня усвідомлення населенням реального екологічного стану з метою запровадження найефективніших заходів, щоб уникнути подальшого погіршення ситуації та відновлення екосистем до безпечного стану як для людини, так і для дикої природи.

Ключові слова: *війна, екологічні наслідки, забруднення довкілля, шкода здоров'ю, усвідомлення небезпек, відновлення екосистем.*

Victoriya VASHCHUK
Candidate of Technical Sciences, assistant of the Life Safety Department, Ivan Franko Lviv National University, 41 Doroshenko str., Lviv, Ukraine, 79000
ORCID: *0000-0002-5344-3820*

Solomiya PISAREVSKA
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Life Safety Department, Ivan Franko Lviv National University, 41 Doroshenko str., Lviv, Ukraine, 79000,
ORCID: *0000-0003-4043-1692*

Zinoviy YAREMKO
Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Life Safety Department, Ivan Franko Lviv National University, 41 Doroshenko str., Lviv, Ukraine, 79000,
ORCID: *0000-0001-8508-7763*

https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-5

To cite this article: Vashchuk, V., Pysarevska, S., Yaremko, Z. (2024). Usvidomlennia moloddiu ekolohichnykh naslidkiv viiny rf proty Ukrainy [Youth awareness of the environmental consequences of the war of russia against Ukraine]. Problems of Chemistry and Sustainable Development, 1, 32–37, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-5

YOUTH AWARENESS OF THE ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF THE WAR OF RUSSIA AGAINST UKRAINE

The full-scale invasion of the russian federation into Ukraine since February 24, 2022 caused and continues to cause enormous damage not only to people and the infrastructure of settlements where hostilities continue, but also to the surrounding natural environment of Ukraine and neighboring countries and the climate of the Earth. These detrimental effects on the environment will not only have short-term but also long-term effects. Therefore, it is an important moment for the population to be aware of the harmful impact of the results of hostilities on the ecological state of our country, because it will contribute to the faster restoration of the natural environment after the end of the war.

A survey of students of various fields of training was conducted regarding their awareness and perception of the environmental consequences of the war in Ukraine. The vast majority of students indicate that the war first of all had a negative effect on their psychological state, but some students claim that the war did not affect them in any way. The students named the possibility of radioactive contamination of the territory of Ukraine as a result of the possible shelling of the Zaporizhzhia NPP, as well as the mining of a significant territory of our country, as critical consequences of the war. Students underestimate the harmful effects of atmospheric air pollution, although, according to monitoring data, the calculated damages from air pollution significantly outweigh all other damages.

Most of the surveyed students believe that informing the population about the environmental consequences of the war is insufficient. Therefore, it is important to supplement an effective system of monitoring the state of the environment, which would allow recording the actual amount of damage to the environment, by increasing the level of awareness of the population of the real ecological state in order to introduce the most effective measures to avoid further deterioration of the situation and restore ecosystems to a safe state for humans and wild nature.

Key words: *war, ecological consequences, environmental pollution, harm to health, awareness of dangers, restoration of ecosystems.*

Мета цього дослідження полягає в оцінюванні рівня усвідомлення молоддю можливих змін екологічного стану території України внаслідок бойових дій.

Об'єктом дослідження є зміни стану навколишнього природного середовища України внаслідок бойових дій.

Предмет дослідження – усвідомлення молоддю негативного впливу результатів бойових дій на екологічний стан нашої країни.

Війна вплинула на кожний компонент довкілля – тваринний і рослинний світ, воду, повітря, ґрунт. Наслідки цього негативного впливу будуть довгостроковими та матимуть не лише локальний, а й глобальний характер.

З початку повномасштабного вторгнення проводиться розрахунок збитків, завданих довкіллю. На сьогодні вони становлять понад 2 трильйона гривень. Задокументовано більше 2500 випадків впливу на навколишнє середовище. Це стосується руйнування заповідників, забруднення води, мінування полів, випалених лісів тощо. Загальна сума розрахованих збитків внаслідок забруднення атмосферного повітря становить 29,2 млрд доларів, землі – 24,6 млрд доларів, водних ресурсів – 1,6 млрд доларів. Загалом в Україні знаходиться 527 тисяч тонн відходів від знищеної російської техніки, а також зафіксовано 55,9 тис. тонн викидів шкідливих речовин в атмосферу

(Мультимедійна платформа іномовлення України, 2023).

Викиди від зруйнованої російської техніки складають 56 тис. тонн. Це як дві статуї Свободи, перетворені на пил і викинуті в атмосферу. Втрати сільського господарства внаслідок війни: спалені поля, знищена та розкрадена техніка тощо – 8,7 млрд доларів. Викиди парникових газів через війну – 119,1 млн тон CO^2 в еквіваленті. Це як у мирній Бельгії! 49 шахт на Донбасі затоплені і більше не зможуть працювати. 30 % території України заміновано і знадобиться біля 30 років для її повного розмінування (Top Lead Projects, 2023).

Внаслідок російських ударів по нафтобазах, складах паливно-мастильних матеріалів згоріло понад 680,6 тисячі тонн нафтопродуктів, які забруднили повітря небезпечними речовинами. За підрахунками екологів, під час горіння нафти виділяється приблизно стільки ж атмосферного забруднення, скільки виробляє весь транспорт Києва за місяць (Аналітичний портал «Слово і діло», 2022).

Внаслідок загарбницьких дій російських військ склалася загроза радіаційній безпеці України. Всі українські реактори знаходяться в зоні ризику, адже обстріл або ракетна атака на активну зону одного або кількох із 15 реакторів чотирьох діючих атомних електростанцій України може призвести до широкомасштабної ядерної катастрофи. Крім того, захоплення атомних станцій російськими військовими несе значну загрозу радіаційної катастрофи, як унаслідок аварій на об'єктах зони промислового використання, так і внаслідок підпалів лісів і перелогів, які накопичили значну кількість радіонуклідів. Зокрема мова йде про Чорнобильську АЕС. Хоча на цей момент у зоні бойових дій залишається лише Запорізька АЕС, ризик повторення вказаних ситуацій або виникнення нових, не менш загрозливих, залишається високим (Інститут всесвітньої історії НАН України, 2022).

Ракетні обстріли призводять до масштабних пожеж на об'єктах критичної інфраструктури, спричиняють забруднення навколишнього середовища, у такий спосіб зменшуючи популяції видів рослин та тварин. Металеві уламки снарядів, що потрапляють у довкілля, також не є безпечними та цілковито інертними. Чавун із домішками сталі є найпоширенішим матеріалом для виробництва оболонки боєприпасів та містить у своєму складі не тільки стандартні залізо та вуглець, а й сірку та мідь. Ці речовини потрапляють до ґрунту і можуть мігрувати до ґрунтових вод і в результаті потрапляти до харчових ланцюгів, впливаючи і на тварин, і на людей (Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2022).

Згідно з даними системи Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів «Екозагроза», найбільшої шкоди внаслідок воєнних дій завдається саме атмосферному повітрю. Стан повітря погіршується через бойові дії у прямий та непрямий способи. Прямий вплив бойових дій – це детонування снарядів, використання артилерійської зброї та авіабомб. У деяких випадках ці ракети влучали в українські склади боєприпасів, які теж детонували. Від таких вибухів в атмосферне повітря викидаються свинець, сажа, вуглець й інші шкідливі речовини. А залишки снарядів містять сірку, мідь, залізо та вуглець і потрапляючи в ґрунт вони забруднюють воду, а згодом отруюють людей і тварин (SaveDnipro, 2022).

Особливе занепокоєння викликає надзвичайна ситуація через терористичний акт рф на Каховській ГЕС. Згідно з даними Державної екологічної інспекції, у пробах, які були відібрані 13 червня 2023 року, були встановлені перевищення гранично допустимих органічних речовин за показником біологічне споживання кисню (БСК5) у р. Інгулець – в 1,87 рази, у р. Дніпро – у 2,4 рази. Для середовищ існування водних біоресурсів є важливим вміст розчиненого у воді кисню. Адже його недостатність може призвести до явищ задухи та заморів риби. Так, станом на 19 червня 2023 року відзначається відхилення від норми показників вмісту розчиненого кисню, яке становить не менше 4 мг/дм^3, у воді р. Дніпро в межах м. Запоріжжя – від 3,84 мг/дм^3 до 3,57 мг/дм^3, а також в р. Інгулець – 3,70 мг/дм^3 (Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2023).

Затяжні наслідки, які відчуває населення, включають захворювання легень та різні види раку через вдихання важких металів і канцерогенів, що містяться у вибухових речовинах, а також в уламках обстріляних будівель. Азбест,

який все ще присутній у структурах будівель, що руйнуються внаслідок бомбардувань, може викликати ряд захворювань, починаючи від утрудненого дихання і закінчуючи раком легень, шлунку, репродуктивних та інших органів. До того ж, використання звичайної зброї та пожежі, спричинені бойовими діями, вибухи та руйнування будівель разом із риттям тунелів і траншей спричиняють величезне зростання твердих часток (PM). У зоні бойових дій забруднене повітря, може призвести до більшої кількості смертей, ніж бомби. Зростання концентрації твердих частинок PM2,5 збільшує ризик серцево-судинних та респіраторних захворювань. При цьому не враховується той факт, що під час війни в Україні населення зазнає впливу інших джерел забруднення повітря.

Нами було проведено опитування студентів щодо їхнього усвідомлення та сприйняття екологічних наслідків війни в Україні (рис. 1). Найкритичнішим наслідком війни в Україні, на думку студентів, є можливі обстріли атомних електростанцій, зокрема Запорізької АЕС (40 % опитаних), на друге місце студенти поставили радіоактивне зараження навколишнього середовища (32 % опитаних). Також небезпечним наслідком війни студенти вбачають мінування території України (12 % опитаних), але недооцінюють забруднення атмосферного повітря (тільки 2 % опитаних), хоча розраховані збитки від забруднення повітря значно переважають усі інші збитки.

77 % опитаних студентів стверджують, що війна в Україні вплинула на них, першочергово, психологічно, в той же час 9 % опитаних студентів вважає, що війна ніяк не вплинула на них (рис. 2).

Майже половина опитаних студентів на питання «Чи достатнім є рівень інформування населення щодо екологічних наслідків війни?» дала відповідь – недостатній: 23 % відповіли – «ні», а 40 % – «скоріше ні» (рис. 3).

Висновки. За даними моніторингу екологічної ситуації в Україні воєнні дії завдали шкоди усім без винятку об’єктам довкілля і країну чекає довгий шлях відновлення навколишнього природного середовища після закінчення цієї війни, оскільки це зруйновані екосистеми, забруднені ліси, поля, річки та моря, зменшення біорізноманіття, зростання кількості шкідників. Крім того, відбудова країни потребуватиме значної кількості природних ресурсів.

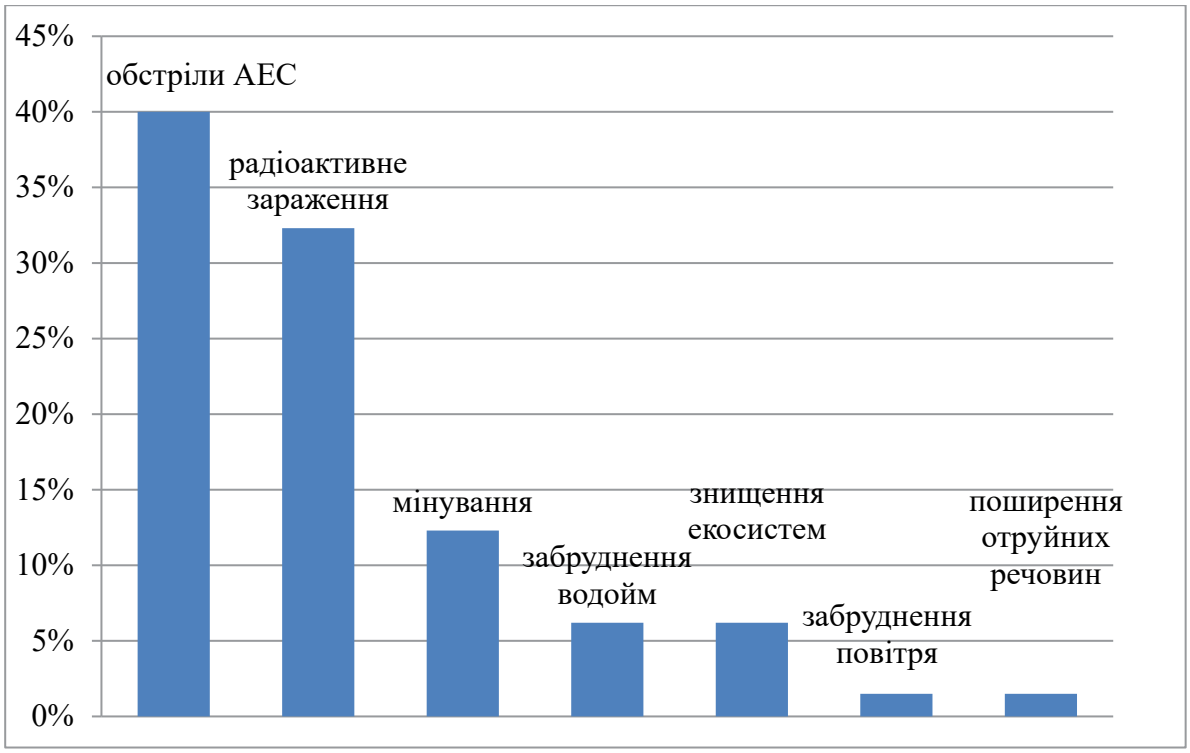


Рис. 1. Результати опитування студентів щодо небезпеки воєнних дій

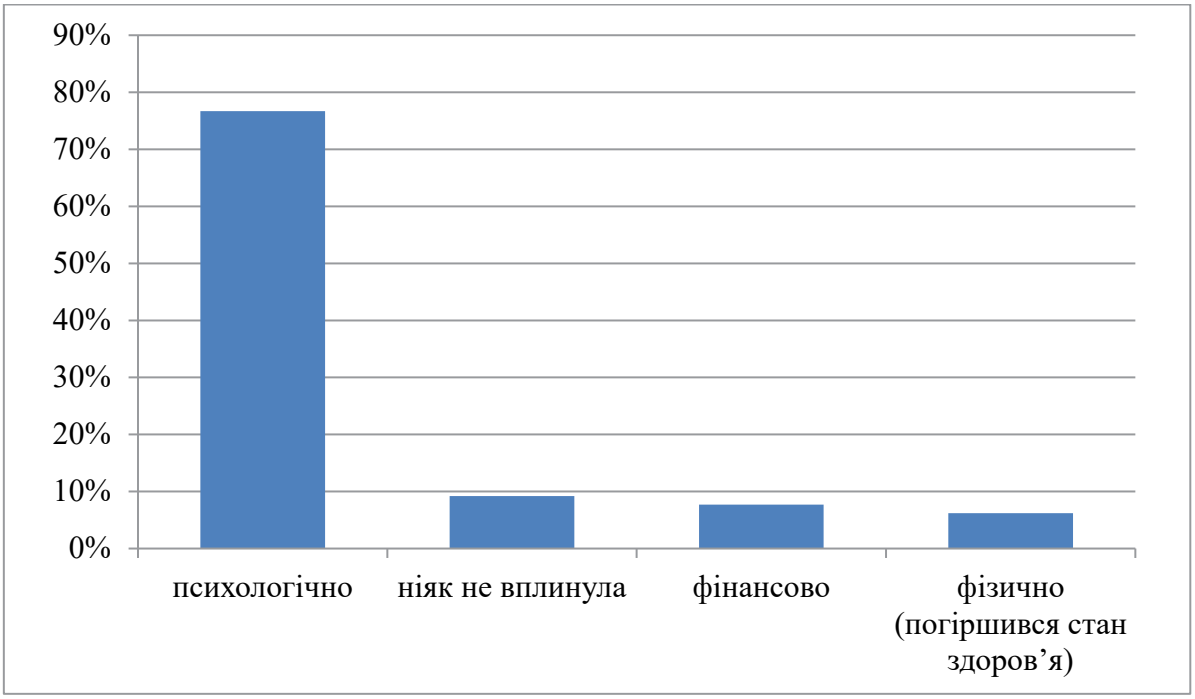


Рис. 2. Результати опитування студентів щодо впливу на них воєнних дій

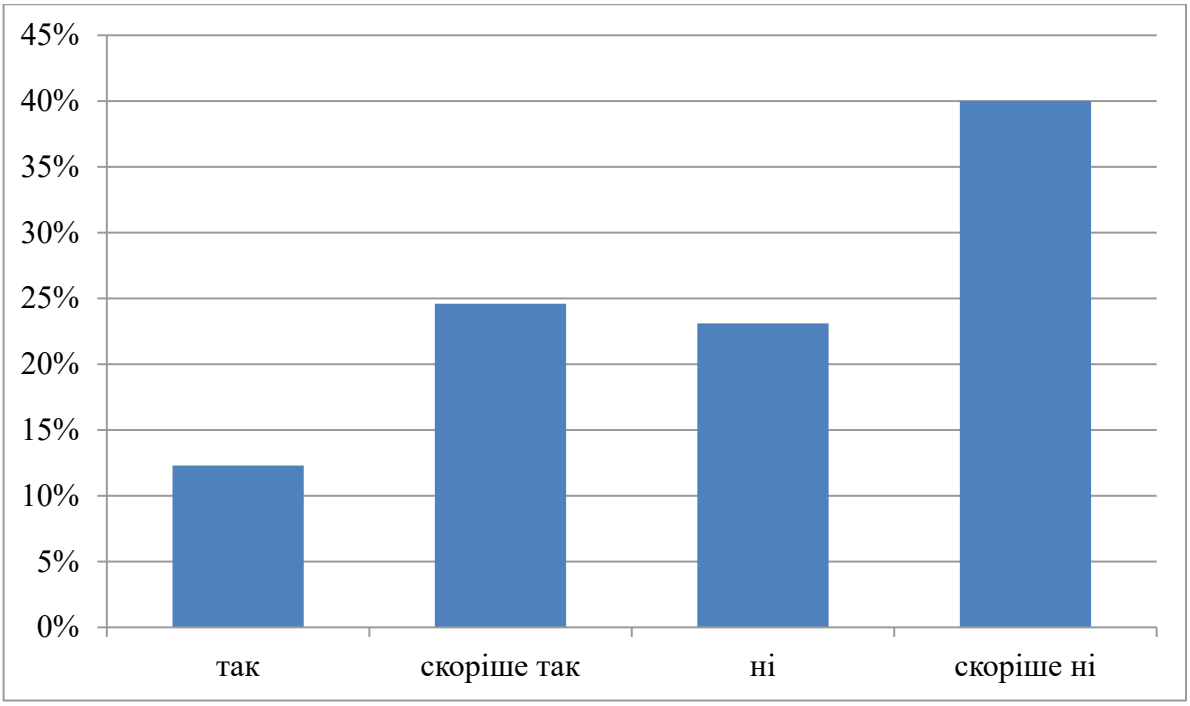


Рис. 3. Результати опитування студентів щодо достатності інформування населення про екологічні наслідки війни

Ефективну систему моніторингу стану довкілля, яка б дозволила зафіксувати фактичний обсяг завданої шкоди довкіллю, важливо доповнити підвищенням рівня усвідомлення населенням реального екологічного стану з метою запровадження найефективніших заходів, щоб уникнути подальшого погіршення ситуації та відновлення екосистем до безпечного стану як для людини, так і для дикої природи.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Війна з Росією: збитки довкіллю в Україні перевищили 2 трильйони гривень. *Мультимедійна платформа іномовлення України :* веб-сайт. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3738398-vijna-z-rosieu-zbitki-dovkillu-v-ukraini-perevisili-2-triljoni-griven.html (дата звернення: 24 серпня 2023).

2. Вплив воєнних дій на якість повітря в Україні. *SaveDnipro* : веб-сайт. URL: https://www.savednipro.org/vpliv-voyennix-dij-na-yakist-povitrya-v-ukrayini/ (дата звернення: 11 листопада 2022).

3. Екологічні наслідки війни Росії проти України. *Інститут всесвітньої історії НАН України :* веб-сайт. URL: https://ivinas.gov.ua/viina-rf-proty-ukrainy/ekolohichni-naslidky-viiny-rosii-proty-ukrainy.html (дата звернення: 23 листопада 2023).

4. Інформація про наслідки для довкілля від російської агресії в Україні 24 лютого – 9 березня 2022 року. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України* : веб-сайт. URL: https://mepr.gov.ua/informatsiya-pro-naslidky-dlya-dovkillya-vid-rosijskoyi-agresiyi-v-ukrayini-24-lyutogo-9-bereznya-2022-roku-2/ (дата звернення: 11 листопада 2022).

5. Оновлені дані моніторингу вод у зоні надзвичайної ситуації через терористичний акт рф на Каховській ГЕС. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України* : веб-сайт. URL: https://mepr.gov.ua/dilymosya-ostannimy-danymy-monitoryngu-vod-u-zoni-nadzvychajnoyi-sytuatsiyi-cherez-terorystychnyj-akt-rf-na-kahovskij-ges/ (дата звернення: 17 червня 2023).

6. Природа та війна: як російська агресія вплинула на довкілля. *Портал «Слово і діло» :* веб-сайт. URL: https://www.slovoidilo.ua/2022/11/08/infografika/suspilstvo/pryroda-ta-vijna-yak-rosijska-ahresiya-vplynula-dovkillya (дата звернення: 8 листопада 2022).

7. Російсько-українська війна: вплив на довкілля. *Top Lead Projects* : веб-сайт. URL: https://www.topleadprojects.com/war-in-ua-environmental-impact-ukr (дата звернення: 14 червня 2023).

REFERENCES:

1. Sait multimediynoyi platformy inomovlennya Ukrainy [Site of Multimedia platform for foreign language of Ukraine]. ukrinform.ua. Retrieved from https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3738398-vijna-z-rosieu-zbitki-dovkillu-v-ukraini-perevisili-2-triljoni-griven.html [in Ukrainian].

2. Sait platformy «SaveDnipro» [Site of platform «SaveDnipro»]. savednipro.org. Retrieved from https://www.savednipro.org/vpliv-voyennix-dij-na-yakist-povitrya-v-ukrayini/ [in Ukrainian].

3. Sait Institutu vsesvytnyoyi istoriyi NAN Ukrainy [Site of Institute of World History of the National Academy of Sciences of Ukraine]. ivinas.gov.ua. Retrieved from https://ivinas.gov.ua/viina-rf-proty-ukrainy/ekolohichni-naslidky-viiny-rosii-proty-ukrainy.html [in Ukrainian].

4. Sait Ministerstva zahystu dovkyllya ta pryrodnyh resursyv Ukrainy [Site of Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine]. mepr.gov.ua. Retrieved from https://mepr.gov.ua/informatsiya-pro-naslidky-dlya-dovkillya-vid-rosijskoyi-agresiyi-v-ukrayini-24-lyutogo-9-bereznya-2022-roku-2/ [in Ukrainian].

5. Sait Ministerstva zahystu dovkyllya ta pryrodnyh resursyv Ukrainy [Site of Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine]. mepr.gov.ua. Retrieved from https://mepr.gov.ua/dilymosya-ostannimy-danymy-monitoryngu-vod-u-zoni-nadzvychajnoyi-sytuatsiyi-cherez-terorystychnyj-akt-rf-na-kahovskij-ges/ [in Ukrainian].

6. Sait portalu «Slovo i dilo» [Site of portal «Word and Deed»]. slovoidilo.ua. Retrieved from https://www.slovoidilo.ua/2022/11/08/infografika/suspilstvo/pryroda-ta-vijna-yak-rosijska-ahresiya-vtlyna-dovkillya [in Ukrainian].

7. Sait portalu «Top Lead Projects» [Site of portal «Top Lead Projects»]. topleadprojects.com. Retrieved from https://www.topleadprojects.com/war-in-ua-environmental-impact-ukr [in Ukrainian].

УДК 378.14:355/359(477)
DOI https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-6

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

Бібліографічний опис статті: Родіков, В. (2024). Роль і місце сучасних інноваційних освітніх технологій у професійній підготовці майбутніх фахівців інженерних військ. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 38–43, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-6

РОЛЬ І МІСЦЕ СУЧАСНИХ ІННОВАЦІЙНИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

У статті акцентовано, що сучасна армія вимагає від закладів військової освіти застосування інноваційних освітніх технологій. Встановлено, що в умовах воєнного стану зменшено час на підготовку майбутніх фахівців інженерних військ, в межах якої курсанти повинні засвоїти великий обсяг інформації. Тому важливого значення набуває практичне відпрацювання ситуацій інженерного забезпечення згідно з тематикою занять. Ефективність підготовки майбутніх фахівців інженерних військ значною мірою визначається підготовленістю керівника заняття, доцільністю і ефективністю застосовування скомпонованих інноваційних форм та методів навчання, правильністю використання навчально-матеріальної бази.

Узагальнено, що підвищення якості підготовки фахівців інженерних спеціальностей (на прикладі Об'єднаного навчально-тренувального центру «ПОДІЛЛЯ» Сил підтримки Збройних Сил України) нерозривно пов'язане з впровадженням інноваційних освітніх технологій, в основі яких є такі складники та заходи: навчальна електронна література, посібники та тестові завдання для навчання курсантів; єдина мережа електронних бібліотек, банків та баз даних; комплекс системотехнічних мережевих рішень, спеціального навчального інтерактивного інтерфейсу та інших засобів, що дають змогу використовувати Інтернет та формувати спеціальні мережі, щоб офіцери та курсанти могли ефективно професійно удосконалюватися; комплекс директивних документів, зокрема й ті, що відображені у наказах та організаційно-методичних вказівках щодо організації бойової та оперативної підготовки, у планах бойової та оперативної підготовки військ; розробка комп'ютерних моделей, симуляторів та тренажерів; формування єдиного інформаційного освітнього середовища. Підсумовано, що можливості сучасних освітніх технологій для підготовки майбутніх фахівців інженерних військ мають надзвичайно важливе місце та високий потенціал застосування у безпосередньому симбіозі з традиційними формами навчання.

***Ключові слова:** військова освіта, військово-інженерна підготовка, воєнний стан, інформаційні технології, 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 Hrushevskyi ave., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytsk region, Ukraine, 32302
***ORCID**: 0009-0006-8683-359X*

To cite this article: Rodikov, V. (2024). Rol i mistse suchasnykh innovatsiinykh osvitnikh tekhnolohii u pidhotovtsi maibutnikh fakhivtsiv inzhenernykh viisk v umovakh voiennoho stanu [The Role and Place of Modern Innovative Educational Technologies in Training Future Specialists of the Engineering Troops in Conditions of Martial Law]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 38–43, doi: https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-1-6

THE ROLE AND PLACE OF MODERN INNOVATIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN TRAINING FUTURE SPECIALISTS OF THE ENGINEERING TROOPS IN CONDITIONS OF MARTIAL LAW

The article posits modern armies require military institutions to apply innovative educational technologies. It is established that under martial law, the time for training future specialists of the engineering troops is reduced, within which cadets must assimilate a large volume of information. Therefore, practical training in engineering support situations, according to the topics of the lessons, is of great importance. The efficacy of training future engineering troops specialists is largely contingent upon the instructor's preparedness, the suitability and efficacy of the integrated innovative forms and methods of training employed, and the prudent utilisation of the educational material base.

In conclusion, it is underscored that the enhancement of training quality for engineering specialists (as demonstrated by the United Training Center "PODILLIA" of the Support Forces of the Armed Forces of Ukraine) is intricately linked to the adoption of innovative educational technologies. These technologies, which encompass educational electronic literature, manuals and test tasks for training cadets; a unified network of electronic libraries, banks, and databases; a complex of systematic technical network solutions, special educational interactive interfaces, and other means that enable the use of the Internet and the formation of special networks for effective professional improvement; a complex of directive documents, including those reflected in orders and organisational-methodical instructions regarding the combat planning and operational training, in the plans of combat and operational training of the troops; the development of computer models, simulators, and trainers; the formation of a unified informational, educational environment, hold immense potential for the future of training engineering troops. They can be seamlessly integrated with traditional forms of training, paving the way for a more efficient and effective training system.

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

Актуальність проблеми. Сьогодні, в умовах повномасштабної війни, Збройні сили України (ЗСУ) перебувають у стадії постійного реформування. Це зумовлює необхідність проведення відповідних перетворень у системі підготовки військових кадрів та військової освіти. Військова освіта та військова наука як складові державної освіти та науки також повинні бути пріоритетними, особливо під час воєнного стану та паралельного проведення військової реформи (Черновол, & Сливенко, 2023). Зміна системи військової освіти та реформування принципів підготовки військових кадрів відбувається на практиці під впливом, здебільшого, кризових станів (у випадку України – повномасштабної війни з Росією), коли традиційні методи регулювання цих процесів виявляються неефективними.

В умовах воєнного стану зростає, власне, значення якості підготовки військовослужбовців, які володіють стабільними, сучасними знаннями вміннями та навичками та сформованими компетентностями в галузі інженерного забезпечення. Фактично від якості сформованості професійних компетентностей у галузі інженерного забезпечення залежить не лише успіх військових операцій, а й життя, здоров'я військовослужбовців. Підготовка майбутніх фахівців інженерних військ охоплює множинні аспекти військового навчання. Значущою у цьому аспекті є твердження Є. Брижатого, що здатність військових частин та підрозділів військ самостійно виконувати основні завдання та заходи інженерного забезпечення становлять основу якісного виконання поставлених завдань (Брижатий, 2013). Водночас, швидкі темпи розвитку цифрових та передових технологій, постійне вдосконалення зброї та техніки підвищують вимоги до інженерного забезпечення та, відповідно, до професійної компетентності військовослужбовців – майбутніх фахівців інженерних військ. Тому інноваційну підготовку майбутніх фахівців інженерних військ необхідно розглядати як системну сукупність освітніх процесів, що ґрунтується на активному використанні новітніх інформаційних та організаційно-педагогічних технологій, що передбачає застосування теоретичних, практичних та педагогічних інновацій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Актуальність дослідження підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану підтверджується зростанням кількості досліджень, присвячених цій темі. Так, науковці розглядають загальні питання модернізації військової освіти (О. Васильєв (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. Брижатий (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, Б. Лебедєв & О. Маслій (2022); О. Корносенко, О. Даниско, & Бухун (2022)) та ін. В окреслених дослідженнях науковцями залишаються недостатньо розглянуті проблеми впровадження нових освітніх технологій у практику військ, управління інноваційними процесами у системі військової освіти, запровадження нового покоління правових і принципів ефективного менеджменту якості. Також науковцями недостатньо розглянуто роль сучасних освітніх технологій в процесі модернізації підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану, яка характеризується обмеженістю часу на їхню підготовку до швидкого та ефективного виконання бойових завдань на полі бою.

Мета статті полягає у визначенні ролі сучасних інформаційних та цифрових освітніх технологій в оптимізації професійної підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах повномасштабної війни в Україні.

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. Підготовка майбутніх фахівців інженерних військ ґрунтується на симбіозі фундаментальної інженерної підготовки з інженерного забезпечення та посиленому творчому розвитку тактичного мислення, розвитку практичних навичок у командуванні підрозділами (Васильєв, 2022). Це дає змогу забезпечити оперативніше реагування на безперервну зміну та вдосконалення засобів збройної боротьби за змістом та структурою (Дяков, 2011). З огляду на це, у галузі інженерного забезпечення курсанти мають набути професійних компетентностей з питань цілей та завдань інженерних заходів; технічних та спеціальних засобів; пристроїв, тактико-технічних характеристик інженерних засобів; підготовки засобів інженерного озброєння до бойового застосування; вимог безпеки у процесі експлуатації інженерних засобів; виробництва інженерних розрахунків забезпечення службово-бойової діяльності; роботи у різній бойовій обстановці.

В організації підготовки майбутніх фахівців інженерних військ слід виокремити деякі особливості, що впливають на високий науковий і методичний рівень занять:

– глибоке розуміння цілей та завдань навчання та виховання курсантів;

– висока особиста відповідальність викладача за якість навчання, постійна робота з підвищення якості занять, повага до курсантів та прагнення передати їм власні знання та досвід;

– вміння раціонального використання технічних засобів навчання;

– висока загальна та військова культура (Приходько, 2022).

Поряд із широким впровадженням інноваційних технологій та пошуком ефективних форм та методів навчання курсантів, одним з основних напрямків навчання, спрямованих на підвищення професіоналізму та оптимізації підготовки майбутніх фахівців інженерних військ у галузі інженерного забезпечення службово-бойової діяльності військ, є застосування сучасних інформаційних технологій.

Водночас, впровадження нових освітніх технологій в підготовку майбутніх військово-інженерних фахівців вимагає урахування того факту, що підготовка військових фахівців будь-яких спеціалізацій значно відрізняється від підготовки цивільних фахівця, оскільки вимагає:

– всебічну особистісну підготовку курсанта як майбутнього офіцера (громадянина, захисника Вітчизни, керівника, організатора, громадського діяча, носія українських цінностей та правових норм);

– підготовку курсанта як професіонала, що потребує якісного виконання завдань в умовах певної складності зі стійким збереженням працездатності та оптимальних робочих параметрів у реальних екстремальних умовах служби в Збройних силах України (або безпосереднього виконання бойових завдань на полі бою);

– виховання курсантів, здатних брати активну участь в інтеграції ЗСУ в економічну, політичну, правову та соціальну систему суспільства;

– формування моральної та психологічної готовності до захисту України, Конституції та військового обов'язку.

Вплив науково-технічного прогресу на освітній процес спричинив необхідність не лише замінювати застарілі погляди новими, а й запроваджувати нові технології навчання, оскільки обсяг навчальної інформації збільшується, а терміни вивчення поступово скорочуються (Мішенюк, 2022). Особливо це актуально в умовах повномасштабної війни, коли на підготовку військовослужбовців йде, щонайбільше, три місяці. Тому дуже важливо розробляти інноваційні технології, що активізують діяльність викладачів, та курсантів та дають змогу за мінімальні терміни навчання отримати максимальний обсяг військово-інженерних знань, умінь та навичок.

Практика свідчить, що у закладах військової освіти та підготовки, як правило, використовуються добре відомі, традиційні методи та форми навчання. Однак сучасний цифровий світ і суспільство, що стрімко розвивається у бік комп'ютеризації та віртуалізації, вимагає нових підходів до навчанні. Ефективність підготовки майбутніх фахівців інженерних військ значною мірою залежить від збалансованого використання традиційних методів та інноваційних інформаційних та інтерактивних форм навчання, а також від застосування мультимедійних, комп'ютерних та аудіовізуальних технологій.

Наприклад, за допомогою інтерактивної дошки або мультимедійного проєктора викладач має змогу яскраво та наочно подати теоретичний лекційний матеріал. Або, використовуючи активний метод навчання (високий рівень залученості в освітній процес), запропонувати курсантам самостійно підготувати наочні мультимедійні матеріали для заняття, виступити з доповіддю, презентацією. У процесі підготовки до заняття курсанти навчаються аналізувати та систематизувати матеріал, підвищувати власну цифрову культуру, розвивають навички роботи з комп'ютерною технікою.

Досвід професійної діяльності з військово-інженерної діяльності можливо набувати та напрацьовувати за допомогою популярних кейс-технологій. Кейс-метод полягає у вирішенні певних освітніх завдань-ситуацій (кейсів) та передбачає можливість працювати самостійно та в команді, розвиває логіку та варіативність мислення, ініціативність та кмітливість (Капінус, 2020). Так, на початковому етапі курсанти аналізують отримане завдання, намагаються знайти оптимальні шляхи його вирішення, потім спільно з викладачем чи командиром проводять розбір одержаних результатів. Ефективність використання кейс-методу у підготовці майбутніх фахівців інженерних військ не викликає сумнівів. Інженерне забезпечення у період воєнних дій завжди пов'язане з ризиком, обмеженням часу прийняття рішень, підвищеним рівнем відповідальності перед товаришами. У межах кейс-завдань можливо моделювати будь-які ситуації та умови, що дає змогу (наскільки це можливо), наблизити навчально-тренувальний процес до бойового.

Застосування активних методів у підготовці майбутніх фахівців інженерних військ за певних умов сприяє досягненню поставленої мети навчання. Однією з цілей такого навчання є вироблення у курсантів навичок вирішення ситуацій, з якими у майбутньому курсантам доведеться зустрітися у службово-бойовій діяльності або під час виконання бойових завдань безпосередньо на полі бою. Успішне використання методу розбору та аналізу ситуацій (кейс-методу) спричинило інтенсивні пошуки нових різновидів інноваційних активних методів, здатних вирішувати специфічні навчальні завдання, і, зокрема, появу найскладніших занять із застосуванням комп'ютерних технологій, які мають у своєму складі штучний інтелект.

Мультимедійні технології у підготовці майбутніх фахівців інженерних військ мають стати можливістю оптимізації навчально-виховного процесу, культурно-дозвільної та військово-політичної роботи, а також об'єктом для вивчення, щоб майбутні військові інженери мали змогу їх правильно використовувати (Черновол, & Сливенко, 2023). Тому необхідне впровадження передових інформаційних технологій у вивчення всіх спеціальних дисциплін. Ця частина є досить актуальною, оскільки курсанти у процесі військово-тренувальної підготовки повинні відчувати на особистому досвіді переваги та можливості сучасних інформаційних технологій.

Модернізація підготовки майбутніх фахівців інженерних військ з використанням засобів інформатизації дасть змогу вирішити низку завдань: з'явиться можливість у кожного курсанта попрацювати з комп'ютерним

тренажером, відпрацювати певні дії щодо функціонування зразків спеціальної військової техніки. Важливо, що запровадження інформаційних технологій у військову освіту – це неминучий чинник становлення сучасного суспільства. Швидке та якісне впровадження інформаційних технологій в освітній процес дає додаткові переваги та навички курсантам.

В сучасних умовах воєнного стану майбутні фахівці інженерних військ повинні розвиватися так, щоб мати можливість ефективно і в досить короткий проміжок часу оволодіти не лише технікою, яка вже є на озброєнні в ЗСУ, а й тією, яка буде отримана в майбутньому. Саме тому підготовка майбутніх фахівців інженерних військ повинна спрямовуватися на майбутнє (Родіков, 2023). Принцип наступності вивчення та виховання – це артільний принцип для військової освіти. Однак сучасні темпи науково-технічного прогресу неможливо порівняти з тими, що були до цього.

Навчальні програми для курсантів військово-інженерного спрямування періодично оновлюються закладами військової освіти. Наразі триває процес швидкого розвитку та впровадження комп'ютерної техніки у всіх сферах людської діяльності (Мішенюк, 2022). Розвиток інформаційних технологій спричиняє появу нової військової системи освіти, яка надає військовослужбовцям освітні послуги високої якості.

Рух уперед до досконалості викладання дають нові інформаційні технології, які активно застосовуються в різних арміях світу для навчання висококласних фахівців з набором необхідних компетентностей. Саме інформаційні технології дають змогу максимально наситити освітній процес, забезпечити наочність та динамічність. Водночас особливу увагу необхідно приділяти програмному забезпеченню. Саме воно дає змогу без величезних фінансових витрат формувати професійні компетентності у курсантів різних рівнів підготовленості за однаковий період часу.

Відтак, сучасні інноваційні освітні технології у підготовці майбутніх фахівців інженерних спеціальностей сприяють розвитку здібностей щодо ефективного збору, обробки та підготовки до передачі достовірної інформації, які пронизують весь процес службово-бойової діяльності, спрямованої на збір даних про наявність та стан матеріальних та технічних засобів, можливості та перспективи розвитку технічного та тилового забезпечення, причини помилково прийнятих рішень, можливих наслідків прорахунків, виникнення проблем та суперечностей у діяльності підрозділів та частин, пошуку можливостей їхнього усунення тощо (Воловник, Лебедєв, & Маслій, 2022).

Висновки. Якщо говорити про Об'єднаний навчально-тренувальний центру «ПОДІЛЛЯ» Сил підтримки Збройних Сил України, то підвищення якості підготовки фахівців інженерних спеціальностей нерозривно пов'язане з впровадженням інноваційних освітніх (інформаційних, інтерактивних) технологій, в основі яких є такі складники та заходи:

– навчальна електронна література, посібники та тестові завдання для навчання курсантів;

– єдина мережа електронних бібліотек, банків та баз даних;

– комплекс системотехнічних мережевих рішень, спеціального навчального інтерактивного інтерфейсу та інших засобів, що дають змогу використовувати Інтернет та формувати спеціальні мережі, щоб офіцери та курсанти могли ефективно професійно удосконалюватися;

– комплекс директивних документів, зокрема й ті, що відображені у наказах та організаційно-методичних вказівках щодо організації бойової та оперативної підготовки, у планах бойової та оперативної підготовки військ;

– розробка комп'ютерних моделей, симуляторів та тренажерів;

– формування єдиного інформаційного освітнього середовища.

Таким чином, застосування інноваційних освітніх технологій в підготовці майбутніх фахівців інженерних спеціальностей сприяє вирішенню низки завдань, зокрема: підвищення інтересу до дисципліни, що вивчаються; збільшення обсягу інформації з дисциплін військової підготовки; покращення якості організації освітнього процесу; забезпечення індивідуального характеру навчання; створення комплексу навчальних пакетів, програм для систем віртуальної підготовки фахівців інженерних військ.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Брижатий Є. І. Моделювання процесу підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в системі безперервної підготовки. *Вісник Національного університету оборони України,* 2013. 1 (32), 26–31.

2. Васильєв О. Теоретичні аспекти інноваційного розвитку військової освіти. *Військова освіта*, 2022.1 (45), 9–22.

3. Воловник В. Є., Лебедєв 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.

4. Дяков С. І. Суб'єктно-діяльністний підхід у методиці проведення тактико-стройових занять з військовослужбовцями інженерних військ. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Педагогічні науки. Хмельницький*, 2011. 61, 33–36.

5. Капінус О. С. *Методологія, теорія і методика формування професійної суб'єктності майбутніх офіцерів Збройних сил України*. [Монографія]. Житомир: Вид. О. О. Євенок, 600. 2020.

6. Мішенюк Р. М. Педагогічні технології у загальновійськовій підготовці майбутніх офіцерів-прикордонників: реалії та перспективи. *Теорія і методика професійної освіти*, 2022. 45, 192–195.

7. Приходько Ю. Актуальні проблеми трансформації стану та якості системи вищої військової освіти. *Військова освіта*, 2022. 1 (45), 179–196.

8. Родіков В. Модернізація професійної підготовки майбутніх фахівців інженерних військ в умовах воєнного стану. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2023. 4, 78–83.

9. Черновол Є. О., Сливенко П. В. Щодо підвищення ефективності професійної підготовки майбутніх офіцерів у реаліях війни (українська відповідь на виклики часу). *Академічні візії*, 2023. 17, 1–11.

REFERENCES:

1. Bryzhatyi, Ye. I. (2013). Modeliuvannia protsesu pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv inzhenernykh viisk v systemi bezpererervnoi 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].

2. Vasyliev, 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].

3. 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].

4. Diakov, S. I. (2011). Subiektno-diialnistnyi pidkhid u metodytsi provedennia taktyko-stroiovykh zaniat z viiskovosluzhbovtsiamy inzhenernykh viisk [Subject-activist approach in the methodology of conducting tactical training exercises with servicemen of engineering troops]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy – Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Service of Ukraine. Pedagogical sciences*, 61, 33–36. [in Ukrainian].

5. Kapinus, O. S. (2020). *Metodolohiia, teoriia i metodyka formuvannia profesiinoi subiektnosti maibutnikh ofitseriv Zbroinykh syl Ukrainy [Methodology, theory and methods of formation of professional subjectivity of future officers of the Armed Forces of Ukraine]*. [Monohrafiia – Monograph]. Zhytomyr: Vyd. O. O. Yevenok, 600. [in Ukrainian].

6. Misheniuk, R. M. (2022). Pedahohichni tekhnolohii u zahalnoviiskovii pidhotovtsi maibutnikh ofitseriv-prykordonnykiv: realii ta perspektyvy [Pedagogical technologies in the combined military training of future border guards: realities and prospects]. *Teoriia i metodyka profesiinoi osvity – Theory and methodology of professional education*, 45, 192–195. [in Ukrainian].

7. 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].

8. Rodikov, V. (2023). Modernizatsiia profesiinoi pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv inzhenernykh viisk v umovakh voiennoho stanu [Modernization of professional training of future specialists of the engineering troops in conditions of martial law]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku – Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 78–83 [in Ukrainian].

9. Chernovol, Ye. O., & Slyvenko, P. V. (2023). Shchodo pidvyshchennia efektyvnosti profesiinoi pidhotovky maibutnikh ofitseriv u realiiakh viiny (ukrainska vidpovid na vyklyky chasu) [Regarding increasing the efficiency of professional training of future officers in the realities of war (Ukraine's response to the challenges of the time)]. *Akademichni vizii – Academic Visions*, 17, 1–11 [in Ukrainian].

ЗМІСТ

ХІМІЯ

Іванна ДАНИЛЮК, Наталія КОВАЛЕНКО, Валентина ТОЛМАЧОВА, Олена КОВТУН, Ніна ЯКОВИЧУК, Аліна ГРОЗАВ, Леся САЛІЄВА, Наталія СЛИВКА, Михайло ВОВК
СИНТЕЗ І ОЦІНКА ПРОТИМІКРОБНОЇ ТА АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ [(2-(ЦІАНОМЕТИЛ)-1,3-ТІАЗОЛ-4-ІЛ)МЕТИЛ](ТРИФЕНІЛ)ФОСФОНІЙ БРОМІДУ 3

Жолт КОРМОШ, Наталія ГОРБАТЮК, Наталія КОРМОШ, Микола ШЕВЧУК, Євгеній РАСПОПОВ, Неделько ПАВЛОВІЧ, Оксана ЮРЧЕНКО, Людмила ПІСКАЧ
ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СКОПОЛАМІНУ.....10

Галина РІЗАК
СИНТЕЗ УРЕЇДНИХ ПОХІДНИХ 2-АМІНО-3-КАРБЕТОКСИ(ЦІАНО)ТІОФЕНІВ І ВИВЧЕННЯ ЇХ ЦИКЛІЗАЦІЇ.....18

ЕКОЛОГІЯ

Зоряна ЛАВРИНЮК, Ольга КАРАЇМ, Любомир ГУЛАЙ, Олена ДЖАМ
ГІДРОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ ВОД РІЧКИ МИХАЙЛІВКИ.....26

ОСВІТНІ, ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ. ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

Вікторія ВАЩУК, Соломія ПИСАРЕВСЬКА, Зіновій ЯРЕМКО
УСВІДОМЛЕННЯ МОЛОДДЮ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ВІЙНИ РФ ПРОТИ УКРАЇНИ 32

Володимир РОДІКОВ
РОЛЬ І МІСЦЕ СУЧАСНИХ ІННОВАЦІЙНИХ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....38

CONTENTS

CHEMISTRY

Ivanna DANYLIUK, Nataliia KOVALENKO, Valentina TOLMACHOVA, Olena KOVTUN, Nina YAKOVYCHUK, Alina GROZAV, Lesya SALIYEVA, Nataliia SLYVKA, Mykhailo VOVK
SYNTHESIS AND EVALUATION OF ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF [(2-(CYANOMETHYL)-1,3-THIAZOL-4-YL)METHYL](TRIPHENYL)PHOSPHANIUM BROMIDE . . 3

Zholt KORMOSH, Nataliia HORBATIUK, Natalia KORMOSH, Mykola SHEVCHUK, Evgeniy RASPOPOV, Nedelko PAVLOVICH, Oksana YURCHENKO, Lyudmyla PISKACH
POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF SCOPOLAMINE.....10

Galina RIZAK
SYNTHESIS OF UREIDE DERIVATIVES OF 2-AMINO-3-CARBETOXY(CYANO)THIOPHENES AND STUDY OF THEIR CYCLIZATION.....18

ECOLOGY

Zoryana LAVRYNYUK, Olha KARAIM, Lubomir GULAY, Olena DZHAM
HYDROCHEMICAL ANALYSIS AND RATIONAL USE OF THE NATURAL WATERS OF THE MYKHAILIVKA RIVER.....26

EDUCATIONAL, PEDAGOGICAL SCIENCES. VOCATIONAL EDUCATION

Victoriya VASHCHUK, Solomiya PISAREVSKA, Zinoviy YAREMKO
YOUTH AWARENESS OF THE ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF THE WAR OF RUSSIA AGAINST UKRAINE.....32

Volodymyr RODIKOV
THE ROLE AND PLACE OF MODERN INNOVATIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN TRAINING FUTURE SPECIALISTS OF THE ENGINEERING TROOPS IN CONDITIONS OF MARTIAL LAW.....38

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 1

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Андрій Олександрович Філатов

Підписано до друку: 03.06.2024.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 5,35. Замов. № 0524/365. Наклад 300 прим.

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