

Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 2



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Гулай Любомир Дмитрович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Волинського національного університету імені Лесі Українки (головний редактор);

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

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

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

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

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

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

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

Когут Юрій Миколайович – кандидат хімічних наук, старший лаборант кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Смітюх Олександр Вікторович – кандидат хімічних наук, старший лаборант кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки;

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

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

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

Журнал ухвалено до друку Вченою радою
Волинського національного університету імені Лесі Українки
30 серпня 2023 р., протокол № 9

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

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

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

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

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

© Волинський національний університет імені Лесі Українки, 2023

ХІМІЯ

УДК 543

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-1>

Жолт КОРМОШ

кандидат хімічних наук, професор

ORCID: 0000-0001-6018-8787

Scopus Author ID: 35580134800

Микола ШЕВЧУК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства, Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43000

ORCID: 000-0002-6602-2929

Наталія КОРМОШ

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

ORCID: 0000-0002-4272-888X

Scopus Author ID: 23018964400

Катерина ЛЮШУК

кандидат педагогічних наук, викладач, Волинський медичний інститут, вул. Лесі Українки, 2, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43000

ORCID: 0000-0003-2189-0332

Світлана КОРОЛЬЧУК

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

ORCID: 0000-0002-5830-3966

Тетяна САВЧУК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0001-9416-0643

Оксана ЮРЧЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри хімії та технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 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., Шевчук, М., Кормош, Н., Люшук, К., Корольчук, С., Савчук, Т., Юрченко, О., Піскач, Л. (2023). Потенціометричний сенсор для визначення левамізолу. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 3–9, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-1>

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЛЕВАМІЗОЛУ

Розвиток прикладної іонометрії на етапі вимагає як теоретичних досліджень, вкладених у з'ясування природи селективності електродних мембран, і пошуку нових способів синтезу мембран та його модифікації з метою отримання досконаліших структурних одиниць із ширшим діапазоном функціональні властивості цих матеріалів. Для вирішення цієї проблеми важливу роль відіграє встановлення зв'язку між структурними характеристиками мембран та їх впливом на електроаналітичні властивості. Взаємодія органічного катіону левамізолу (Лев⁺) з еозином Н (ЕН) було досліджено методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем Лев⁺ + ЕН 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 левамізол-селективний сенсор із пластифікованою полівінілхлоридною мембраною. Електрод містить іонний асоціат левамізолу з еозином Н. Для моделювання складу мембрани як матрицю використовували ПВХ; досліджено мембрани, пластифіковані дибутілфталатом (ДБФ), діетилфталатом (ДЕФ), діоктилфталатом (ДОФ), дінонілфталатом (ДНФ), дибутилсебацінатом (ДБС), трикрезилфосфат (ТКФ). Встановлено, що природа пластифікатора децю впливає на крутизну і до певної міри на межу виявлення сенсорів. Відгук лінійний у межах зміни концентрації Лев-іонів $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л із крутизною електродної функції $53,1 \pm 1,0$ мВ/рС. Сенсор має швидкий час відгуку 10 с і може використовуватися не менше 8 тижнів без будь-яких відхилень у довгостроковій перспективі. Сенсори з більшим вмістом пластифікатора працюють довше, ніж з меншим вмістом. Електрод можна використовувати у діапазоні рН 3,0–8,0. Були досліджені коефіцієнти селективності для левамізолу по відношенню до іонів, що потенційно можуть заважати. Для оцінки розроблених сенсорів було проведено їх апробацію щодо левамізолу в модельних розчинах і лікарських формах. Даний сенсор використовувався як індикаторний електрод при потенціометричному визначенні левамізолу в препаратах Декаріс (Decaris) і Левамізол-Здоров'я.

Ключові слова: левамізол-селективний сенсор, потенціометрія, визначення левамізолу.

Zholt KORMOSH

PhD in Chemistry, Professor

ORCID: 0000-0001-6018-8787

Scopus Author ID: 35580134800

Mykola SHEVCHUK

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

ORCID: 000-0002-6602-2929

Natalia KORMOSH

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

ORCID: 0000-0002-4272-888X

Scopus Author ID: 23018964400

Kateryna LYUSHUK

Candidate of Pedagogical Sciences, Lecturer, Volyn Medical Institute, str. Lesi Ukrainky, 2, Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43000

ORCID: 0000-0003-2189-0332

Svitlana KOROLCHUK

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

ORCID: 0000-0002-5830-3966

Tatiana SAVCHUK

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

ORCID: 0000-0001-9416-0643

Oksana YURCHENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Technologies of Lesia Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-6602-2929

Lyudmyla PISKACH

PhD in Chemistry, Professor at the Department of 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., 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>

POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF LEVAMIZOLE

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

A levamisole-selective sensor with a plasticized polyvinyl chloride membrane was developed. The electrode contains the ionic associate of levamisole with eosin H. To model the composition of the membrane, PVC was used as a matrix; investigated membranes plasticized with dibutyl phthalate (DBF), diethyl phthalate (DEF), dioctyl phthalate (DOF), dinonyl phthalate (DNF), dibutyl sebacinate (DBS), tricresyl phosphate (TCF). It was established that the nature of the plasticizer somewhat affects the steepness and to some extent the detection limit of the sensors. The response is linear within the range of changes in the concentration of Lev ions $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-1}$ mol/l with a slope of the electrode function of 53.1 ± 1.0 mV/pC. The sensor has a fast response time of 10 s and can be used for at least 8 weeks without any deviations in the long term. Sensors with a higher content of plasticizer work longer than with a lower content. The electrode can be used in the pH range of 3.0-8.0. Selectivity coefficients for levamisole against potentially interfering ions were investigated. Selectivity coefficients for levamisole against potentially interfering ions were investigated. To evaluate the developed sensors, they were tested against levamisole in model solutions and dosage forms. This sensor was used as an indicator electrode in the potentiometric determination of levamisole in the Decaris and Levamisole-pharmaceutikal preparations.

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

Вступ. Левамизол – білий аморфний чи кристалічний порошок із характерним запахом. Легко розчинний у воді. Структурна формула левамизолу: [s]-6-феніл-2,3,5,6-тетрагідроімідазо тіазол (Машковський, 1986; Фарбер, 1980; Ковалев, 1980) зображена на рис. 1.

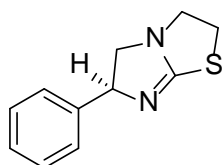


Рис. 1. Структурна формула левамизолу

Брутто-формула – $C_{11}H_{12}N_2S$. Молекулярна вага – 204,292 г/моль, рКа 8,0 (Adams, 1978).

Синоніми: Askaridil, Levasole, Adiafor, Cosydrol, Dekaris, Ketrax, Levori-percol, Levotetramisol, Nilbutan, Sitrax, Tenisol та ін.

Левамизол як антигельмінтний засіб завдяки низці переваг перед іншими препаратами цієї групи широко застосовується в медичній практиці. На його основі розроблено препарати різної форми випуску, такі як ін'єкції, таблетки, порошки (Международная Фармакопея. Т. 2., 1983). Використову-

ють різні методики визначення левамізолу в біологічних субстанціях (Woestenborghs, 1981; Kouassi et al., 1986; Alvinerie et al., 1981; Vandamme et al., 1995; De Baere et al., 2003; Holbrook, Scales, 1967; Rousseau, 1981; Marriner, 1980; Крамаренко, 1989).

Метою даної роботи було вивчення можливості застосування виділеного іонного асоціату левамізолу з еозином Н (ЕН), як електродоактивної речовини пластифікованих ІСЕ та створення на цій основі нового потенціометричного сенсора для визначення левамізолу.

Матеріали та методи дослідження.

Стандартний розчин LiCl для створення іонної сили готували розчиненням його точної наважки у дистильованій воді.

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

Пластифіковані мембрани ПВХ готували згідно з рекомендацією (Камман, 1972): 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), дибутилсебаценат (ДБС), динонілфталат (ДНФ), діетилфталат (ДЕФ), трикрезилфосфат (ТКФ) та перемішували до одержання однорідної маси. Отриману суміш переносили у форму (кільце діаметром 1,5 см), попередньо 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-1МЗ.

Результати та їх обговорення. На основі констант протонування Лев та дисоціації еозину Н розраховані діаграми розподілу різних форм від рН. Як видно з рис. 2 та рис. 3, Лев існує в однозарядній катіонній формі при рН менше 10, а еозин Н існує переважно в однозарядній аніонній формі при рН 3–5. Отже, найбільш імовірні умови утворення іонного асоціату при рН 3–5.

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

Стандартну ентальпію (ΔH_0) утворення іонів та асоціату «ЕН⁻ + Лев⁺» визначали напівемпіричним методом РМЗ. Параметри цих методів підібрані таким чином, щоб вони дозволяли найкращим чином відтворювати експериментальні значення ΔH_0 органічних сполук. Як

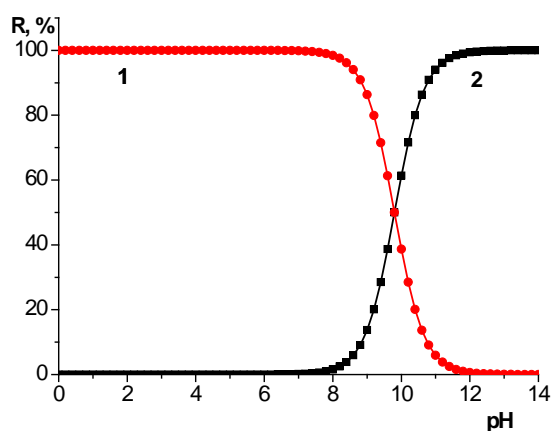


Рис. 2. Розподіл форм левамізолу від рН середовища (1-катіонна форма; 2-молекулярна форма)

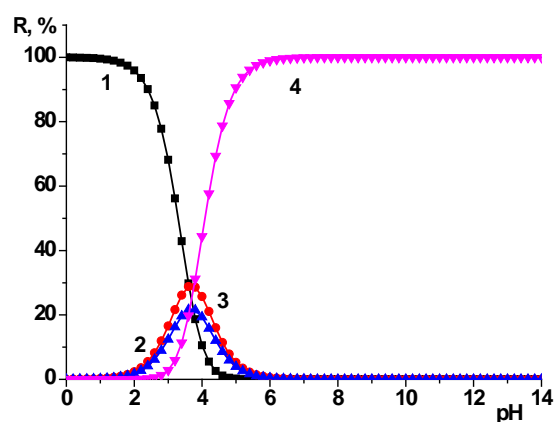


Рис. 3. Розподіл форм еозину Н від рН середовища (1-молекулярна форма; 2 і 3-таутомерні однозарядні аніонні форми; 4-двозарядна аніонна форма)

приклад у табл. 1 та рис. 4 наведені енергетичні характеристики взаємодії «Лев⁺ + ЕН⁻».

Як видно, різниця в енергії утворення іонного асоціату і суми енергій утворення його компонентів дорівнює 17655,8 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 левамизолу в широкому інтервалі: $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ М. Досліджено вплив вмісту електроактивної речовини на електрохімічні характеристики сенсорів. Склад змінювали від 1 до 15% ЕАР. Результати показали, що у всіх випадках електродна функція спостерігається в інтервалі зміни концентрації левамизолу $1 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л, крутість електродної функції для мембран з різними складами ЕАВ (1 – 5%) нижче за теоретичне значення Нернстівської функції а чутливість становить $n \cdot 10^{-5}$ моль/л.

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

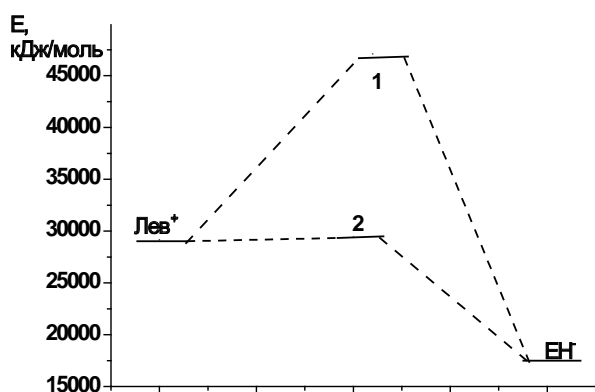


Рис. 4. Рівні енергії іонів ЕН⁻, Лев⁺ та їх ІА; (1) сума енергій ЕН⁻ + Лев⁺ і (2) енергія ІА

Таблиця 1

**Енергетичні характеристики взаємодії
ЕН⁻ + Лев⁺**

Частинка	Е, кДж/моль
Лев ⁺	29154,4
ЕН ⁻	17944,2
Σ (ЕН ⁻ + Лев ⁺)	47098,6
ЕН ⁻ –Лев ⁺	29442,8
Σ (ЕН ⁻ + Лев ⁺) – ЕН ⁻ –Лев ⁺	17655,8

Показано, що робочий інтервал електрода становить рН 3,0–8. Дрейф потенціалу вибирається у 1–3 мВ/год. Стабільні значення електродних потенціалів встановлюються протягом 5–10 с. Синтезовані мембрани зберігають показники від 1 до 3 міс.

Вивчено вплив внутрішнього розчину на електрохімічні властивості ІСЕ. Для цього використовували розчини левамизолу з концентрацією $1 \cdot 10^{-2}$, $1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Встановлено, що концентрація внутрішнього розчину не впливає на потенціал ІСЕ.

Коефіцієнти потенціометричної селективності (левамизол-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 пов'язаних в іонні пари з іонообмінником) іонів і та j у фазі мембрани, за умови, що всі обмінні центри зайняті лише і іонами або лише j іонами відповідно.

Вивчено селективність сенсорів щодо іонів NH₄⁺, Cu²⁺, K⁺, Na⁺, Co²⁺, Ba²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, 2, 3, 5-трифенілтетразолій хлорид, N-цетилпіридиній, тетраметиламоній бромід, тетрабутиламоній хлорид, бензалконій хлорид.

Методика визначення. Таблетки, які містять левамизол, попередньо розтирали в агатовій ступці, потім розчиняли в бідистильованій воді. Додавали 0,1 моль/л розчин LiCl. Проводили 5 паралельних вимірювань методом прямої потенціометрії (p=0,95) та розраховували результати аналізу методами математичної статистики (табл. 2).

Висновок. Показано, що синтезований іонний асоціат левамизолу з еозином Н може бути використаний як ЕАР для визначення левамизолу у лікарських формах. Досліджено умови роботи запропонованого сенсора (вплив рН розчину, внутрішнього розчину, природи пластифікатора, концентрації левамизол-іонів, часу відгуку, часу життя електрода та ін.) вивчено питання селективності ІСЕ. На основі отриманих результатів

**Результати визначення левамизола в лікарських формах
(n = 5; P = 0,95) (F_{tabl}=5,05; t_{tabl} = 2,78)**

Виробник	Регламентований вміст левамизолу, мг	Знайдено методом прямої потенціометрія			Знайдено методом потенціометричного титрування			F-test	t-Test
		мг	S2	RSD (%)	мг	S2	RSD (%)		
Декаріс, Richter Gedeon Ltd, Угорщина	50	50,42±1,13	0,52	1,63	49,75±1,11	0,89	1,54	1,71	1,26
Декаріс, Richter Gedeon Ltd, Угорщина	150	150,93±1,32	1,54	1,21	149,91±1,23	1,12	0,36	1,38	1,39
Левамізол-Здоровя, Харків, Україна	150	149,89 ± 0,98	0,75	1,14	150,8 ± 1,41	1,45	0,36	1,93	1,82

розроблено нову надійну методику потенціометричного визначення левамизолу, яка апробована при його визначенні в препаратах «Декаріс (Decaris)» та Левамизол-Здоровя.

вана при його визначенні в препаратах «Декаріс (Decaris)» та Левамизол-Здоровя.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Машковський М.Д. Лікарські засоби. Медицина, 1986. 624 с.
2. Фарбер Н.А. Клінічне застосування левамизолу перспективи та застереження. Терапія. архів. 1980. № 1. С. 95–100.
3. Ковальов І. Є. Левамизол як імуностимулятор. Хім-Фарм. Журн. 1980. № 4. С. 115–121.
4. Adams J.G. Pharmacokinetics of levamisole. *J. Rheumatol.* 1978. Vol. 5. P. 137–142. [PubMed]
5. International Pharmacopoeia. T.2. Specifications for quality control of pharmaceuticals. Geneva: World Health Organization, 1983. 364 p.
6. Woestenborghs R. Determination of levamisole in plasma and animal tissues by gas chromatography with thermionic specific detection. *Journal of Chromatography.* 1981. Vol. 224. P. 25–32. DOI: 10.1016/s0378-4347(00)80134-6
7. Kouassi E., Caillé G., Léry L., Lariviere L., Vezina M. Novel assay and pharmacokinetics of levamisole and p-hydroxylevamisole in human plasma and urine. *Biopharm. Drug Dispos.* 1986. Vol. 7. – P. 71–89. DOI: 10.1002/bdd.2510070110
8. Alvinerie M., Galtier P., Escoula G. Ion-pair high performance liquid chromatographic assay of levamisole in biological fluids. *J. Chromatogr.* 1981. Vol. 223. P. 445–448. DOI: 10.1016/s0378-4347(00)80120-6
9. Vandamme Th.F., Demoustier M., Rollmann B. Quantitation of levamisole in plasma using high performance liquid chromatography. *European journal of drug metabolism and pharmacokinetics.* 1995. Vol. 20. № 2. P. 145–149. DOI.org/10.1007/BF03226369
10. De Baere S., Cherlet M., Croubles S. Liquid Chromatographic determination of levamisole in animal plasma: ultraviolet versus tandem mass spectrometric detection. *Anal. Chim. Acta.* 2003. Vol. 483. P. 215–224. DOI: 10.1016/S0003-2670(02)01377-6
11. Holbrook A., Scales B. Polarographic determination of tetramisole hydrochloride in extracts of animal tissue. *Anal. Biochem.* 1967. Vol. 18. P. 46–53. doi.org/10.1016/0003-2697(67)90054-1
12. Rousseau F., Haguenoer J. M., Lesieur D., Gamot A. P. Gas-chromatographic determination of levamisole in human plasma-normalization and reliability of the method. *European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics.* 1981. Vol. 6. P. 281–288. DOI: 10.1007/bf03189527
13. Marriner S., Galbraith E.A., Bogan J.A. Determination of the anthelmintic levamisole in plasma and gastrointestinal fluids by high-performance liquid chromatography. *Analyst.* 1980. Vol. 105. № 1255. P. 993–996. doi.org/10.1039/AN9800500993
14. Крамаренко В.Ф. Токсикологічна хімія. Київ: Головне видавництво видавничого об'єднання «Вища школа», 1989. 423с.
15. Камман К. Работа з іоноселективними електродами. Москва: Світ, 1972. 283 с.

REFERENCES:

1. Mashkovsky M.D. (1986) Medicines. Medicine, 624 p. [in Ukrainian].
2. Farber H.A. (1980) Clinical use of levamisole perspectives and warnings. Therapy archive. I. P. 95–100. [in Ukrainian].
3. Kovalev I.E. (1980) Levamisole as an immunostimulant. *Chem-pharm. J.* № 4. P. 115–121. [in Ukrainian].
4. Adams J.G. (1978) Pharmacokinetics of levamisole. *J. Rheum.* Vol. 5. P. 137–142. [PubMed].
5. International Pharmacopoeia. T. 2. (1983) Specifications for quality control of pharmaceuticals. – Geneva.: World Health Organization. 364 p. [in English].
6. Woestenborghs R. (1981) Determination of levamisole in plasma and animal tissues by gas chromatography with thermionic specific detection. *Journal of Chromatography.* Vol. 224. P. 25–32. DOI: 10.1016/s0378-4347(00)80134-6
7. Kouassi E., Caille G., Lery L., Lariviere L., Vezina M. (1986) Novel assay and pharmacokinetics of levamisole and p-hydroxylevamisole in human plasma and urine. *Biopharm. Drug Dispos.* Vol. 7. P. 71–89. DOI: 10.1002/bdd.2510070110
8. Alvinerie M., Galtier P., Escoular G. (1981) Ion-pair high performance liquid chromatographic assay of levamisole in biological fluids. *J. Chromatogr.* Vol. 223. P. 445–448. DOI: 10.1016/s0378-4347(00)80120-6
9. Vandamme Th.F., Demoustier M., Rollmann B. (1995) Quantitation of levamisole in plasma using high performance liquid chromatography. *European journal of drug metabolism and pharmacokinetics.* Vol. 20. № 2. P. 145–149. DOI. org/10.1007/BF03226369
10. De Baere S., Cherlet M., Croubles S. (2003) Liquid Chromatographic determination of levamisole in animal plasma: ultraviolet versus tandem mass spectrometric detection. *Anal. Chim. Acta.* Vol. 483. P. 215–224. DOI: 10.1016/S0003-2670(02)01377-6
11. Holbrook A., Scales B. (1967) Polarographic determination of tetramisole hydrochloride in extracts of animal tissue. *Anal. Biochem.* Vol. 18. P. 46–53. doi.org/10.1016/0003-2697(67)90054-1
12. Rousseau F., Haguenoer J. M., Lesieur D., Gamot A. P. (1981) Gas-chromatographic determination of levamisole in human plasma-normalization and reliability of the method. *European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics.* Vol. 6. P. 281–288. DOI: 10.1007/bf03189527
13. Marriner S., Galbraith E.A., Bogan J.A. (1980) Determination of the anthelmintic levamisole in plasma and gastrointestinal fluids by high-performance liquid chromatography. *Analyst.* Vol. 105. № 1255. P. 993–996. doi.org/10.1039/AN9800500993
14. Kramarenko V.F. Toxicological chemistry. Kyiv: Head publishing house of the publishing association "Vishcha shkola", 1989 – 423p. [in Ukrainian].
15. Kamman K. Working with ion-selective electrodes. Mir, 1972. – 283 p. [in Ukrainian].

УДК 543

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

Жолт КОРМОШ

кандидат хімічних наук, професор

ORCID: 0000-0001-6018-8787

Scopus Author ID: 35580134800

Леонід ГНІТЕЦЬКИЙ

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

ORCID: 0000-0002-5677-457X

Андрій КОВАЛЬЧУК

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

ORCID: 0000-0001-5698-393X

Ігор САХАРУК

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

ORCID: 0000-0002-6145-4722

Олександр ХРИПЛЮК

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

ORCID: 0000-0002-3761-4087

Вадим ТЕСУНОВ

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

ORCID: 0009-0006-5833-3096

Анатолій КРОТ

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

ORCID: 0009-0005-0991-7717

Степан БОРИСЮК

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

ORCID: 000-0002-1718-8236

Людмила ПИСКАЧ

кандидат хімічних наук, 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., Гнітецький, Л., Ковальчук, А., Сахарук, І., Тесунов, В., Крот, А., Борисюк, С., Л., Піскач, Л. (2023). Фотометричне визначення фуросеміду в лікарських формах та біорідинах спортсменів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 11–15, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-2>

ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ФУРОСЕМІДУ В ЛІКАРСЬКИХ ФОРМАХ ТА БІОРІДИНАХ СПОРТСМЕНІВ

Показано, що фуросемід (ФУР) з поліметиновим барвником астрафлорин FF (АФ) утворює іонний асоціат (ІА). Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем ФУР + АФ⁺ та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+. Отримані ІА досить добре екстрагуються різними ароматичними вуглеводнями. Максимальне виділення ІА з водної фази досягається при рН 5–9. Вивчено вплив концентрації барвника на оптичну густину толуольних екстрактів іонних асоціатів ФУР з АФ. Екстракція ІА досягає максимального значення при концентрації барвника $(1,5 - 3,0) \cdot 10^{-4}$ М. Рівновага екстракції досягається за 50–60 с. Стехіометрію ІА ФУР з АФ встановлено спектрофотометричними методами ізомольних серій та зсуву рівноваги; співвідношення компонентів складає 1:1. Запропоновано схему утворення та екстракції ІА. Умовний молярний коефіцієнт поглинання ІА становить $1,0 \cdot 10^5$. Градувальний графік залежності оптичної густини екстрактів від концентрації ФУР описується рівнянням прямої $A = 0,012 + 0,051c$ в інтервалі концентрації 0,8–45,6 мг/см³ ФУР. Межа виявлення ФУР, розрахована за 3s-критерієм ($n = 5$; $P = 0,95$), становить 0,7 мг/см³. Розроблена методика екстракційно-фотометричного визначення фуросеміду в лікарських формах та біорідинах спортсменів.

Ключові слова: фуросемід, екстракція, іонний асоціат, фотометричне визначення.

Zholt KORMOSH

PhD, Professor

ORCID: 0000-0001-6018-8787

Scopus Author ID: 35580134800

Leonid HNITETSKII

Candidate of Sciences in Physical Education and Sports, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational Technologies and Law, St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023

ORCID: 0000-0002-5677-457X

Andrii KOVALCHUK

Senior Lecturer at the Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational Technologies and Law, St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023

ORCID: 0000-0001-5698-393X

Igor SAKHARUK

Senior Lecturer at the Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational Technologies and Law, St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023

ORCID: 0000-0002-6145-4722

Oleksandr HRYPLIUK

Senior Lecturer at the Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational Technologies and Law, St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023

ORCID: 0000-0002-3761-4087

Vadym TESUNOV

Teacher of the Highest Category, Teacher-Methodologist Cycle Committee on Professional and Practical Training, "Lutsk Professional College of Recreational Technologies and Law", St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023; Lecturer at the Department of Educational, Pedagogical Technologies; Academy of Recreational Technologies and Law; St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023

ORCID: 0009-0006-5833-3096

Anatolii KROT

Teacher of the Highest Category, Cycle Commission on Basic and Fundamental Training, "Lutsk Professional College of Recreational Technologies and Law", St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023; Lecturer at the Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational Technologies and Law, St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023

ORCID: 0009-0005-0991-7717

Stepan BORYSIUK

Associate Professor at the Department of Educational, Pedagogical Technologies, Academy of Recreational Technologies and Law, St. Karbysheva, 2, Lutsk, Ukraine, 43023

ORCID: 000-0002-1718-8236

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., Hnitetyskiy, L., Kovalchuk, A., Sakharuk, I., Tesunov, V., Krot, A., Borysiuk, S., L., Piskach, L. (2023). Fotometrychne vyznachennia furosemidu v likarskykh formakh ta bioridynakh sportsmeniv [Photometric determination of furosemide in dosage forms and biofluids of athletes]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 11–15, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-2>

PHOTOMETRIC DETERMINATION OF FUROSEMIDE IN MEDICINAL FORMS AND BIOFLUIDS OF ATHLETES

It was shown that furosemide (FUR) with the polymethine dye astrafoxin FF (AF) forms an ion associate (IA). Using the method of mathematical modeling, the energy efficiency of the formation of the IA is substantiated. Molecular modeling of FUR + AF⁺ systems and related calculations were carried out using the HyperChem 8.0 package for various initial options for the arrangement of counterions relative to each other ("single point" procedure). Geometrical optimization of ions was carried out using the MM+ molecular mechanics method. The resulting AIs are fairly well extracted with various aromatic hydrocarbons. The maximum extraction of IA from the aqueous phase is achieved at pH 5-9. The effects of dye concentration on the optical density of toluene extracts of ionic associates of FUR with AF was studied. IA extraction reaches its maximum value at a dye concentration of $(1.5-3.0) \cdot 10^{-4}$ M. The extraction equilibrium is reached in 50–60 s. The stoichiometry of IA FUR with AF was determined by spectrophotometric methods of isomolar series and equilibrium shift; the ratio of components is 1:1. A scheme for the formation and extraction of IA is proposed. The conditional molar absorption coefficient of IA is $1.0 \cdot 10^5$.

The graduation graph of the dependence of the optical density of the extracts on the concentration of FUR is described by the equation of the straight line $A = 0.012 + 0.051c$ in the concentration range of 0.8 – 45.6 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ of FUR. The detection limit of FUR, calculated according to the 3s criterion ($n = 5$; $P = 0.95$), is 0.7 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$. A method of extraction-photometric determination of furosemide in dosage forms and biofluids of athletes was developed.

Key words: furosemide, extraction, ion associate, photometric determination.

Вступ. Фуросемід (ФУР) володіє антигіпертензивною, сечогінною дією; потужний діуретик швидкої і короткочасної дії; діє на мозковий сегмент висхідної частини петлі Генле; підвищує вибіркоче виведення іонів натрію максимум до 35% і, залежно від дози, стимулює ренін-ангіотензин-альдостеронову систему; до настання справжнього діуретичного ефекту знижує переднавантаження серця у результаті розширення магістральних судин, при збереженій функції нирок і за відсутності виражених набряків (Безуглий, 2008).

При тривалому застосуванні у високих дозах – гіпокаліємія, гіпонатріємія, гіпокальціємія, гіпо-

волемія, дегідратація і схильність до тромбоутворення, інших порушень водно-електролітного балансу організму, гіпотензія, діарея, запор, порушення слуху, висипання, лейкопенія, агранулоцитоз, тромбоцитопенія, анафілактичний шок, тимчасове підвищення рівня креатиніну, сечовини, холестерину і тригліцеридів у крові, а також прискорене виділення іонів кальцію із сечею, погіршення наявного ЦД та подагри або прояви симптомів латентного до того часу ЦД, при застосуванні більш високих доз хворими похилого віку можливий розвиток циркуляторного колапсу (Нековаль, Казанюк, 2011).

У спорті діуретики застосовуються спортсменами з метою: – швидкого зменшення маси тіла (до 2 кг за 2–3 доби) – це характерно для таких видів спорту – боротьба, дзюдо, бокс, де необхідно відповідати конкретній ваговій категорії у змаганнях, а також для гімнастів, стрибунів у висоту, атлетів, жокейів, де зайва вага може перешкоджати успішному виступу; – для зневоднення організму («зайвої» підшкірної води) та підсушування м'язів – це характерно для бодібілдингу, щоб на змаганнях виглядати пружними, підсмаженими; – для прискорення виведення допінгових препаратів перед змаганнями – для прискорення виведення анаболічних стероїдів, психотропних препаратів або інших заборонених препаратів, у зв'язку з цим діуретики були включені до списку заборонених речовин Всесвітньої антидопінгової агенції [3–5] (Штригол, 2016; Павлова, Виноградський, 2011; Cadwallader, de la Torre, Tieri, Botrè, 2010). Існує чимало випадків, коли спортсменів, зокрема і Українських, дискваліфікували через використання діуретиків (Темний бік перемог, 2010).

Отже, є необхідність розробки методик визначення діуретиків.

Мета роботи – розробити методику визначення фуросеміду а провести апробацію в реальних об'єктах.

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

Апаратура. Спектрофотометричні вимірювання проводили на спектрофотометрі СФ-2000

(ЛОМО, Росія) в кварцових кюветах. рН розчинів контролювали потенціометрично іономіром AI-123 (MLsoft Instruments, Україна) зі скляним електродом.

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

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Математичне моделювання утворення ІА.

Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоефективність формування ІА. Молекулярне моделювання систем «ФУР⁻ + АФ⁺» та пов'язані з ним розрахунки проводили з використанням пакета «HyperChem 8.0» для різноманітних початкових варіантів розташування протіонів відносно один одного (процедура «single point»). Геометричну оптимізацію іонів проводили методом молекулярної механіки ММ+.

Стандартну ентальпію (ΔH_0) утворення іонів та асоціату «ФУР⁻ + АФ⁺» визначали напівемпіричним методом РМЗ. Параметри цих методів підібрані таким чином, щоб вони дозволяли найкращим чином відтворювати експериментальні значення ΔH_0 органічних сполук. Як

Таблиця 1

Енергетичні характеристики взаємодії ФУР⁻ + АФ⁺

Частинка	Е, кДж/моль
АФ ⁺	24 187
ФУР ⁻	14142,6
Σ (ФУР ⁻ + АФ ⁺)	38329,6
ФУР ⁻ –АФ ⁺	38680,6
Σ (ФУР ⁻ + АФ ⁺) – ФУР ⁻ –АФ ⁺	350,9

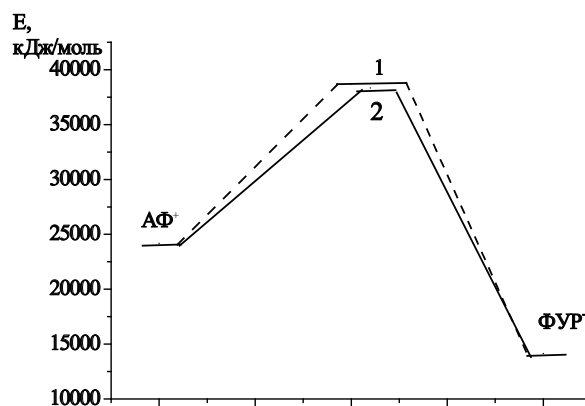


Рис. 1. Рівні енергії іонів ФУР⁻, АФ⁺ та їх ІА; (1) сума енергій ФУР⁻ + АФ⁺ і (2) енергія ІА

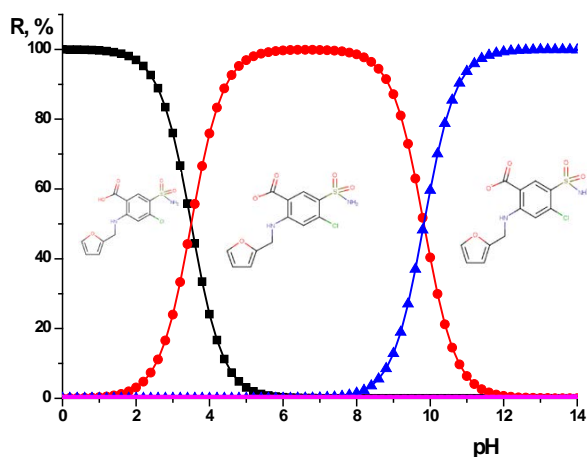


Рис. 2. Діаграма розподілу різних форм фуросеміду від кислотності середовища

приклад у табл. 1 та рис. 1 наведені енергетичні характеристики взаємодії «ФУР⁻ + АФ⁺».

Як видно, різниця в енергії утворення іонного асоціату і суми енергій утворення його компонентів дорівнює 350,9 кДж/моль. Отже, процес утворення ІА є термодинамічно вигідним.

Оптимальні умови для екстракції. ФУР є кислотою середньої сили ($pK = 3,9$) (Ventura, Segura, 1996). Як видно з рис.2, в межах рН 4-10 домінує однозарядна аніонна форма. Вище рН 10 фуросемід переходить у двозарядний аніон. Залежно від кислотності середовища АФ може перебувати у трьох формах – однозарядної іонної (R^+), протонованої (RH^{2+}) та „гідролізованої“ (ROH). Відповідні константи протолізу АФ складають: $pK_1 = -1,18$ (константа протонування) та $pK_2 = 13,6$ (константа гідролізу) (Bazel, Kormosh, Tolmachev, 2002). Барвник АФ у широкому інтервалі рН у водних розчинах домінує у вигляді однозарядної іонної форми, яка характеризується інтенсивним забарвленням: молярний коефіцієнт світлопоглинання при 540 нм становить $1,1 \cdot 10^5$.

Результати експериментального дослідження впливу кислотності водної фази на екстракцію толуолом ІА ФУР з АФ, показало, що рН максимальної екстракції ІА становить 5–9.

Вивчено вплив концентрації барвника на оптичну густину толуольних екстрактів іонних асоціатів ФУР з АФ. Екстракція ФУР досягає максимального значення при концентрації АФ $(1,5-3,0) \cdot 10^{-4}$ М, після чого оптична густина екстрактів практично не змінюється (надлишок барвника залишається у водній фазі). Рівновага екстракції досягається за 50–60 с.

Таблиця 2

Результати визначення фуросеміду у лікарських формах

Препарат	Вміст згідно специфікації, мг	Знайдено, мг
ФУРОСЕМІД, ЗАТ НВЦ «Борщагівський ХФЗ»	40	39±1
ФУРОСЕМІД, АТ «Галичфарм»	40	40±1
ФУРОСЕМІД-ДАРНИЦЯ, ЗАТ «Фармацевтична фірма «Дарниця»	40	40±2

Таблиця 3

Результати визначення фуросеміду у сечі спортсменів

Проба	Введено, мг	Знайдено, мг
1	50	50±2
2	60	59±1
3	100	98±2
4	55	55±1
5	60	60±1

Іонні асоціати досить добре екстрагуються різними ароматичними вуглеводнями. Враховуючи високу токсичність і канцерогенність бензолу, найкращими визнані *o*-ксилол та толуол. Надалі використовували толуол, тому що при цьому світлопоглинання екстракту контрольного дослідження є мінімальним.

Стехіометрію ІА Ф з АФ досліджували спектрофотометричними методами ізомолярних серій та зсуву рівноваги; співвідношення компонентів складає 1:1.

Умовний молярний коефіцієнт поглинання ІА становить $1,0 \cdot 10^5$. Градувальний графік залежності оптичної густини екстрактів від концентрації ФУР описується рівнянням прямої $A = 0,012 + 0,051c$ в інтервалі концентрацій 0,8–45,6 мкг/см³ ФУР. Межа виявлення ФУР, розрахована за 3 σ -критерієм ($n = 5$; $P = 0,95$), становить 0,7 мкг/см³. Розроблена методика екстракційно-фотометричного визначення фуросеміду в лікарських формах та біорідинах спортсменів.

Результати визначення фуросеміду наведено в таблицях 2, 3.

Висновки. Показано, що фуросемід (ФУР) з поліметиновим барвником астрафлосин FF (АФ) утворює іонний асоціат (ІА). Методом математичного моделювання обґрунтовано енергоєфективність формування ІА. Макси-

мальне вилучення ІА з водної фази досягається при рН 5–9. Вивчено вплив концентрації барвника на оптичну густину толуольних екстрактів іонних асоціатів ФУР з АФ. Екстракція ІА досягає максимального значення при концентрації барвника $(1,5-3,0) \cdot 10^{-4}$ М. Рівновага екстракції досягається за 50–60 с. Стехіометрію ІА ФУР з АФ встановлено спектрофотометричними методами ізомолярних серій та зсуву рівноваги; співвідношення компонентів складає 1:1. Запропоновано схему утворення та екстракції

ІА. Умовний молярний коефіцієнт поглинання ІА становить $1,0 \cdot 10^5$. Градувальний графік залежності оптичної густини екстрактів від концентрації ФУР описується рівнянням прямої $A = 0,012 + 0,051c$ в інтервалі концентрацій 0,8–45,6 мкг/см³ ФУР. Межа виявлення ФУР, розрахована за 3s-критерієм ($n = 5$; $P = 0,95$), становить 0,7 мкг/см³. Розроблена методика екстракційно-фотометричного визначення фуросеміду в лікарських формах та біорідинах спортсменів.

ЛІТЕРАТУРА:

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

REFERENCES:

1. Pharmaceutical chemistry: [arch. March 11, 2021]: textbook/ ed. P.O. Bezugliy. – Vinnytsia: Nova Kniga, 2008. – 560 p. – ISBN 978-966-382-113-9. – P. 305. [in Ukrainian]
2. Nekoval I.V., Kazanyuk T.V. Pharmacology: textbook. – 4th ed., corrected. – K.: VSV "Medicine", 2011. – 520 p. ISBN 978-617-505-147-4.
3. Shtrygol S.Yu. Diuretyky. Farmatsevychna entsyklopediya [Pharmaceutical encyclopedia]. Kh: NFaU; 2016. [in Ukrainian]. Available from: <http://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2549/diuretiki>
4. Pavlova Yu, Vynogradskyy B. Vidnovlennya u sporti [Recovery in sports]. Monografiya. L: LDUFK; 2011. 204 s. [in Ukrainian]
5. Cadwallader A.B, de la Torre X, Tieri A, Botrè F. The abuse of diuretics as performance-enhancing drugs and masking agents in sport doping: pharmacology, toxicology and analysis. *British Journal of Pharmacology*. 2010;161:1-16. PMID: 20718736. PMCID: PMC2962812. DOI: 10.1111/j.1476-5381.2010.00789.x
6. <https://gk-press.if.ua/x3068/>
7. Ventura R. and Segura J., Detection of Diuretic Agents in Doping Control. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, Vol. 687, № 1, 1996, pp. 127–144. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4347\(96\)00279-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4347(96)00279-4).
8. Bazel Ya., Kormosh Zh., Tolmachev A. State of polymethine (styryl and carbocyanine) indolium derivatives in aqueous solution and their analytical properties. *J. Analyt. Chem*. 2002. 57. P. 118–124. <https://doi.org/10.1023/A:1014091218429>

УДК 547.759 + 547.856 + 58.072

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

Наталія САВІНЧУК

інженер відділу хімії функціональних гетероциклічних систем, Інститут органічної хімії Національної академії наук України, вул. Академіка Кухаря, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0003-1115-1798

Алла ВАСЬКЕВИЧ

кандидат хімічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу хімії функціональних гетероциклічних систем, Інститут органічної хімії Національної академії наук України, вул. Академіка Кухаря, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0003-0370-6626

Леся САЛІЄВА

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Наталія СЛИВКА

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Михайло БОВК

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

ORCID: 0000-0003-1753-3535

Бібліографічний опис статті: Савінчук, Н., Васькевич, А., Салієва, Л., Сливка, Н., Вовк, М. (2023). Антиоксидантна дія 1-(арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 16–23, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-3>

АНТИОКСИДАНТНА ДІЯ 1-(АРИЛСУЛЬФАНІЛМЕТИЛ)- 2,3-ДИГІДРОПІРОЛО[1,2-*a*]ХІНАЗОЛІН-5(1*H*)-ОНІВ

Предметом представленої роботи є дослідження антиоксидантних властивостей нових представників сірководневої функціоналізованих піролохіназолінонових структур – 1-(арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **3**, нещодавно синтезованих авторами електрофільною циклізацією відповідних 2-(3-бутеніл)хіназолінонів **2** арилсульфенілхлоридами **1**. Молекулярний каркас такого типу сполук є поєднанням двох привілейованих скафолдів – хіназолінонового та пірольного, кожен з яких відзначається потужним фармакологічним профілем.

Для оцінки антиоксидантної активності синтезованих 1-(арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **3a-k** (серія із 11 сполук) використовували аналіз інгібування радикалів 1,1-дифеніл-2-пікрілгідразилу (DPPH) в умовах близьких до фізіологічних при концентрації 5 мМ. В ролі стандартної сполуки використовували аскорбінову кислоту (AA). Встановлено, що усі досліджувані сполуки продемонстрували інгібування радикалів DPPH у діапазоні від 43.3 до 84.7%. За результатами проведеного скрінінгу ідентифіковано сполуки-хіти **3c**, **3f**, **3i** та **3j** із відсотком інгібування 56.2, 55.6, 55.8 та 84.7% відповідно.

Аналіз взаємозалежності «структура-активність» засвідчив позитивний вплив NO₂-групи у положенні 7 піроло[1,2-*a*]хіназолінонового скафолда на антиоксидантну активність досліджуваних сполук. Зокрема, похідна **3j**, яка поєднує в одній молекулярній платформі 4-FC₆H₄SC₂H₅ та 7-NO₂-групи продемонструвала найкращу здатність інгібувати радикали DPPH (84.7%). Натомість, заміна атома фтору на електронодонорну метильну групу призвела до зниження активності на 28% (сполука **3e**).

Ключові слова: дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-они, сульфанілметилфункціоналізовані похідні, антиоксидантна активність, взаємозалежність «структура-активність».

Nataliia SAVINCHUK

Engineer at the Department of Chemistry of Functional Heterocyclic Systems, Institute of Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Academician Kukhar str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-1115-1798

Alla VASKEVYCH

Ph.D., Senior Research at the Department of Chemistry of Functional Heterocyclic Systems, Institute of Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Academician Kukhar str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-0370-6626

Lesya SALIYEVA

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Nataliia SLYVKA

Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Organic Chemistry and Pharmacy, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Avenue, Lutsk, 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 Academician Kukhar str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

To cite this article: Savinchuk, N., Vaskevych, A., Saliyeva, L., Slyvka, N., Vovk, M. (2023). Antyoksydantna diia 1-(arylsulfanilmetyl)-2,2-dyhidropirololo[1,2-*a*]khinazolin-5(1*H*)-oniv [Antioxidant activity of 1-(arylsulfunylmethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazoline-5(1*H*)-ones]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 16–23, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-3>

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF 1-(ARYLSULFANYLMETHYL)-2,3-DIHYDRO-PYRROLO[1,2-*a*]QUINAZOLIN-5(1*H*)-ONES

The aim of the current study is the evaluation of the antioxidant properties of new sulfur-functionalized pyrroloquinazolinone structures, 1-(arylsulfanylmethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones **3**, recently synthesized by the authors via arylsulfenyl chlorides **1** initiated electrophilic cyclization of the corresponding 2-(3-butenyl)quinazolinones **2**. The molecular framework of this type of compounds is a result of two privileged scaffolds combination – quinazolinone and pyrrole, both with a powerful pharmacological profile.

To evaluate the antioxidant activity of the synthesized 1-(arylsulfanylmethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones **3a-k** (a series of 11 compounds), the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical inhibition test was used under conditions close to physiological at a concentration of 5 mM with ascorbic acid (AA) as a control. It was found that all tested compounds demonstrated inhibition of DPPH radicals in the range from 43.3 to 84.7%. Based on the screening results, the hit compounds **3c**, **3f**, **3i** and **3j** were identified with an inhibition percentage of 56.2, 55.6, 55.8 and 84.7%, respectively.

The “structure-activity” relationship revealed a positive effect of the NO₂ group at position 7 of pyrrolo[1,2-*a*]quinazolinone scaffold on the antioxidant activity of the studied compounds. In particular, the derivative **3j**, containing 4-FC₆H₄SCH₂ and 7-NO₂ groups, demonstrated the best ability to inhibit DPPH radicals (84.7%). On the other hand, the replacement of the fluorine atom with an electron-donating methyl group led to a 28% decrease in activity (compound **3c**).

Key words: dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones, sulfanylmethyl-functionalized derivatives, antioxidant activity, «structure-activity» relationship.

Актуальність проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. Конденсовані піримідинові системи по праву відносяться до ключових об'єктів досліджень сучасної органічної та медичної хімії, оскільки відзначаються потужним діапазоном біологічної дії [1–5]. В масиві поліциклічних піримідинових сполук важливе місце займають гідровані піролохіназоліони, молекулярний каркас яких складається із двох привілейованих гетероциклічних ядер – хіназолінонового [6–8] та пірольного [9–14], що характеризуються широким фармакологічним профілем. Так, для низки виділених із природної сировини лінійно-анельованих піроло[2,1-*b*]хіназоліонів, ідентифікованих як алкалоїди вазицинон (**I**), деоксивазицинон (**II**) та 8-гідроксывазицинон (**III**) (рис. 1), притаманна антибронхіальна, протизапальна, протимікробна та антидепресантна активність [15–19]. Не менш значимими об'єктами для біомедичних досліджень видаються ангулярно-анельовані похідні піроло[1,2-*a*]хіназолінону, серед яких знайдені перспективні депресанти центральної нервової системи (**IV**) [20], седативні агенти (**V**) [21] та інгібітори бромодоменів білків PB1 та SMARCA 4 (**VI**) [22–23]

Нещодавно [24] ми розробили зручний регіоселективний метод синтезу нового типу сірковмісних піроло[1,2-*a*]хіназолінових сполук – 1-(арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **1**, який ґрунтувався на електрофільній циклізації відповідних 2-(3-бутеніл)хіназоліонів **2** під дією арилсульфенілхлоридів **3** у розчині нітродетану в присутності літію перхлорату як «допінг-добавки» (схема 1). Зазначимо, що сполуки типу **1** є представниками небагато чисель-

них 1-функціоналізованих піроло[1,2-*a*]хіназоліонів [25]. Їх незаміщений по пірольному ядру аналог був виділений із плодів японського каштана (*Castanecrenata*) у 2015 році [26].

Раніше при вивченні антимікробної дії сполук типу **3** виявлено, що вони відзначаються помірною активністю по відношенню до штамів бактерій *Staphylococcus aureus* 25923, *Escherichiacoli* ATCC 25922, *Bacillus cereus* 10702, *Proteus vulgaris* ATCC 4636, *Proteusaeruginosa* ATCC 27853, *Proteus mirabilis* ATCC 410) та грибка *Candidaalbicans* ATCC 885/653 [27]. Метою поданої роботи стало проведення скринінгових досліджень, скерованих на оцінку антиоксидантних властивостей сірковмісних піролохіназоліонів **3a-k**.

Відомо, що антиоксиданти відіграють важливу роль у профілактиці захворювань, викликаних вільними радикалами [28], знижуючи ризик їх виникнення шляхом інгібування процесів окиснення, обумовлених реактивними формами кисню [29]. У фізіологічних умовах концентрація вільних радикалів, зокрема реактивних форм кисню, регулюється системами антиоксидантного захисту. Низькомолекулярні антиоксиданти зазвичай пом'якшують окиснювальне пошкодження клітин за рахунок поглинання радикалів і ферментативного розкладу кисневих метаболітів [30].

Варто відзначити, що серед масиву біологічно важливих елементів сірка є необхідним компонентом фізіологічного функціонування живих організмів і входить до складу амінокислот, білків, ферментів та мікроелементів [31–32]. Такі життєво необхідні сірковмісні сполуки як цистеїн, метіонін, таурин, глутатіон та N-ацилцистеїн показали виражені антиоксидантні властивості [33–35].

Експериментальна частина

Дослідження антиоксидантної активності

Для оцінки антиоксидантної активності синтезованих сполук використовували аналіз інгібу-

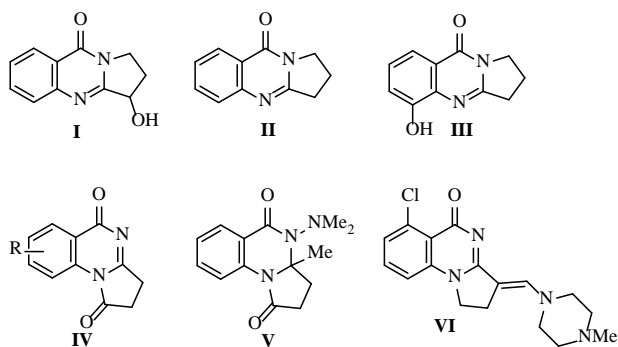


Рис. 1. Приклади деяких біологічно активних піроло[2,1-*b*]хіназоліонів (**I–III**) та піроло[1,2-*a*]хіназоліонів (**IV–VI**)



Схема 1. Загальна схема синтезу 1-(арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів

Таблиця 1

Антиоксидантна активність сполук 3a-k

Сполука	Формула	% інгібування	Сполука	Формула	% інгібування
3a		52.7	3g		50.6
3b		52.3	3h		52.7
3c		56.2	3i		55.8
3d		49.6	3j		84.7
3e		43.3	3k		51.5
3f		55.6	AA		98.7

вання радикалів 1,1-дифеніл-2-пікрілгідразилу (DPPH) згідно із описаною методикою [36]. До метанольних розчинів досліджуваних сполук 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:

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

Де A_{blank} – абсорбція контрольної реакції (включає всі реагенти, крім досліджуваних сполук);

$A_{\text{sample+DPPH}}$ – абсорбція досліджуваних сполук після 60 хв інкубації з розчином DPPH;

A_{sample} – абсорбція досліджуваних сполук без розчину DPPH.

Результати та обговорення

1-(Арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло [1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-они **3a-k**, структури яких приведені у табл. 1, були протестовані *in vitro* на їх здатність інгібувати радикали DPPH [36].

Оцінку активності їх поглинання похідними **3** (метанольний розчин, вимірювання після 60 хв) здійснювали при концентрації 5 мМ. Такий підхід дозволив швидко виявляти потенційні сполуки-хіти при економії часу та кількостей речовин. Як стандартну сполуку використовували аскорбінову кислоту (AA). Результати скринінгу активності поглинання радикалів при концентрації 5 мМ сполук **3a-k** представлені на рис. 2. Усі досліджувані сполуки продемонстрували інгібування радикалів DPPH у діапазоні від 43.3 до 84.7%. Зокрема, за результатами проведеного скринінгу ідентифіковано сполуки-хіти **3c**, **3f**, **3i** та **3j** із відсотком інгібування 56.2, 55.6, 55.8 та 84.7% відповідно.

Аналіз взаємозалежності «структура-активність» засвідчив позитивний вплив NO₂-групи у положенні 7 піроло[1,2-*a*]хіназолінового

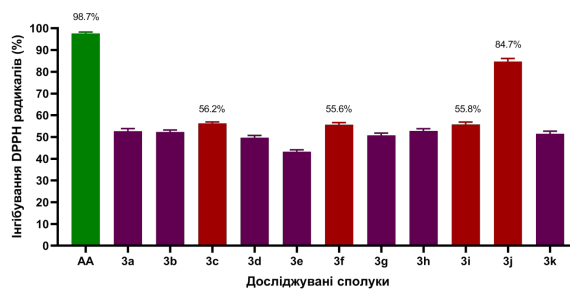


Рис. 2. Інгібування DPPH радикалів 1-(арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло [1,2-*a*] хіназолін-5(1*H*)-онами **3a-k** за концентрації 5 мМ

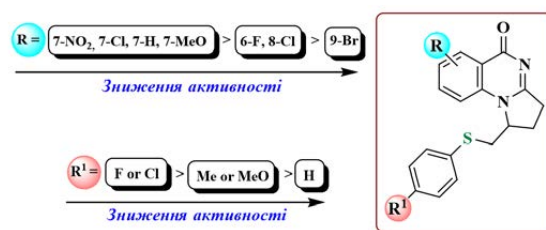


Рис. 3. Взаємозв'язок «структура-активність» 1-(арилсульфанілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **3a-k**

скафолда на антиоксидантну активність досліджуваних сполук. Так, похідні **3j** та **3c** продемонстрували найкращу здатність інгібувати радикали DPPH (84.7 та 56.2% відповідно). Також слід відзначити і вплив атома фтору у *para*-положенні арилсульфанілметильного фрагмента на здатність сполуки проявляти антиоксидантну дію. Саме поєднання в одній молекулярній платформі 4-FC₆H₄SCH₂- та 7-NO₂-груп продемонструвало найкращий антирадикальний ефект (сполука **3j**). Натомість, заміна атома фтору на електродонорну метильну групу призвела до зниження активності на 28% (сполука **3c**).

Наглядно узагальнюючий вплив електронних параметрів та місце положення замісників у піроло[1,2-*a*]хіназоліновому ядрі на антиоксидантну активність продемонстровано на рис. 3.

Отримані результати є достатньо обнадійливими для подальшого поглибленого дослідження і пошуку антиоксидантних агентів серед похідних піроло[1,2-*a*]хіназолінонів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Seboletsw, P., Awolade, P., Singh, P. Recent developments on the synthesis and biological activities of fused pyrimidinone derivatives. *Chem. Med. Chem.* 2021. 16 (13). 2050–2067. <https://doi.org/10.1002/cmcd.202100083>
2. Abbas, N., Swamy, G.P.M., Dhiwar, P.S., Patel, S., Devasahayam, G. Fused and substituted pyrimidine derivatives as profound anti-cancer agents. *Anti-Cancer Agents Med. Chem.* 2021. 21 (7). 861–893. <https://doi.org/10.2174/1871520620666200721104431>

3. Li, W., Zhang, J., Wang, M., Dong, R., Zhou, X., Zheng, X., Sun, L. Pyrimidine-fused dinitrogenous pentaheterocycles as a privileged scaffold for anti-cancer drug discovery. *Curr. Top. Med. Chem.* 2022. 22 (4). 284–304. <https://doi.org/10.2174/156802662266622011143949>
4. Yadav, T.T., Shaikh, G.M., Kumar, M.S., Chintamaneni, M., Yc, M. A review on fused pyrimidine systems as EGFR inhibitors and their structure-activity relationship. *Front. Chem.* 2022. 10. 861288. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.861288>
5. Dai, X.J., Xue, L.P., Ji, S.K., Zhou, Y., Gao, Y., Zheng, Y.C., Liu, H.M., Liu, H.M. Triazole – fused pyrimidines in target – based anticancer drug discovery. *Eur. J. Med. Chem.* 2023. 249. 115101. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2023.115101>
6. Gatadi, S., Lakshmi, T.V., Nanduri, S. 4(3H)-Quinazolinone derivatives: promising antibacterial drug leads. *Eur. J. Med. Chem.* 2019. 170. 157–172. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.03.018>
7. Ghosh, P., Ganguly, B., Das, S. C–H functionalization of quinazolinones by transition metal catalysis. *Org. Biomol. Chem.* 2020. 18 (24). 4497–4518. <https://doi.org/10.1039/D0OB00742K>
8. Alsibae, A.M., Al-Yousef, H.M., Al-Salem, H.S. Quinazolinones, the winning horse in drug discovery. *Molecules.* 2023. 28 (3). 978. <https://doi.org/10.3390/molecules28030978>
9. Pathania, S., Rawal, R.K. Pyrrolopyrimidines: an update on recent advancements in their medicinal attributes. *Eur. J. Med. Chem.* 2018. 157. 503–526. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.201808.023>
10. Adel, M., Serya, R.A.T., Lasheen, D.S., Abouzid, K.A.M. Pyrrolopyrimidine, a multifaceted scaffold in cancer targeted therapy. *Drug Res.* 2018. 68 (9). 485–498. <https://doi.org/10.1055/s-0044-101256>
11. Petri, G.L., Spano, V., Spatola, R., Holl, R., Raimondi, M.V., Barraja, P., Montalbano, A. Bioactive pyrrole – based compounds with target selectivity. *Eur. J. Med. Chem.* 2020. 208. 112783. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112783>
12. Seipp, K., Geske, L., Opatz, T. Marine Pyrrole Alkaloids. *Mar. Drugs.* 2021. 19 (9). 514. <https://doi.org/10.3390/md19090514>
13. Jeelan Basha, N., Basavarajaiah, S. M., Shyamsunder, K. Therapeutic potential of pyrrole and pyrrolidine analogs: an update. *Mol. Divers.* 2022. 26 (5). 2915–2937. <https://doi.org/10.1007/s11030-022-10387-8>
14. Lambert, B., Semmler, A., Beer, C., Voisey, J. Pyrroles as a potential biomarker for oxidative stress disorders. *Int. J. Mol. Sci.* 2023. 24 (3). 2712. <https://doi.org/10.3390/ijms24032712>
15. Mhaske, S.B., Argade, N.P. The chemistry of recently is lated naturally occurring quinazolinone alkaloids. *Tetrahedron.* 2006. 62. 9787–9826. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2006.07.098>
16. Al-Shamma, A., Drake, S., Flynn D.L., Mitscher, L.A., Park Y.H., Rao, G.S., Simpson, A., Swayze, J.K., Veysoglu, T., Wu, S.T. Antimicrobial agents from higher plants. Antimicrobial agents from Peganumharmada seeds. *J. Nat. Prod.* 1981. 44. 745–747. <https://doi.org/10.1021/np50018a025>
17. Michael, J.P. Quinoline, quinazoline and acridone alkaloids. *Nat. Prod. Rep.* 2008. 25. 166–187. <https://doi.org/10.1039/B612168N>
18. Liu, J.F., Ye, P., Sprague, K., Sargent, K., Yohannes, D., Baldino, C.M., Wilson, C.J., Ng, S.C. Novel one-pot total syntheses of deoxyvasicinone, mackinazolinone, isaindigotone, and their derivatives promoted by microwave irradiation. *Org. Lett.* 2005, 7(15), 3363–3366. <https://doi.org/10.1021/ol0513084>
19. Mori, M., Kobayashi, H., Kimura, M., Ban, Y. One-pot synthesis of quinazoline derivatives by use of palladium catalyzed carbonylation. *Heterocycles.* 1985. 23. 2803–2806. <https://doi.org/10.3987/R-1985-11-2803>
20. Krichner, F.K., Zalay, A.W. 3-Amino-2,3-dihydro-4(1H)quinazolinones. US Patent 3843654. 1974.
21. Honda, T., Enomoto, H., Kawashima, K., Takaoka, S., Fujioka, Y., Matsuda, M., Ohashi, K., Fujita, Y., Hirai, S.I., Kurashima, H. Novel compound having PARP inhibitory activity. *WO Patent* 2013008872/A1. 2013.
22. Sutherland, C. L., Tallant, C., Monteiro, O.P., Yapp, C., Fuchs, J.E., Fedorov, O., Siejka, P., Müller, S., Knapp, S., Brenton, J. D., Brennan, P. E., Ley, S.V. Identification and development of 2,3-dihydropyrrolo [1,2-*a*] quinazolin-5(1H)-one inhibitors targeting bromodomains within the switch/sucrose nonfermenting complex. *J. Med. Chem.* 2016. 59(10). 5095–5101. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.5b01997>
23. Vangamudi, B., Paul, T.A., Shah, P.K., Kost-Alimova, M., Nottebaum, L., Shi, X., Zhan, Y., Leo, E., Mahadeshwar, H.S., Protopopov, A., Futreal, A., Tieu, T.N., Peoples, M., Heffernan, T.P., Marszalek, J.R., Toniatti, C., Petrocchi, A., Verhelle, D., Owen, D.R., Andersen, J.N. The SMARCA2/4 ATPase domain surpasses the bromodomains as a drug target in SWI/SNF-mutant cancers: insights from cDNA rescue and PFI-3 inhibitor studies. *Cancer Research.* 2015. 75(18). 3865–3878. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-14-3798>
24. Vaskevych, A.I., Savinchuk, N.O., Vaskevych, R.I., Rusanov, E.B., Vovk, M.V. Chalcogenation/pyrrolo(pyrido) annulations of 2-(3-butenyl)quinazolin-4(3H)-ones by arylsulfenyl(selenyl) chlorides. *Tetrahedron.* 2022. 111. 132722. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2022.132722>
25. Vaskevych, A.I., Savinchuk, N.O., Vaskevych, R.I., Rusanov, E.B., Grygorenko, O.O., Vovk, M.V. The PIFA-initiated oxidative cyclization of 2-(3-butenyl)quinazolin-4(3H)-ones – an efficient approach to 1-(hydroxymethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1H)-ones. *Beilst. J. Org. Chem.* 2021. 17. 2787–2794. <https://doi.org/10.3762/bjoc.17.189>

26. Савінчук, Н., Васькевич, А., Яковинчук, Н., Грозав, А., Васькевич, А., Панчук, О., Салієва, Л., Сливка, Н., Вовк, М. Оцінка протимікробної дії халькогенвмісних піроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 1. 54–63. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-8>
27. Cho, J.Y., Bae, S.H., Kim, H.K., Lee, M.L., Choi, Y.S., Jin, B.R., Lee, H. J., Jeong, H.Y., Lee, Y.G., Moon, J.H. New quinolinone alkaloids from chestnut (*Castanea crenata* Sieb) honey. *J. Agric. Food Chem.* 2015. 63(13). 3587–3592. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01027>
28. Thirunavukkarasu, P., Ramkumar, L., Ramanathan, T., Silambarasan, G. Antioxidant activity of selected coastal medicinal plants. *World J. Fish and Marine Sci.* 2010. 2(2). 134–137.
29. Battin, E.E., Brumaghim, J.L. Antioxidant activity of sulfur and selenium: a review of reactive oxygen species scavenging, glutathione peroxidase, and metal-binding antioxidant mechanisms. *Cell. Biochem. Biophys.* 2009. 55. 1–23. <https://doi.org/10.1007/s12013-009-9054-7>
30. Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Inter.* 2006. 160(1). 1–40. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2005.12.009>
31. Parcel, S. Sulfur in human nutrition and applications in medicine. *Altern. Med. Rev.* 2002. 7(1). 22–44. <https://altmedrev.com/wp-content/uploads/2019/02/v7-1-22.pdf>
32. Atmaca, G. Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. *Yonsei Medical Journ.* 2004. 45(5). 776–788. <https://doi.org/10.3349/ymj.2004.45.5.776>
33. Pappa, A., Franco, R., Schoneveld, O., Galanis, A., Sandaltzopoulos, R., Panayiotidis, M.I. Sulfur-containing compounds in protecting against oxidant-mediated lung diseases. *Curr. Med. Chem.* 2007. 14(24). 2590–2596. <https://doi.org/10.2174/092986707782023262>
34. Mukwevho, E., Ferreira, Z., Ayeleso, A. Potential role of sulfur-containing antioxidant systems in highly oxidative environments. *Molecules.* 2014. 19(12). 19376–19389. <https://doi.org/10.3390/molecules191219376>
35. Gaucher, C., Boudier, A., Bonetti, J., Clarot, I., Leroy, P., Parent, M. Glutathione: antioxidant properties dedicated to nanotechnologies. *Antioxidants.* 2018. 7(5). 62. <https://doi.org/10.3390/antiox7050062>
36. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology.* 28(1). 1995. 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

REFERENCES:

1. Seboletswe, P., Awolade, P., Singh, P. Recent developments on the synthesis and biological activities of fused pyrimidinone derivatives. *Chem. Med. Chem.* 2021. 16 (13). 2050–2067 [in English].
2. Abbas, N., Swamy, G.P.M., Dhiwar, P.S., Patel, S., Devasahayam, G. Fused and substituted pyrimidine derivatives as profound anti-cancer agents. *Anti-Cancer Agents Med. Chem.* 2021. 21 (7). 861–893 [in English].
3. Li, W., Zhang, J., Wang, M., Dong, R., Zhou, X., Zheng, X., Sun, L. Pyrimidine-fused dinitrogenous pentaheterocycles as a privileged scaffold for anti-cancer drug discovery. *Curr. Top. Med. Chem.* 2022. 22 (4). 284–304 [in English].
4. Yadav, T.T., Shaikh, G.M., Kumar, M.S., Chintamaneni, M., Yc, M. A review on fused pyrimidine systems as EGFR inhibitors and their structure-activity relationship. *Front. Chem.* 2022. 10. 861288 [in English].
5. Dai, X.J., Xue, L.P., Ji, S.K., Zhou, Y., Gao, Y., Zheng, Y.C., Liu, H.M., Liu, H.M. Triazole – fused pyrimidines in target – based anticancer drug discovery. *Eur. J. Med. Chem.* 2023. 249. 115101 [in English].
6. Gatadi, S., Lakshmi, T.V., Nanduri, S. 4(3*H*)-Quinazolinone derivatives: promising antibacterial drug leads. *Eur. J. Med. Chem.* 2019. 170. 157–172 [in English].
7. Ghosh, P., Ganguly, B., Das, S. C–H functionalization of quinazolinones by transition metal catalysis. *Org. Biomol. Chem.* 2020. 18 (24). 4497–4518 [in English].
8. Alsibae, A.M., Al-Yousef, H.M., Al-Salem, H.S. Quinazolinones, the winning horse in drug discovery. *Molecules.* 2023. 28 (3). 978 [in English].
9. Pathania, S., Rawal, R.K. Pyrrolopyrimidines: an update on recent advancements in their medicinal attributes. *Eur. J. Med. Chem.* 2018. 157. 503–526 [in English].
10. Adel, M., Serya, R.A.T., Lasheen, D.S., Abouzid, K.A.M. Pyrrolopyrimidine, a multifaceted scaffold in cancer targeted therapy. *Drug Res.* 2018. 68 (9). 485–498 [in English].
11. Petri, G.L., Spano, V., Spatola, R., Holl, R., Raimondi, M.V., Barraja, P., Montalbano, A. Bioactive pyrrole – based compounds with target selectivity. *Eur. J. Med. Chem.* 2020. 208. 112783 [in English].
12. Seipp, K., Geske, L., Opatz, T. Marine Pyrrole Alkaloids. *Mar. Drugs.* 2021. 19 (9). 514 [in English].
13. Jeelan Basha, N., Basavarajaiah, S. M., Shyamsunder, K. Therapeutic potential of pyrrole and pyrrolidine analogs: an update. *Mol. Divers.* 2022. 26 (5). 2915–2937 [in English].
14. Lambert, B., Semmler, A., Beer, C., Voisey, J. Pyrroles as a potential biomarker for oxidative stress disorders. *Int. J. Mol. Sci.* 2023. 24 (3). 2712 [in English].

15. Mhaske, S.B., Argade, N.P. The chemistry of recently is lated naturally occurring quinazolinone alkaloids. *Tetrahedron*. 2006. 62. 9787–9826 [in English].
16. Al-Shamma, A., Drake, S., Flynn D.L., Mitscher, L.A., Park Y.H., Rao, G.S., Simpson, A., Swayze, J.K., Veysoglu, T., Wu, S.T. Antimicrobial agents from higher plants. Antimicrobial agents from Peganumharmada seeds. *J. Nat. Prod.* 1981. 44. 745–747 [in English].
17. Michael, J.P. Quinoline, quinazoline and acridonealkaloids. *Nat. Prod. Rep.* 2008. 25. 166–187 [in English].
18. Liu, J.F., Ye, P., Sprague, K., Sargent, K., Yohannes, D., Baldino, C.M., Wilson, C.J., Ng, S.C. Novel one-pot total syntheses of deoxyvasicinone, mackinazolinone, isaindigotone, and their derivatives promoted by microwave irradiation. *Org. Lett.* 2005, 7(15), 3363–3366 [in English].
19. Mori, M., Kobayashi, H., Kimura, M., Ban, Y. One-pot synthesis of quinazoline derivatives by use of palladium catalyzed carbonylation. *Heterocycles*. 1985. 23. 2803–2806 [in English].
20. Krichner, F.K., Zalay, A.W. 3-Amino-2,3-dihydro-4(1H)quinazolinones. *US Patent* 3843654. 1974 [in English].
21. Honda, T., Enomoto, H., Kawashima, K., Takaoka, S., Fujioka, Y., Matsuda, M., Ohashi, K., Fujita, Y., Hirai, S.I., Kurashima, H. Novel compound having PARP inhibitory activity. *WO Patent* 2013008872/A1. 2013 [in English].
22. Sutherland, C. L., Tallant, C., Monteiro, O.P., Yapp, C., Fuchs, J.E., Fedorov, O., Siejka, P., Müller, S., Knapp, S., Brenton, J. D., Brennan, P. E., Ley, S.V. Identification and development of 2,3-dihydropyrrolo[1,2-a]quinazolin-5(1H)-one inhibitors targeting bromodomains within the switch/sucrose nonfermenting complex. *J. Med. Chem.* 2016. 59(10). 5095–5101 [in English].
23. Vangamudi, B., Paul, T.A., Shah, P.K., Kost-Alimova, M., Nottebaum, L., Shi, X., Zhan, Y., Leo, E., Mahadeshwar, H.S., Protopopov, A., Futreal, A., Tieu, T.N., Peoples, M., Heffernan, T.P., Marszalek, J.R., Toniatti, C., Petrocchi, A., Verhelle, D., Owen, D.R., Andersen, J.N. The SMARCA2/4 ATPase domain surpasses the bromodomains as a drug target in SWI/SNF-mutant cancers: insights from cDNA rescue and PFI-3 inhibitor studies. *Cancer Research*. 2015. 75(18). 3865–3878 [in English].
24. Vaskevych, A.I., Savinchuk, N.O., Vaskevych, R.I., Rusanov, E.B., Vovk, M.V. Chalcogenation/pyrrolo(pyrido) annulations of 2-(3-butenyl)quinazolin-4(3H)-ones by arylsulfenyl(selenyl) chlorides. *Tetrahedron*. 2022. 111. 132722 [in English].
25. Vaskevych, A.I., Savinchuk, N.O., Vaskevych, R.I., Rusanov, E.B., Grygorenko, O.O., Vovk, M.V. The PIFA-initiated oxidative cyclization of 2-(3-butenyl)quinazolin-4(3H)-ones – an efficient approach to 1-(hydroxymethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-a]quinazolin-5(1H)-ones. *Beilst. J. Org. Chem.* 2021. 17. 2787–2794 [in English].
26. Savinchuk, N., Vaskevych, A., Yakovychuk, N., Hrozav, A., Vaskevych, A., Panchuk, O., Saliieva, L., Slyvka, N., Vovk, M. Otsinka protymikrobnoi dii khalkohenovmisnykh pirolo[1,2-a]khinazolin-5(1H)-oniv. *Problemy khimii ta staloho rozvytku*. 2022. 1. 54–63 [in Ukrainian].
27. Cho, J.Y., Bae, S.H., Kim, H.K., Lee, M.L., Choi, Y.S., Jin, B.R., Lee, H. J., Jeong, H.Y., Lee, Y.G., Moon, J.H. New quinolinone alkaloids from chestnut (*Castanea crenata* Sieb) honey. *J. Agric. Food Chem.* 2015. 63(13). 3587–3592 [in English].
28. Thirunavukkarasu, P., Ramkumar, L., Ramanathan, T., Silambarasan, G. Antioxidant activity of selected coastal medicinal plants. *World J. Fish and Marine Sci.* 2010. 2(2). 134–137 [in English].
29. Battin, E.E., Brumaghim, J.L. Antioxidant activity of sulfur and selenium: a review of reactive oxygen species scavenging, glutathione peroxidase, and metal-binding antioxidant mechanisms. *Cell. Biochem. Biophys.* 2009. 55. 1–23 [in English].
30. Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Inter.* 2006. 160(1). 1–40 [in English].
31. Parcel, S. Sulfur in human nutrition and applications in medicine. *Altern. Med. Rev.* 2002. 7(1). 22–44 [in English].
32. Atmaca, G. Antioxidant effects of sulfur-containing amino acids. *Yonsei Medical Journ.* 2004. 45(5). 776–788 [in English].
33. Pappa, A., Franco, R., Schoneveld, O., Galanis, A., Sandaltzopoulos, R., Panayiotidis, M.I. Sulfur-containing compounds in protecting against oxidant-mediated lung diseases. *Curr. Med. Chem.* 2007. 14(24). 2590–2596 [in English].
34. Mukweho, E., Ferreira, Z., Ayeleso, A. Potential role of sulfur-containing antioxidant systems in highly oxidative environments. *Molecules*. 2014. 19(12). 19376–19389 [in English].
35. Gaucher, C., Boudier, A., Bonetti, J., Clarot, I., Leroy, P., Parent, M. Glutathione: antioxidant properties dedicated to nanotechnologies. *Antioxidants*. 2018. 7(5). 62 [in English].
36. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*. 28(1). 1995. 25–30 [in English].

ЕКОЛОГІЯ

УДК 502.51: 556.53(477.82)

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

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

Ольга КАРАЇМ

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

ORCID: 0000-0002-1722-4110

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

Оксана ВОЙЦЕХОВСЬКА

здобувач вищої освіти, кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

Бібліографічний опис статті: Джам, О., Караїм, О., Лавринюк, З., Войцеховська, О., (2023). Екологічний стан поверхневих вод р. Сапалаївка. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 24–31, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-4>

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД Р. САПАЛАЇВКА

Водні ресурси забезпечують усі сфери життя і господарської діяльності людини, визначають можливості розвитку промисловості й сільського господарства, розміщення населених пунктів, організації відпочинку й оздоровлення людей. Також не потрібно забувати, що практично всі великі річки України є інтегрованими в єдину гідрологічну систему, яка функціонує і за межами нашої держави. Забруднюючі речовини, які потрапили у воду на території однієї країни, легко можуть мігрувати до інших і спричиняти негативні наслідки. Тож необхідно здійснювати спостереження, контролювати якість води а також поєднувати зусилля і засоби держав для охорони водних ресурсів.

У роботі проведено дослідження якості поверхневих вод річки Сапалаївка Волинської області протягом 2019–2020 рр. Виконано структурування даних основних статистичних характеристик для ряду хімічних показників води у створах. Проаналізовано динаміку фізико-хімічних показників протягом визначеного періоду. Проведено порівняльний аналіз концентрацій компонентів сольового складу річкових вод.

Проведено екологічну оцінку якості поверхневих вод р. Сапалаївка за блоковими індексами: показників сольового складу, трофо-сапробіологічного складу та показників специфічних речовин токсичної дії. Відповідно до розрахованого значення комплексного екологічного індексу виділено класи і категорії якості поверхневих вод за ступенем їх забруднення. Визначені за цими показниками класи і категорії якості вод відображають природний стан водного об'єкта і ступінь антропогенного навантаження, а також необхідні для планування водоохоронної діяльності, здійснення екологічного і еколого-економічного районування і картографування. Визначений і досліджений вплив природних і антропогенних факторів на формування хімічного складу і якості річкових вод басейну досліджуваної річки.

Ключові слова: поверхневі води, екологічна оцінка, якість води.

Olena DZHAM

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

Olha KARAIM

PhD of Economics, Associate Professor, 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

Zoryana LAVRYNYUK

PhD of Chemistry, Associate Professor, 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

Oksana VOYTSEKHOVSKA

Student at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

To cite this article: Dzham, O., Karaim, O., Lavrynyuk, Z., Voytsekhovska, O., (2023). Ekolohichnyi stan poverkhnevyykh vod r. Sapalaivka [Ecological condition of the surface waters of the Sapalaivka river]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 24–31, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-4>

ECOLOGICAL CONDITION OF THE SURFACE WATERS OF THE SAPALAIVKA RIVER

Water resources provide all spheres of human life and economic activity, determine the possibilities for the development of industry and agriculture, the placement of settlements, the organization of recreation and the improvement of people's health. It should also not be forgotten that almost all large rivers of Ukraine are integrated into a single hydrological system that functions outside the borders of our country. Pollutants that have entered the water in one country can easily migrate to other countries and cause negative consequences. Therefore, it is necessary to monitor, control the quality of water, as well as combine the efforts and means of the states to protect water resources.

Water resources provide all spheres of human life and economic activity, determine the possibilities for the development of industry and agriculture, the placement of settlements, the organization of recreation and the improvement of people's health. It should also not be forgotten that almost all large rivers of Ukraine are integrated into a single hydrological system that functions outside the borders of our country. Pollutants that have entered the water in one country can easily migrate to other countries and cause negative consequences. Therefore, it is necessary to monitor, control the quality of water, as well as combine the efforts and means of the states to protect water resources.

In the work, a study of the surface water quality of the Sapalaivka River of the Volyn region during 2019–2020. Data structuring of basic statistical characteristics for a number of chemical indicators of water in the body was carried out. The dynamics of physical and chemical indicators during the specified period were analyzed. A comparative analysis of concentrations of the components of the saline composition of river waters was carried out.

An ecological assessment of the surface water quality of the Sapalaivka Sapalaivka River was carried out according to block indices: indicators of salt composition, tropho-saprobiological composition and indicators of specific toxic substances. According to the calculated value of the complex ecological index, the classes and categories of surface water quality according to the degree of their pollution are selected. The classes and categories of water quality determined by these indicators reflect the natural state of the water body and the degree of anthropogenic load, and are also necessary for planning water protection activities, implementing ecological and ecological-economic zoning and mapping. The influence of natural and anthropogenic factors on the formation of the chemical composition and quality of river waters of the studied river basin was determined and investigated.

Key words: nature reserve, flora and fauna, ecological status.

Актуальність проблеми. Вода є однією із основних складових існування людини, найбільш необхідним компонентом для усіх форм життя. Одним із найважливіших чинників нормальної життєдіяльності людини звичайно є її забезпече-

ність чистою і фізіологічно повноцінною водою. В результаті інтенсивної антропогенної діяльності, практично всі елементи та речовини, так чи інакше потрапляють до гідросфери. При надмірному використанні водних ресурсів відбуваються

зміни гідрологічного режиму водних об'єктів, кількості води, складових водного балансу, і при цьому суттєво змінюється якість води.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання гідрохімії річкових вод описані у (Вишневський В. І., 2000). Оцінка екологічного стану річок Волині зроблена у (Мольчак Я. О., 1999; Тімченко З. В., 2000). Методика оцінки якості поверхневих вод представлена у (Величко О. М., 2002; Романенко В. Д., 1998).

Метою дослідження є гідрохімічний аналіз якості поверхневих вод річки Сапалаївка, екологічний стан води у річці.

Виклад основного матеріалу дослідження. Річка Сапалаївка належить до басейну р. Стир і є її правою притокою першого порядку. Протікає річка по території Волинської області (зі сходу на захід перетинає місто Луцьк та трохи виходить за межі міста в Луцькому районі). (Вишневський В. І., 2000).

Довжина р. Сапалаївка – 12,4 км (в межах Луцька – 8,3 км), площа басейну – 39,2 км². Пересічна ширина річища становить 2 м, долини – 1 км. Річище є прямолінійне, місцями штучно спрямлене. Річка не має приток довжиною більше 10 км. Коефіцієнт густоти мережі (без врахування річок з довжиною менше 10 км) складає 0,33 км/км². (Мольчак Я. О., 1999).

Аналіз даних, які характеризують схили долини, заплаву та русло річки показують, що в басейні р. Сапалаївка в межах її заплави мають розвиток процеси заболочування та підтоплення, на бортах долини – лінійна та площинна ерозія. Карстові явища в межах басейну мають практично повсюдне поширення, але ступінь прояву їх низька. Просадочність ґрунтів відмічається у верхній частині басейну в межах лісової височини. (Мольчак Я. О., 1999; Тімченко З. В., 2000).

Моніторинг стану якості поверхневих вод річки Сапалаївка проводився у 2019 – 2020 роках. Основними показниками, що бралися до уваги: завислі речовини, рН, розчинений кисень, БСК5, хлориди, сульфати, фосфати, азот амонійний, нітратний та нітритний, феноли, залізо загальне, мідь, цинк, хром, кремній, СПАР, нафтопродукти. Оцінка якості поверхневих вод здійснювалася на основі аналізу отриманих даних стосовно величин гідрохімічних показників у порівнянні з відповідними значеннями їх ГДК та фоновими показниками.

Нижче наведені графіки зміни вмісту деяких речовин.

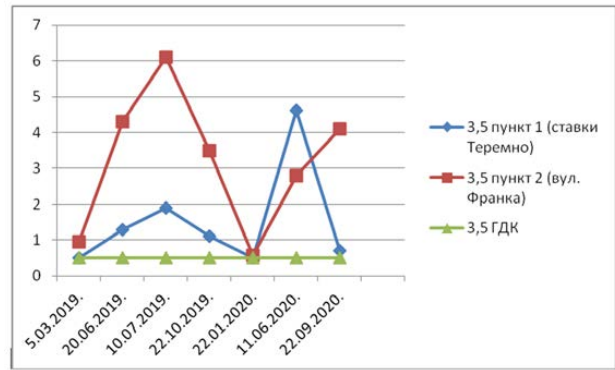


Рис. 1. Динаміка вмісту іонів амонію, мг/дм³

Протягом усього досліджуваного періоду вміст іонів амонію у річці Сапалаївка постійно перебуває вище меж нормативного значення. У липні 2019 р. таке значення лежить у межах більше 12 ГДК (вул. Франка) і у червні 2020 року це перевищення складає 9 ГДК (ставки Теремно).

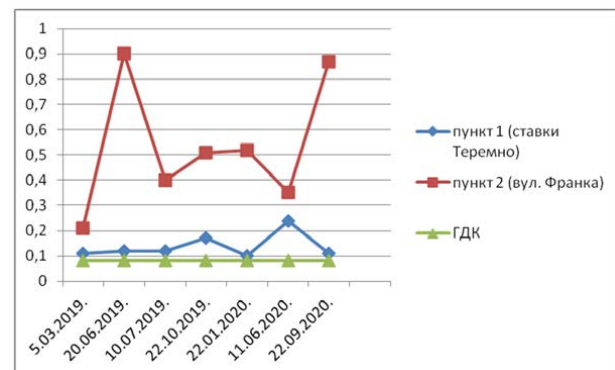


Рис. 2. Динаміка вмісту нітритів, мг/дм³

Крива вмісту нітритів лежить значно вище лінії ГДК для пункту спостереження 1. У червні 2019 року та у вересні 2020 року таке перевищення лежить в межах 11 ГДК.

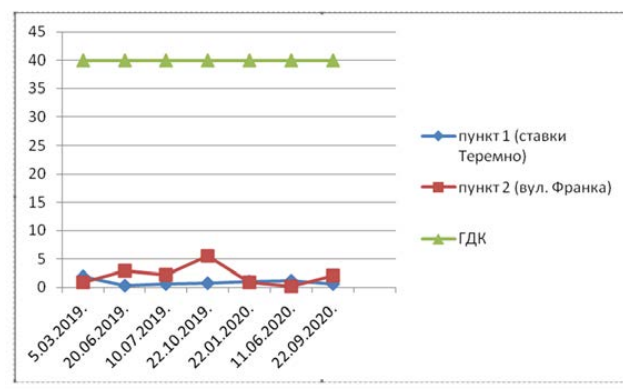


Рис. 3. Динаміка вмісту нітратів, мг/дм³

Показники вмісту нітратів є досить незначними в обох створах і лежать в межах норм ГДК.

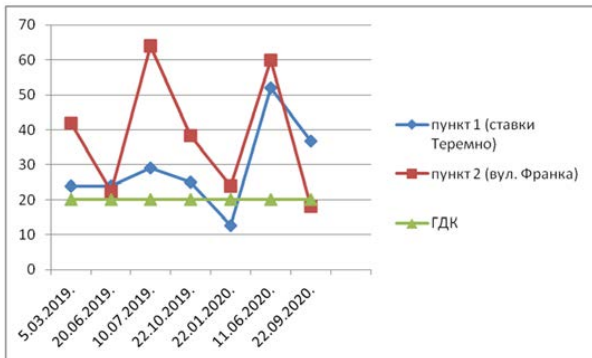


Рис. 4. Динаміка вмісту завислих речовин, мг/дм³

Протягом 2019–2020 рр. можна спостерігати різке коливання показників вмісту завислих речовин. У пункті 2 їх кількість значно перевищує ніж у ставках Теремно. По двох створах іде перевищення ГДК. У липні 2019 р. таке значення лежить у межах більше 3 ГДК.

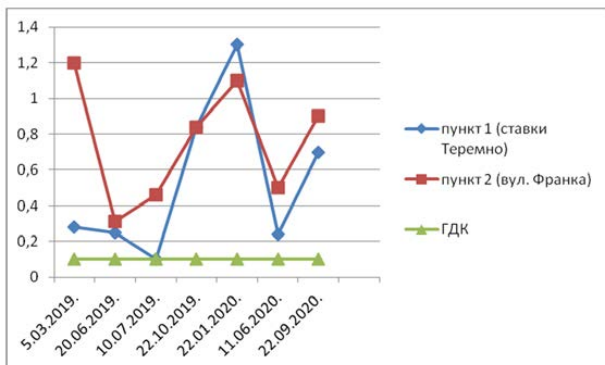


Рис. 5. Динаміка вмісту заліза загального, мкг/дм³

Вміст заліза загального у водах р. Сапалаївка в обох пунктах спостережень протягом усього часу перевищував допустимі норми. У межах ГДК цей показник знаходився лише в липні 2019 р. у ставках Теремно, проте, у січні 2020 року він є найбільшим і перевищує допустимий рівень у 13 разів.

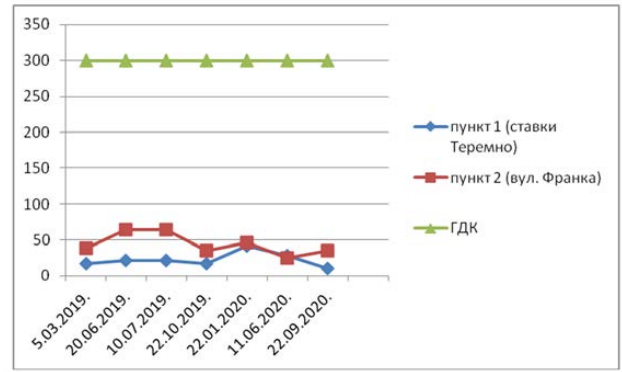


Рис. 6. Динаміка вмісту хлоридів, мг/дм³

Вміст хлоридів у річці Сапалаївка перебуває в межах нормативного значення та не перевищує ГДК протягом усього досліджуваного періоду.

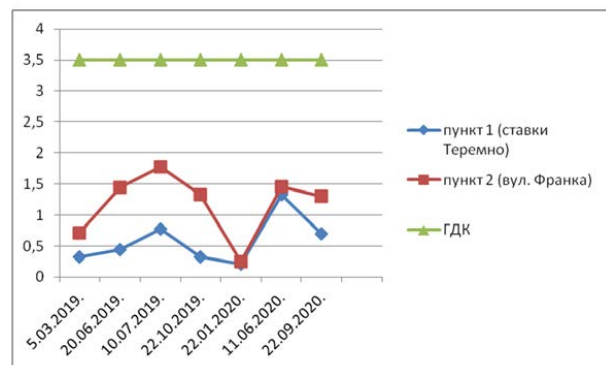


Рис. 7. Динаміка вмісту фосфатів, мг/дм³

Вміст фосфатів протягом усього досліджуваного періоду не перевищує значень ГДК в обох пунктах дослідження.

Визначені значення індексу забруднення компонентами сольового складу показані на рис. 8.

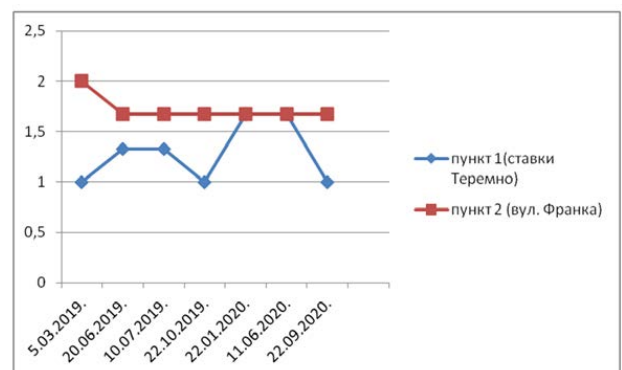


Рис. 8. Динаміка індексу забруднення компонентами сольового складу, I₁

Таблиця 1

Класи та категорії якості води відповідно до значення блокового індексу I_1 у пункті спостереження 1 (ставки Теремно)

дата відбору проб	П	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	1	1	I	відмінні	відмінні	дуже чисті	дуже чисті
20.06.2019.	1,33	1	I	відмінні	відмінні	дуже чисті	дуже чисті
10.07.2019.	1,33	1	I	відмінні	відмінні	дуже чисті	дуже чисті
22.10.2019.	1	1	I	відмінні	відмінні	дуже чисті	дуже чисті
22.01.2020.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
11.06.2020.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.09.2020.	1	1	I	відмінні	відмінні	дуже чисті	дуже чисті

Таблиця 2

Класи та категорії якості води відповідно до значення блокового індексу I_1 у пункті спостереження 2 (вул. Франка)

дата відбору проб	П	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	2	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
20.06.2019.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
10.07.2019.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.10.2019.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.01.2020.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
11.06.2020.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.09.2020.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті

Згідно значень індексу I_1 поверхневі води річки Сапалаївка віднесені до певних класів та категорій якості води (табл. 1.) – ставки Теремно та (табл. 2.) – вул. Франка.

Динаміка індексу трофо-сапробіологічних показників представлена на рис. 9.

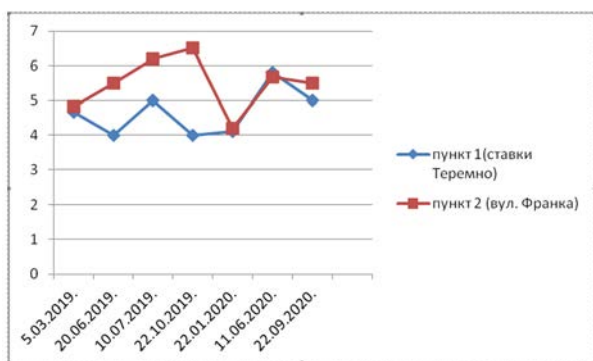


Рис. 9. Динаміка індексу трофо-сапробіологічних показників, I_2

Відповідно до значень індексу I_2 встановлена якість води річки у річці. (табл. 3., 4.).

Яких значень набуває індекс специфічних показників токсичної протягом досліджуваного періоду можна побачити на рисунку 10.

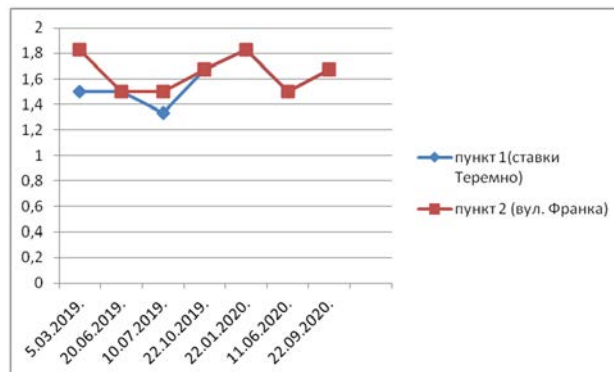


Рис. 10. Динаміка індексу специфічних показників токсичної дії, I_3

Класи і категорії води за індексом I_3 досліджуваного створу визначені у табл. 5. та табл. 6.

Завершальний етап досліджень – визначення комплексного екологічного індексу (рис. далі).

Таблиця 3

**Класи та категорії якості води відповідно до значення блокового індексу I_2
у пункті спостереження 1 (ставки Теремно)**

дата відбору проб	I_2	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	4,67	5	III	задовільні	посередні	забруднені	помірно забруднені
20.06.2019.	4	4	III	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
10.07.2019.	5	5	III	задовільні	посередні	забруднені	помірно забруднені
22.10.2019.	4	4	III	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
22.01.2020.	4,1	4	III	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
11.06.2020.	5,8	6	IV	погані	погані	брудні	брудні
22.09.2020.	5	5	III	задовільні	посередні	забруднені	помірно забруднені

Таблиця 4

**Класи та категорії якості води відповідно до значення блокового індексу I_2
у пункті спостереження 2 (вул. Франка)**

дата відбору проб	I_2	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	4,83	5	III	задовільні	посередні	забруднені	помірно забруднені
20.06.2019.	5,5	5	III	задовільні	посередні	забруднені	помірно забруднені
10.07.2019.	6,2	6	IV	погані	погані	брудні	брудні
22.10.2019.	6,5	6	IV	погані	погані	брудні	брудні
22.01.2020.	4,2	4	III	задовільні	задовільні	забруднені	слабко забруднені
11.06.2020.	5,67	6	IV	погані	погані	брудні	брудні
22.09.2020.	5,5	5	III	задовільні	посередні	забруднені	помірно забруднені

Таблиця 5

**Класи та категорії якості води відповідно до значення блокового індексу I_3
у пункті спостереження 1 (ставки Теремно)**

дата відбору проб	I_3	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	1,5	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
20.06.2019.	1,5	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
10.07.2019.	1,33	1	I	відмінні	відмінні	дуже чисті	дуже чисті
22.10.2019.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.01.2020.	1,83	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
11.06.2020.	1,5	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.09.2020.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті

Таблиця 6

**Класи та категорії якості води відповідно до значення блокового індексу I_3
у пункті спостереження 2 (вул. Франка)**

дата відбору проб	I_3	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	1,83	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
20.06.2019.	1,5	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
10.07.2019.	1,5	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.10.2019.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.01.2020.	1,83	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
11.06.2020.	1,5	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.09.2020.	1,67	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті

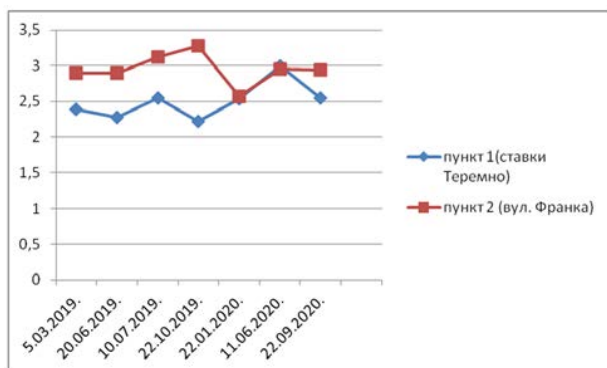


Рис. 11. Динаміка комплексного екологічного індексу, I_E

Класи та категорії якості води р. Сапалаївка згідно індексу I_E протягом 2019 р. та протягом 2020 р. представлено у таблицях 7. та 8. відповідно.

До головних водно-екологічних проблем річки Сапалаївки належать:

- значене заростання басейну річки різнотрав'ям, яке може призвести до заболочування території;
- забруднення прибережної зони побутовими відходами;
- скидання недостатньо очищених, або і зовсім не очищених стоків у річку об'єктами, які знаходять неподалік Сапалаївки (скиди

нечистот з приватних будинків жителів Луцька, які не підключені до каналізаційної мережі; звалище побутових відходів на вулиці Кліма Савура; каналізаційний колодязь «Луцькводоканалу» в районі вулиці Задворецька – пр. Волі; труби невідомого походження в парку 900-річчя Луцька; очисні споруди дощового стоку Луцького автозаводу; сміттєзбірники гуртожитків Луцького автозаводу; каналізаційний колодязь пивзаводу; обласна ветлабораторія);

- щільна забудова басейну Сапалаївки;
- побутові стоки подаються на очисні споруди міста, частина дощових вод відводиться в р. Сапалаївку без очистки по дощових колекторах. Різке збільшення об'єму стічних вод інколи призводить до виходу з ладу обладнання каналізаційних очисних споруд і в річку скидаються неочищені господарсько-побутові та технологічні стічні води частини міста.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Згідно аналізу отриманих результатів вимірювань забруднюючих речовин у воді річки Сапалаївка у 2019–2020 роках найбільші перевищення гранично допустимих концентрацій зафіксовані по вмісту іонів амонію, нітритів, заліза загального та завислих речовин. Вміст

Таблиця 7

Класи та категорії якості води відповідно до значення комплексного екологічного індексу I_E у пункті спостереження 1 (ставки Теремно)

дата відбору проб	I_E	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	2,39	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
20.06.2019.	2,28	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
10.07.2019.	2,55	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
22.10.2019.	2,22	2	II	добрі	дуже добрі	чисті	чисті
22.01.2020.	2,53	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
11.06.2020.	2,99	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
22.09.2020.	2,55	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті

Таблиця 8

Класи та категорії якості води відповідно до значення комплексного екологічного індексу I_E у пункті спостереження 2 (вул. Франка)

дата відбору проб	I_E	категорія якості	клас якості	клас якості за станом	категорія якості за станом	клас якості за ступенем чистоти	категорія якості за ступенем чистоти
5.03.2019.	2,89	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
20.06.2019.	2,89	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
10.07.2019.	3,12	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
22.10.2019.	3,28	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
22.01.2020.	2,57	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
11.06.2020.	2,95	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті
22.09.2020.	2,94	3	II	добрі	добрі	чисті	досить чисті

всіх інших досліджуваних компонентів знаходиться в межах норми за виключенням поодиноких випадків невеликого перевищення ГДК.

Протягом досліджуваного періоду клас якості води за станом в обох створах р. Сапалаївка можна охарактеризувати як «добрі» і категорію якості за станом як «добрі», клас якості за ступенем чистоти як «чисті», категорія якості за ступенем чистоти – «досить чисті».

Для оздоровлення річки та покращення

її екологічного стану потрібно встановити прибережні захисні смуги та водоохоронні зони, зменшити скиди стічних вод промислових підприємств за рахунок зниження водоемкості виробництва і використання водооборотних систем водопостачання, провести контроль підключення приватних будинків до центральної каналізаційної системи, забезпечити очистку промислових і господарсько-побутових стоків.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Величко О. М., Зеркалов Д. В. Контроль забруднення довкілля. К.: Либідь, 2002. 255 с.
2. Вишневський В. І. Річки і водойми України: стан і використання. К.: Віпол, 2000. 376 с.
3. Мольчак Я. О., Мігас Р. В. Річки Волині. Луцьк: Надстир'я, 1999. 176 с.
4. Романенко В. Д., Жукінський В. М. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. К.: Держмінекобезпеки України, 1998, 28 с.
5. Тімченко З. В. Оцінка екологічного стану малих річок. Луцьк: РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2000. 320 с.

REFERENCES:

1. Velychko, O. M., & Zerkalov, D. V. (2002). *Kontrol zabrudnennia dovkillia [Environmental pollution control]*. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].
2. Vyshnevskiy, V. I. (2000). *Richky i vodoimy Ukrainy: stan i vykorystannia [Rivers and reservoirs of Ukraine: state and use]*. Kyiv: Vipol [in Ukrainian].
3. Molchak, Ya. O., & Mihas, R. V. (1999). *Richky Volyni [Rivers of Volyn]*. Lutsk: Nadstyria [in Ukrainian].
4. Romanenko, V. D., & Zhukynskiy, V. M. (1998). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevykh vod za vidpovidnymy katehoriiami. [Methodology of environmental assessment of surface water quality by relevant categories]*. Kyiv: Derzhminekobepeky Ukrainy [in Ukrainian].
5. Timchenko, Z. V. (2000). *Otsinka ekolohichnoho stanu malykh richok. [Assessment of the ecological state of small rivers]*. Lutsk: RVV "Vezha" Volyn. derzh. un-tu im. Lesi Ukrainky Nadstyria [in Ukrainian].

УДК 502.51(282)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-5>

Єлизавета ЗАЛЕНСЬКА

аспірант кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041

ORCID: 0009-0006-5285-9863

Бібліографічний опис статті: Заленська, Є. (2023). Оцінка якості поверхневих вод для зрошення з використанням функції бажаності Харрінгтона. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 32–39, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-5>

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ БАЖАНОСТІ ХАРРІНГТОНА

Мета представлено дослідження полягала у вивченні існуючих підходів та розробленні власної методології узагальненого оцінювання фізико-хімічних та хіміко-токсикологічних показників складу поверхневих вод з метою їхнього використання для зрошення. Показано актуальність роботи через ключову роль іригації при вирішенні продовольчої проблеми на фоні глобальних змін клімату.

Метод агрегації окремих показників полягав у використанні функції бажаності Харрінгтона як широко відомого прийому кваліметрії. У якості субіндексів розраховано показники SAR та коефіцієнт зрошення за Стеблером. Шкали часткових бажаностей d_i для кожного окремого параметру складу та властивостей води складено на основі класифікації якості води для зрошення, які містять нормативні документи у даній області, а саме ДСТУ 2730:2015 Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії та ВНД 33-5.5-02-97 Вода для зрошення. Екологічні критерії.

Процедуру розрахунку індексу якості води для зрошення (ІЯВЗ) проводили із використанням власного програмного продукту WODA v0.6A, написаного мовою Python.

На прикладі оцінювання якості води річки Уманка (Черкаська обл.) продемонстровано результати застосування запропонованої методології у вигляді ІЯВЗ за 18 показниками (рН, каламутністю, сухим залишком, вмістом головних іонів мінеральної матриці, фосфатів, нітратного азоту, заліза загального, вмісту цинку, купруму, плюмбуму та кадмію, перманганатної окисності). Встановлено, що на зниження загальної оцінки якості впливають варіабельність показників рН, каламутності, гідрокарбонатної твердості та перманганатної окиснюваності. Кількісна оцінка якості води для потреб зрошення коливалася від 73% (добре) до 61% (задовільно). Априорі передбачуваним став факт погіршення якості річкової води нижче міста Умань.

Використання запропонованої методики стане у нагоді для організації просторово-часового моніторингу, обробки даних спостережень та моделювання якості води за будь-яким набором параметрів їхнього складу та властивостей для різних видів водокористування та водоспоживання.

Ключові слова: зрошення, індекс якості води, функція бажаності Харрінгтона, річка Уманка.

Yelyzaveta ZALENSKA

PhD Student in Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Geroiv oborony st., Kyiv, Ukraine, 03041

ORCID: 0009-0006-5285-9863

To cite this article: Zalenska, Ye. (2023). Otsinka yakosti poverkhnevyykh vod dlia zroshennia z vykorystanniam funktsii bazhanosti Kharrinhtona [Surface water quality assessment for irrigation using Harrington's desirability function]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 32–39, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-5>

SURFACE WATER QUALITY ASSESSMENT FOR IRRIGATION USING HARRINGTON'S DESIRABILITY FUNCTION

The research objective is to analyze the existing approaches and develop a generalized assessment methodology for surface water composition, including its physicochemical and chemical-toxicological parameters. The predicted field of water consumption is irrigation. The actuality of the research topic is the key role of irrigation in food problems against the backdrop of global climate change.

Harrington's desirability function, a well-known technique of qualimetry was used as an aggregation approach of individual water quality indicators. SAR indicators and the Stabler's irrigation coefficient were calculated as sub-indices. Scales of partial desirability d_i for each individual parameter of water composition and properties are compiled on the basis of water quality limitations for irrigation. The guidelines of such regulatory documents as Ukrainian State Standard DSTU 2730:2015 Environmental Protection. Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria, and a departmental regulatory document (DRD) 33-5.5-02-97 Water for irrigation. Environmental criteria are the basis for developing quality scales.

The procedure of the irrigation water quality index (IWQI) calculation was carried out using our own Python software product WODA v0.6A.

On the example of water quality assessment of the Umanka River (Cherkasy oblast), the results of the proposed methodology application in the form of an IWQI according to 18 indicators (a pH, turbidity, total dissolved solids TDS, the main ions of the mineral matrix, phosphates, nitrate nitrogen, total iron, the content of Zinc, Copper, Lead, and Cadmium, Kubel's permanganate index). It was established that the variability of a pH, turbidity, temporary hardness, and permanganate index were the main influence factors that responded to the overall quality assessment reduction. The qualitative assessment of water quality for irrigation purposes ranged from 73% (good) to 61% (satisfactory). A priori, the river water quality deterioration below Uman city was predictable.

The use of the proposed methodology would be useful for the organization of spatio-temporal monitoring, observation data processing, and modeling of water quality according to any set of water composition parameters and properties for various types of water use and consumption.

Key words: irrigation, water quality index, Harrington desirability function, Umanka River.

Актуальність проблеми. Продовольча проблема – напевне, найбільш небезпечний для людства в цілому наслідок глобальних змін клімату. Наразі на зрошуване землеробство припадає біля 90% антропогенного споживання прісної води, його використовують на 22% площі ріллі, воно забезпечує 40% світового виробництва продовольства (Lorenzo, 2022). Основою оцінки придатності води для зрошення є її хімічний склад, перш за все вміст головних йонів, так як вони вступають у різноманітні за своєю хімічною природою взаємодії з ґрунтовим поглинальним комплексом (Zaman, Shahid, & Heng, 2018). Так, внаслідок засолення ґрунтів при зрошенні щороку з сільськогосподарського обороту виводиться близько 10 млн. га угідь (Stavi, Priori, & Thevs, 2022).

Існують численні методичні підходи та методики оцінювання якості води для зрошення (Al Yousif, Chabuk, 2023). Найбільш поширеним слід визнати показник SAR (Sodium Absorption Ratio – відношення поглинання натрію), розроблений департаментом сільського господарства США (Wilcox, 1955). SAR – це відношення кількості еквівалентів Na^+ до суми $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. Він дозволяє оцінити стан флокуляції або дисперсії глинистих колоїдів ґрунту. Проте SAR є лише одним із комплексних показників визначення придатності води для зрошення, так як не враховує ґрунтові умови, вид зрошення (крапельне, дощування, фертигація тощо). Тому наразі відбувається активний науковий пошук та розроблення методів комплексного оцінювання води

для зрошення у вигляді так званих індексів якості води (ІЗВ) для зрошення (Irrigation water quality indexes – IWQI) (Simsek, Gunduz, 2007). Тому оцінювання якості природних вод з метою оцінювання ризиків для зрошуваних земель за хімічним складом є актуальною науковою та прикладною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше концепцію ІЯВ запропонував Р. К. Хортон в 1965 р. (Horton, 1965). Протягом наступних десятиріч розроблено значне різноманіття різних методик розрахунку ІЯВ в ряді країн світу (Канада, США, країни ЄС, Аргентина, Австралія, країни Африки, Азії (Chidiac at al., 2023)). Однак в цілому єдиного методологічного підходу до узагальненого оцінювання якості води у вигляді ІЯВ не існує. Так, в роботі Брауна (Brown at al., 1970) запропоновано єдиний чисельний критерій для відображення комплексного впливу значущих параметрів якості води. В роботі (Walski & Parker, 1974) ІЯВ розроблено для оцінювання якості локальних водних об'єктів – поверхневих вод поблизу м. Нешвілл, штат Теннесі, і представлено пропозиції щодо подальшого використання ІЯВ. У статті (Dinius, 1987) описано методику ІЯВ для екологічної оцінки рівня забруднення прісної води, цей індекс наразі так і цитують як індекс Дініуса. Автор (Smith, 1990) запропонував систему індексації якості води, призначену для поширення інформації про якість води і розуміння цієї оцінки пересічними споживачами.

Низка досліджень щодо моделей ІЯВ для зрошувальної води стосувалася для оцінки

ефективності їхнього використання в різних природно-кліматичних та ґрунтових умовах. Науковці (Shihab & Al-Rawi, 1994) продемонстрували успішне використання ІЯВ як інструменту управління якістю води річки Тигр у місті Мосул для різних цілей водоспоживання. Було визначено ІЯВ для зрошення водою річки Тигр між Аль-Шаркатом і Альбоаджиллом в Іраку (Numaan, 2008). Проведено оцінку стану і придатності води річки Сітарум у Малайзії для використання в сільському господарстві (Fulazzaky, 2009). Очевидним є географічний тренд досліджень, який охоплює засушливі території планети, де зрошення є необхідною умовою вирощування врожаю.

Можна припустити також, що стрімке зростання кількості наукових публікацій, присвячених розробці та застосуванню ІЯВ, зумовлене необхідністю вироблення методів та методик, які базуються на принципах узагальнення різних за природою, значимістю та рівнем небезпеки параметрів складу та властивостей природних вод з метою ведення прецизійного землеробства. Так, пошук лише у назвах статей за ключовими словами «Індекс якості води» (Water Quality Index) у базі даних Web of Science Core Collection видав таку кількість публікацій: перша половина 2023 р. – 1616, у 2022 р. – 4405; у 2021 р. – 4085; у 2020 . – 3595; у 2019 р. – 2843. Отже, протягом 5 років кількість публікацій зростає практично вдвічі, що є свідченням актуальності досліджень у області розробки та використання ІЯВ. Слід також зазначити, що статті індексуються у понад 30 наукових напрямках – від природничих наук до питань макроекономіки.

В Україні наукові дослідження у галузі інтегральної оцінки якості води для зрошення практично не проводяться. В основному оцінювання полягає у використанні традиційної системи поділу якості іригаційної води на класи «придатна», «обмежено придатна» та «непридатна» відповідно до вимог ДСТУ 7591:2014 Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії; ДСТУ 2730:2015. Якість доквілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії (Морозов О., Морозов В., Ісаченко, 2019).

Мета дослідження полягає в оцінюванні гідрохімічного складу поверхневих вод річки Уманки в межах Черкаської області по пунктах спостережень за критеріями вимог до якості

води для зрошення та узагальнення їх у вигляді індексу якості води для зрошення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз зразків води виконували у сертифікованій вимірювальній лабораторії якості води питної, природної, стічної кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води НУБіП України (сертифікат ДП «Укрметртестстандарт» № ПТ-426/21 від 22.10.2021 р.).

Відбір проб води проведено восени 2022 р. вздовж русла річки Уманка до її впадіння у р. Ятрань (Черкаська обл.). Річка має довжину 43 км, її водозбірний басейн має площу 411 км². Ухил річки становить 2,1 м на 1 км. Річище звивисте, шириною 3,5-5 м, подекуди – 10 м, глибиною в середній течії – 0,4-0,6 м. Схили долини річки пологі, утворені лесоподібними суглинками (Козинська та ін., 2006). Вздовж русла річки Уманки побудовано цілий каскад ставків (Берчак, 2014), що заважає її самоочищенню. Ситуацію погіршують також низький рівень води у річці, спричинений обмеженими опадами.

Нумерація точок пробовідбору відповідала їх розташуванню від витoku до гирла з наступними координатами:

№ 1 – 48°46'19.7"N 30°09'49.7"E (48.772142, 30.163810);

№ 2 – 48°45'46.7"N 30°10'30.2"E (48.762984, 30.175046);

№ 3 – 48°44'31.4"N 30°12'42.3"E (48.742063, 30.211743);

№ 4 – 48°44'21.7"N 30°13'01.4"E (48.739349, 30.217049);

№ 5 – 48°44'26.0"N 30°19'21.6"E (48.740550, 30.322665);

№ 6 – 48°41'01.3"N 30°21'06.1"E (48.683696, 30.351691);

№ 7 – 48°39'22.9"N 30°22'03.4"E (48.656354, 30.367604).

Методологічна складова дослідження полягала у інтегрованому підході до оцінки зрошувальної води у вигляді ІЯВЗ, об'єднавши агрономічні, екологічні та технічні вимоги за допомогою узагальненої функції бажаності Харрінгтона $D_{об}$. В рамках цієї концепції розроблено безрозмірні шкали, за допомогою яких показники хімічного складу та фізичних властивостей води трансформуються у так звані безрозмірні часткові функції бажаності d_i , у тому числі показник SAR та коефіцієнт зрошення за Стеблером (Voitenko L. & Voitenko A., 2017) (табл. 1).

Таблиця 1

Шкала одностороннього обмеження при розрахунку функції бажаності Харрінгтона

Показники складу, одиниці вимірювання	Значення функції ді				
	1,00–0,80 дуже добре	0,80–0,63 добре	0,63–0,37 задовільно	0,37–0,20 погано	0,20–0,00 дуже погано
Сухий залишок, мг/л	0–500	500–1000	1000–5000	5000–15000	15000–30000
Температура*, °C	21–16	12–15 22–24	9–11 25–28	7–9 29–31	0–8 32–45
pH*	6,9–7,0	6,5–6,8 7,1–7,5	6,1–6,4 7,6–8,5	5,5–6,0 8,6–9,0	3,5–5,4 9,1–11,0
SAR*	2,0–3,0	1,5–1,9 3,1–6,0	1,2–1,4 6,1–12,0	0,9–1,1 12,1–20,0	0,1–0,8 20,0–40,0
КС (коефіцієнт Стеблера)	90,0–18,0	18,0–6,0	6,0–4,0	4,0–1,2	1,2–0,2
Каламутність, НОК	0–5	5–10	10–50	50–200	200–5000
Cl-, мг/л	0–50	50–100	150–250	250–500	500–5000
SO42-, мг/л	0–40	40–150	150–200	200–500	500–5000
PO43-, мг P/л	0–0,2	0,2–0,5	0,5–1,5	1,5–4,0	4,0–15,0
NO3-, мг N/л	0–1	1–2	2–9	9–15	15–100
Ca2+, мг/л	0–40	40–150	150–300	300–500	500–1000
Mg2+, мг/л	0–30	30–50	50–200	200–400	400–1000
Na+ + K+, мг/л	0–20	20–200	200–500	500–1000	1000–5000
HCO3-, ммоль/л	0–2,5	2,5–6,5	6,5–10,0	10,0–15,0	15,0–25,0
Фезаг., мг/л	0–0,05	0,05–0,20	0,20–1,00	1,00–5,00	5,00–20,00
Zn2+, мг/л	0–0,1	0,1–0,5	0,5–5,0	5,0–10,0	10,0–100,0
Cu2+, мг/л	0–0,05	0,05–0,1	0,1–0,5	0,50–5	5–10
Pb2+, мг/л	0–0,005	0,005–0,010	0,010–0,050	0,050–0,500	0,500–2,000
Cd2+, мг/л	0–0,001	0,001–0,005	0,005–0,010	0,010–0,100	0,100–1,000
ПО**, мг O/л	0–10	10–15	15–30	30–50	50–200

Примітки: * – показник має двостороннє обмеження;

** ПО – перманганатна окиснюваність

Об'єднання часткових бажаностей d_i , визначених для кожного i -того параметра окремо, проводиться за формулою (1) у вигляді так званої об'єднаної функції бажаності Харрінгтона:

$$D_{об.} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \quad (1)$$

При складанні шкал бажаності було враховано вимоги до класів води для зрошення відповідно до ДСТУ 2730:2015 Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії та ВНД 33-5.5-02-97 Вода для зрошення. Екологічні критерії. Ця шкала дозволяє перетворити будь-який фізичний параметр у безрозмірну сутність, виражену в психофізичні терміни:

- 1,00–0,80 – «дуже добре»,
- 0,80–0,63 – «добре»,
- 0,63–0,37 – «задовільно»,
- 0,37–0,20 – «погано»,
- 0,20–0,00 – «дуже погано».

Слід відмітити що у випадку, коли хоча б один показник виходить за межі складених шкал, загальна функція бажаності D обнуляється. Для деяких показників (pH, температура) діапазони значень мають два сегменти, так як для цих параметрів існує оптимальний діапазон, а не одностороннє обмеження по типу ГДК.

Відповідно до загальноприйнятих методик (Tanji, 1990) було розраховано коефіцієнт SAR та коефіцієнт зрошення Стеблера.

Процедуру розрахунку проводили із використанням власного програмного продукту WODA v0.6A, написаного мовою Python.

Результати розрахунку ІЯВЗ за показниками хімічного складу та фізичних властивостей води р. Уманка (табл. 2) засвідчили, що в цілому за величиною показника $D_{об.}$ якість води для зрошення закономірно погіршується від витoku і далі за течією. Чітко прослідковується зростання антропогенного забруднення за тим, що майже монотонно зростає загальний солев-

міст (сухий залишок) синхронно із зростанням вмісту хлоридів Cl⁻, сульфатів SO₄²⁻, нітратного азоту N-NO₃⁻, перманганатної окисності. Слід відмітити, що з точки зору оцінювання якості води для зрошення у вигляді ІЯВЗ погіршення складає біля 11%. В цілому категорія погіршується із оцінки «добре» до «задовільно».

Починаючи з точки 4, виявлено різке зниження показник рН – з 8,26 до 6,77, що свідчить про потрапляння у воду річки кислих стоків чи

субстратів. В цілому динаміку водневого показника рН не можна пояснити впливом природних чинників.

В точці 4 виявлено майже трикратне зростання вмісту натрію, що негативно впливає на оцінку якості води для зрошення. При цьому значення часткової бажаності d_i (Na⁺) знижується від 78% до 69%. Зрозумілим є одночасне зростання показників SAR, при цьому часткова бажаність у точці 3 рівна d₁₃ (SAR)= 89%, а в точці 4 – d₁₄ (SAR)= 50%.

Таблиця 2

Гідрохімічна характеристика поверхневих вод р. Уманка в межах Уманського району Черкаської області за осінній період 2022 року

Показники	Пункт відбору проби						
	1	2	3	4	5	6	7
Сухий залишок, мг/л	380	390	450	450	600	610	520
Температура, °C	19,20	19,70	19,60	20,20	19,80	18,50	19,30
pH	7,16	8,06	8,26	6,77	6,85	6,77	7,96
SAR	3,1	2,32	2,99	9,24	1,99	3,52	3,42
КС	56,16	37,48	131,53	163,69	164,03	207,36	167,13
Каламутність, НОК	13,04	76,96	79,90	30,91	88,31	27,54	61,19
Cl ⁻ , мг/л	28,57	38,10	80,95	81,91	100,95	127,62	102,86
SO ₄ ²⁻ , мг/л	20,40	24,00	42,00	28,80	36,00	38,40	16,80
PO ₄ ³⁻ , мг P/л	0,12	0,06	0,10	0,11	0,07	0,85	0,56
NO ₃ ⁻ , мг N/л	4,02	0,53	0,56	1,31	0,43	6,71	3,33
Ca ²⁺ , мг/л	86,17	50,10	52,10	48,10	78,16	74,15	46,09
Mg ²⁺ , мг/л	27,52	35,89	39,58	43,24	58,15	78,99	73,91
Na ⁺ +K ⁺ , мг/л	51,08	37,82	51,11	144,21	36,92	66,40	61,15
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	7,60	5,60	5,00	9,40	6,80	9,00	8,00
Fe ²⁺ , мг/л	0,18	0,29	0,16	0,08	0,21	0,06	0,16
Zn ²⁺ , мг/л	0,0378	0,0536	0,0169	0,0279	0,0948	0,0491	0,0230
Cu ²⁺ , мг/л	0,0217	0,0307	0,0635	0,0214	0,0212	0,0253	0,0237
Pb ²⁺ , мг/л	0,0326	0,0170	0,0230	0,0224	0,0140	0,0081	0,0092
Cd ²⁺ , мг/л	0,0019	0,0028	0,0017	0,0031	0,0069	0,0019	0,0044
ПО, мг O/л	10,14	27,68	25,23	20,34	29,31	28,50	32,98

*K_c – іригаційний коефіцієнт Стеблера; ПО – перманганатна окиснюваність

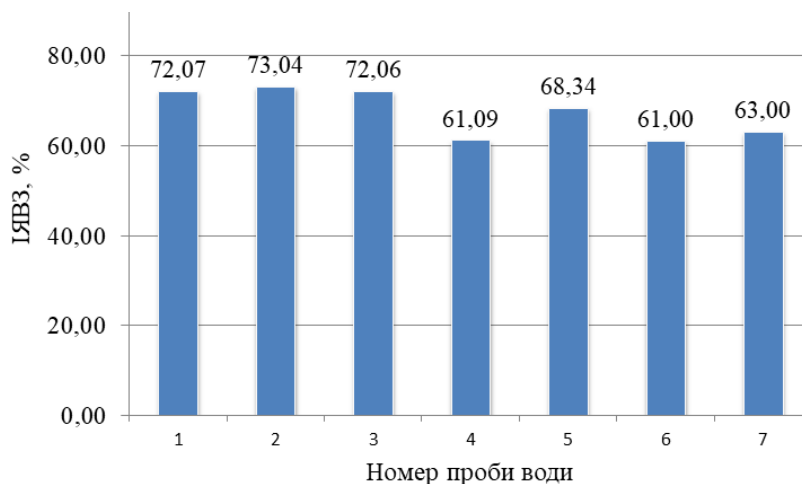


Рис. 1. Динаміка змін індексу якості води для зрошення за напрямом руху течії р. Уманка згідно результатів досліджень осіннього періоду 2022 р.

Високі значення SAR означають небезпеку заміни натрієм адсорбованих іонів кальцію та магнію, що призведе до пошкодження структури ґрунту та коренів рослин. Зрошувальна вода з високим рівнем SAR може призвести до накопичення високих рівнів Na^+ у ґрунті з часом, що може негативно вплинути на водопроникність ґрунту. Вода, яка має $\text{SAR} \leq 10$, має дуже добру якість, від 10 до 18 – добру, від 18 до 26 – погану, а більше 26 – дуже погану, яку не можна використовувати для зрошення (Танжі, 1990).

Отже, специфіка методології, використаної у даній роботі, полягає у тому, що критерії оцінювання складу та властивостей води базуються на вимогах для зрошення. Тому в даному випадку вміст натрію, на відміну, наприклад, від оцінювання з точки зору споживання води для задоволення питних потреб людей та тварин, є критичним показником.

Цікаво також відмітити, що зростання вмісту натрію супроводжується в точках 4 та 6 відчутним зниженням каламутності: у точці 3 d_{i_3} (каламутність) оцінено в 33% (погано), а в точці 4 – d_{i_4} (каламутність) як 50% (задовільно) та в точці 6 – d_{i_6} (каламутність) в 53% (задовільно). Це явище можна пояснити збільшенням швидкості коагуляції колоїдів із збільшенням йонної сили у водному середовищі. Опосередкованим доказом є синхронне двократне зниження у цих же пробах (4 та 6) вмісту заліза загального.

Очевидно, що збільшення вмісту натрію у точках 4 та 6 відбувається через надходження стоків, що містять натрій гідрокарбонат NaHCO_3 , бо в цих же точках зростає лужність. Однак цей висновок не погоджується із зниженням показника рН у цих же точках. Логічного пояснення цьому явищу знайти не вдалося.

Під час дослідження було виявлено досить високі значення каламутності, – у переважній більшості за цим показником вода характеризується як «погана». Спостерігається також погіршення перманганатної окиснюваності (ПО) за руслом річки, зокрема, проба 1 (вище місту Умань) за цим показником оцінюється як «добра», а нижче за течією річки (проби 2–6) – «задовільна» і у пробі 7 як «погана».

Показник гідрокарбонатної твердості води (вміст HCO_3^-) коливається у межах від 5,0 до 9,4 мг/дм³. Найвище значення спостерігається у пробі 4, яку відібрали у межах міської забудови м. Умань. Тимчасова твердість характе-

ризується як «погана якість» по усій довжині річки. Висока гідрокарбонатна твердість – негативний чинник з точки зору як технологічних властивостей поливної води, так як призводить до утворення вапняного нальоту на поверхні зрошувальних систем, забруднення фільтрів, так і агрономічних, бо обмежує проникнення води до кореневої зони рослин.

Отже, динаміка змін величини ІЯВЗ за напрямом руху течії р. Уманка відповідно до результатів досліджень осіннього періоду 2022 р. свідчить про погіршення якості води нижче по руслу річки (рис. 1).

Якість води р. Уманка за категоріями оцінювання для зрошення у пробах 1, 2, 3 та 5 характеризується як «добра», придатна для зрошення без суттєвих обмежень, за виключенням малооб'ємних субстратів, для якого значно жорсткіші вимоги за показниками каламутності та вмісту заліза загального.

Якість води проб 4, 6 та 7 віднесено до категорії «задовільної». Саме у них виявлено найвищі показники гідрокарбонатної твердості, що суттєво погіршило загальну оцінку якості води.

Очевидно, що основною причиною погіршення якості річкової води є потрапляння стоків. Уздовж русла в межах м. Умань розташовано щонайменше п'ять діючих виробництв, які є потенційними джерелами забруднення. Ще одним потенційним фактором погіршення якості води є реалізація гідротехнічних проектів, зокрема, каскаду гребель. Наслідок – зарегульованість течії, поява застійних ділянок, де накопичуються поллютанти та погіршуються умови самоочищення водойми.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі проведено аналіз методологічних підходів до оцінювання якості природних вод з точки зору їхньої придатності для зрошення. Показано, що ця наукова та прикладна проблема активно розробляється науковцями різних країн. В цілому основними параметрами є фізико-хімічні та хіміко-токсикологічні – йонний склад, водневий показник, температура, каламутність, вміст токсикантів. Було запропоновано об'єднати агрономічні, екологічні та технічні вимоги до якості води для зрошення у вигляді об'єднаної функції бажаності Харрінгтона. В рамках цієї концепції було розроблено шкали часткових бажаностей для фізико-хімічних параметрів, та субіндексів у вигляді коефіцієнта SAR, коефіцієнта зрошення Стеблера.

За результатами оцінки якості поверхневих вод р. Уманка (Черкаська обл.) встановлено, що на зниження загальної оцінки якості впливають варіабельність показників рН, каламутності, гідрокарбонатної твердості та перманганатної окиснюваності. Кількісна оцінка якості води для потреб зрошення коливалася від 61,00% до 73,04%. Очікуваним є факт погіршення якості нижче за течією м. Умань.

Використання запропонованої методики може бути корисним також з точки зору організації, обробки та моделювання якості води водних ресурсів за будь-яким набором параметрів

їхнього складу та властивостей для різних видів водокористування та водоспоживання – питного водопостачання, риборозведення та аквакультури, рекреації тощо. Важливо відмітити також, що узагальнена оцінка якості води за 100-бальною шкалою та словесним описом доступна для розуміння та інтерпретації не лише фахівцям, а й пересічним споживачам. За величинами критично низьких значень часткових бажаностей параметрів води можна порівнювати якість води з альтернативних вододжерел – наприклад, обрати для зрошення річкову воду чи воду свердловини.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Lorenzo R. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*. 2022. 17 (6). Article 063008.
2. Zaman M., Shahid S.A., Heng L. Irrigation Water Quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, Cham. 2018. P. 113–131.
3. Stavi I., Priori S., Thevs N. Impact of climate change and land-use on soil functions and ecosystem services in drylands. *Front. Environ. Sci.* 2022. 10. Article 851751.
4. Al Yousif M. A., Chabuk A. Assessment Water Quality Indices of Surface Water for Drinking and Irrigation Applications – A Comparison Review. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. 24(5). P. 40–55.
5. Wilcox L. V. Classification and use of irrigation waters, p. 16. U.S. Dept. Of Agriculture, Circular № 696. 1955. Washington, DC.
6. Simsek C., Gunduz O. IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 2007. 128. P. 277–300.
7. Horton R.K. An index number system for rating water quality. *Journal Water Pollution Control Federation*. 1965. 37. P. 300–305.
8. Chidiac S., El Najjar P., Ouaini N., Youssef El Rayess, Desiree El Azzi. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2023. 22. P. 349–395.
9. Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A., Trozer R.G. A Water Quality Index-Do we dare? *Water and Sewage Works*. 1970. 117 (10). P. 339–343.
10. Walski T.M., Parker F.L. Consumers Water Quality Index. *Journal of Environmental Eng. ASCE*. 1974. 100 (3). P. 593–611.
11. Dinius S.H. Design of an index of water quality. *Water Resources Bulletin*. 1987. 23 (5). P. 833–843.
12. Smith D.G. A Better Water Quality Indexing System for Rivers and Streams. *Journal of Water Science and Technology*. 1990. 24 (10). P. 1237–1244.
13. Shihab A.S., Al-Rawi S.M. Application of Water Quality Index to Tigris River Within Mosul City. *Journal of Al-Rafidain Eng.* 1994. 4 (3). P. 80–92.
14. Numaan M. M. Development of Water Quality Index for Tigris river water between Alsharqat and Alboajeel. 2008. M.Sc. Thesis, Engineering Collage. University of Tikrit.
15. Fulazzaky M A. Water quality evaluation system to assess the status and the suitability of the Citarum river water to different uses. *Environ Monit Assess.* 2010. 168(1-4). P. 669–684.
16. Морозов О.В., Морозов В.В., Ісаченко С.О. Науково-методичні підходи щодо оцінки якості природної води для зрошення (на прикладі Каховської зрошувальної системи). *Водні біоресурси та аквакультура*. 2019. 1. С. 90–101.
17. Географія Уманщини: навч. посіб. / І.П. Козинська, О.І. Ситник, І.В. Кравцова та ін.]. К. : Інтерлінк, 2006. 176 с.
18. Берчак В.С. Антропогенні ландшафти долини річки Уманки. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія «Географія»*. 2014. 26. С. 98–107.
19. Voitenko L., Voitenko A. Integrated assessment of irrigation water quality based on Harrington's desirability function. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*. 2017. 1(1). P. 55–58.
20. Tanji K.K. Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals & Reports on Engineering Practice. 1990. № 71. ASCE, N.Y. P. 220–236.

REFERENCES:

1. Lorenzo, R. (2022). Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*. 17(6), Article 063008.
2. Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L. (2018). Irrigation Water Quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, Cham., 113–131.
3. Stavi, I., Priori, S., Thevs, N. (2022). Impact of climate change and land-use on soil functions and ecosystem services in drylands. *Front. Environ. Sci.* 10, Article 851751.
4. Al Yousif, M.A., Chabuk, A. (2023). Assessment Water Quality Indices of Surface Water for Drinking and Irrigation Applications – A Comparison Review. *Journal of Ecological Engineering*. 24 (5), 40–55.
5. Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of irrigation waters, p. 16. U.S. Dept. Of Agriculture, Circular № 696. Washington, DC.
6. Simsek, C., Gunduz, O. (2007). IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 128, 277–300.
7. Horton, R.K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal Water Pollution Control Federation*. 37, 300–305.
8. Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., Youssef El Rayess, Desiree El Azzi (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 22, 349–395.
9. Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., Trozer, R.G. (1970). A Water Quality Index-Do we dare? *Water and Sewage Works*. 117 (10), 339–343.
10. Walski, T.M., Parker, F.L. (1974). Consumers Water Quality Index. *Journal of Environmental Eng. ASCE*. 100 (3), 593–611.
11. Dinius, S.H. (1987). Design of an index of water quality. *Water Resources Bulletin*. 23 (5), 833–843.
12. Smith, D.G. (1990). A Better Water Quality Indexing System for Rivers and Streams. *Journal of Water Science and Technology*. 24 (10), 1237–1244.
13. Shihab, A.S., Al-Rawi, S.M. (1994). Application of Water Quality Index to Tigris River Within Mosul City. *Journal of Al-Rafidain Eng.* 4 (3), 80–92.
14. Numaan, M.M. (2008). Development of Water Quality Index for Tigris river water between Alsharqat and Alboajeel. M.Sc. Thesis, Engineering Collage. University of Tikrit.
15. Fulazzaky, M.A. (2010). Water quality evaluation system to assess the status and the suitability of the Citarum river water to different uses. *Environ Monit Assess*. 168(1-4), 669–684.
16. Morozov, O.V., Morozov, V.V., Isachenko, S.O. (2019). Naukovo-metodychni pidkhody shchodo otsinky yakosti pryrodnoi vody dlia zroshennia (na prykladi Kakhovskoi zroshuvalnoi systemy) [Scientific and methodical approaches to assessing the quality of natural water for irrigation (on the example of the Kakhovska irrigation system)]. *Vodni bioresursy ta akvakultura – Water bioresources and aquaculture*. 1, 90–101 [in Ukrainian].
17. *Heohrafiia Umanshchyny: navch. posib. [Geography of Uman region] textbook / I.P. Kozynska, O.I. Sytnyk, I.V. Kravtsova ta in.* (2006). K. : Interlink, 176 pp. [in Ukrainian].
18. Berchak, V.S. (2014). Antropohenni landshafty dolyny richky Umanky. [Anthropogenic landscapes of the Umanka River valley] *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnogo pedahohichnogo universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii «Heohrafiia» – Scientific Papers of the Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University. Series: Geography*. 26, 98–107 [in Ukrainian].
19. Voitenko, L. & Voitenko, A. (2017). Integrated assessment of irrigation water quality based on Harrington's desirability function. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*. 1(1), 55–58.
20. Tanji, K.K. (1990). Agricultural salinity assessment and management. *ASCE Manuals & Reports on Engineering Practice*. № 71. ASCE, N.Y. 220–236.

УДК 721.01: 692.42/.47: 58.01/.07

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>

Оксана РИБАК

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

ORCID: 0000-0002-6475-4587

Ірина ПАЦЕВА

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

ORCID: 0000-0002-6572-681X

Бібліографічний опис статті: Рибак О., Пацева І. (2023). Зелені дахи як елемент децентралізованого управління дощовою водою. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 40–46, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>

ЗЕЛЕНІ ДАХИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ДОЩОВОЮ ВОДОЮ

Потепління у містах і формування міських островів тепла є проблемами, які набувають все більшого значення. Постійне скорочення рослинності в міських районах, посилення екстремальних погодних умов і тенденція глобального потепління створюють серйозні проблеми для майбутніх міських районів. Екстенсивні зелені дахи вносять значний внесок у зменшення та затримку сильного дощового стоку, зв'язують пил, покращують якість повітря, зменшують шумове забруднення, створюють додаткові відкриті простори та охолоджують будівлі та міський простір через випаровування. Потепління у містах значною мірою пов'язане із втратою рослинного покриву. Висновок, що використання дощової води, зокрема, має сенс як внесок у міське с дощовою водою. Міське водне господарство має велике економічне значення, яке суттєво впливає та формує сучасне суспільство. Відповідальність за забезпечення достатньої кількості питної води гігієнічною ідеальною якістю в довгостроковій перспективі лежить на муніципальному водному господарстві. Очищення стічних вод і їх повторне введення в навколишнє середовище є частиною сфери відповідальності у контексті сталого розвитку міст та подальшої євроінтеграції. Адже зелені дахи, це шлях до підвищення загальної економічної та екологічної ефективності, на ряду з вищевказаними перевагами. Відчуття безпеки через захист від повеней у населених пунктах та інфраструктурі є гарним прикладом цього. Важливість озеленення дахів як важливого компоненту адаптованого до клімату міського планування також на вустах серед європейських архітекторів, екологів, ландшафтних дизайнерів, політиків. Потрібно запитати себе, чому, незважаючи на це, нічого не відбувається в цьому напрямку в Україні. Бо нам не вистачає «законодавчих рішень в зеленій індустрії», бо не має нормативних вказівок для сфери «озеленення даху, фасаду та внутрішніх приміщень».

Ключові слова: екстенсивний зелений дах, інтенсивний зелений дах, ретенційний дах, одношарова конструкція, багатошарова конструкція.

Оксана РИБАК

PhD student (Ecology) Assistant Professor of the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-6475-4587

Ірина ПАЦЕВА

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

ORCID: 0000-0002-6572-681X

To cite this article: Rybak O., Patseva I. (2023). Zeleni dakhly yak element detsentralizovanoho upravlinnia doshchovoiu vodoiu [Green roofs as an element of decentralized rainwater management]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 40–46, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-6>

GREEN ROOFS AS AN ELEMENT OF DECENTRALIZED RAINWATER MANAGEMENT

Urban warming and the formation of urban heat islands are issues of increasing importance. The ongoing reduction of vegetation in urban areas, the increase in extreme weather events and the global warming trend pose serious challenges for future urban areas. Large green roofs make a significant contribution to reducing and delaying heavy rainfall runoff, binding dust, improving air quality, reducing noise pollution, creating additional open spaces, and cooling buildings and urban spaces through evaporation. Urban warming is largely due to the loss of vegetation cover. The conclusion is that the use of rainwater in particular makes sense as a contribution to urban rainwater management. Urban water management is of great economic importance, significantly influencing and shaping modern society. It is the responsibility of the municipal water sector to ensure that sufficient drinking water of hygienically ideal quality is available in the long term. Waste water treatment and its reintroduction into the environment is part of the responsibility in the context of sustainable urban development and further European integration. After all, green roofs are a way to increase overall economic and environmental efficiency, along with the above benefits. A sense of security through flood protection in settlements and infrastructure is a good example of this. The importance of roof greening as an essential component of climate-adapted urban planning is also on the lips of European architects, environmentalists, landscape designers, and policy makers. We need to ask ourselves why, despite this, nothing is happening in this direction in Ukraine. Because we lack "legislative solutions in the green industry", because there are no regulatory guidelines for the area of "greening of the roof, facade and interior".

Key words: extensive green roof, intensive green roof, retentive roof, single-layer construction, multi-layer construction.

Актуальність. Використання зелених дахів має не лише екологічні, але і соціальні, економічні та психологічні переваги. Враховуючи глобальні екологічні виклики та інтенсифіковану урбанізацію, зелені дахи стають не тільки бажаними, але й необхідними елементами міського планування.

Мета дослідження. встановити комплекс науково-методологічних та організаційно-методологічних аспектів використання зелених дахів у процесі планування міських систем, зокрема для реалізації раціонального управління дощовою водою.

Екстенсивні зелені дахи (залежно від розмірів на рівні будівлі або залежно від розподілу чи появи на рівні сусідства) впливають на затримку опадів. Ці дахи розвантажують каналізаційну систему, затримуючи опади та затримуючи стік. У районах зі змішаною каналізаційною системою скидання стічних вод у поверхневі води може бути меншим. Численні дослідження присвячені питанню зменшення викидів і затримки дощової води екстенсивними зеленими дахами. Виміряне утримання опадів становить від 50 до 70% у середньому за рік, при інтенсивних зелених дахах утримання може становити майже

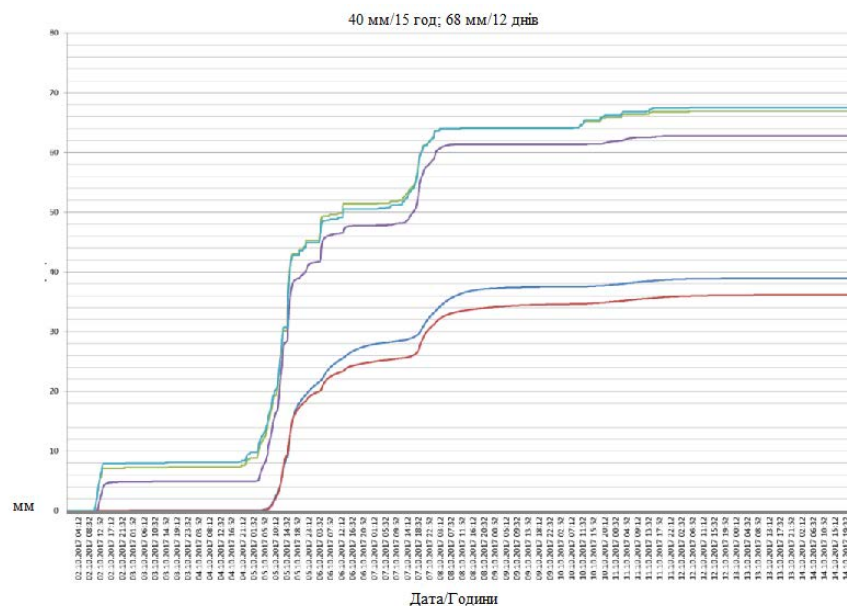


Рис. 1. Затримка опадів і затримка дренажу 2 екстенсивних зелених конструкцій даху (синя і червона), еталонного гравійного даху (фіолетовий) і накопичених опадів (блакитний і зелений) в Університеті прикладних наук Нойбранденбурга

100%. Затриманий стік і зменшення стоку показані на рис. 1 як приклад.

За останні десять років управління дощовою водою вийшло на новий етап. У історичному минулому застосовувався принцип, згідно з яким дощову воду на поселеннях і в зонах руху слід «скидати якнайшвидше і якомога більше в найближчі водойми» [1, с. 11]. Тим часом стало відомо, що дощова вода, яка накопичується на ділянках водовідведення, має використовуватися раціонально. Конкретно це означає, що дренаж поверхневих вод повинен приблизно відповідати рівню незабудованого стану. Цю ідею стійкості також слід застосувати до компонентів поповнення та випаровування ґрунтових вод. Це означає, що стан майже природного водного балансу на території зберігається, змінюється або відновлюється якомога менше [1, с. 11].

Система дощової каналізації розрахована таким чином, щоб вона могла відводити воду, яка виникає до певного граничного значення. У окремих випадках може статися так, що каналізаційна система не може поглинути воду,

що накопичується, і відбувається затоплення. Частота таких подій визначається за допомогою статистичних розрахунків. Це необхідно, тому що якби каналізаційна система була сконструйована таким чином, щоб витримувати навіть найвищі навантаження, вона була б безцінна, з одного боку, а з іншого більшу частину часу і не зливається належним чином через недостатній потік води.

Зараз майже не будують нових каналізаційних колекторів. Нові системи потрібні лише в дуже обмеженій мірі в нових областях розробки. Роботи з відновлення, в яких пов'язані розрахунки та перевірки гідравлічної провідності та допустимого часу повернення, представляють набагато більший проєкт [1, с. 15].

Сучасний рівень техніки дозволяє локально управляти стоком дощової води, не змішуючи її з брудною водою таким чином, що значна частина надходить у ґрунт і, таким чином, у підземні води. Це відбувається через зберігання, просочування, випаровування та обмежений дренаж у структурах системи дощової води [1, с. 34].

У літературі описується про широкий діапазон значень збереження, залежно від сезону, посадки та інтенсивності опадів, від 10% у гіршому випадку до майже 100% у найкращому випадку [2]. Зелені дахи можуть виконувати функції утримання в усіх кліматичних регіонах світу [3].

Децентралізоване управління дощовою водою пропонує кілька технічних установок і заходів для досягнення цілей і вимог:

- поверхнева інфільтрація;
- інфільтрація маховика;
- інфільтраційний басейн;
- системи обмеження, такі як ретенційний басейн, ретенційна канава;
- змінна вологість;
- зелені дахи;
- підземні системи інфільтрації, такі як наприклад:
 - інфільтраційна шахта;
 - інфільтраційна траншея;
 - інфільтраційна труба;
 - цистерна;
 - канал утримання;
 - накопичувальний шар;
 - різні комбіновані системи.

Щоб зрозуміти переваги зелених дахів у децентралізованому управлінні дощовою водою, слід коротко описати структуру рослинного шару зеленого даху. Конструкція дахів екстенсивного та інтенсивного використання дуже схожа (рис. 2). Існує одношарова і багатошарова конструкція (див. рис. 3) [4, с. 60].

Одношарова конструкція	Багатошарова конструкція
<p>1) Відповідна підконструкція даху (несуча функція, відповідна теплоізоляція)</p> <p>2) Гідроізоляція даху або коренезахисна мембрана</p> <p>3) Захисний шар. Шар із флісу, гумових гранульованих килимів тощо для захисту гідроізоляції даху від механічних пошкоджень</p> <p>4) Водовідведення. Зберігання дощової води та скидання надлишкової води в каналізаційні споруди. Дренаж може бути виготовлений з пластмас або сипучих матеріалів.</p>	<p>5) Фільтрувальний фліс. Синтетичний фліс, який відокремлює дренаж від шару рослинності та запобігає вимиванню дрібних частинок у дренаж.</p> <p>6) Багатошарова підкладка. Базовий шар рослинності; спеціальна, технічно виготовлена підкладка для багатошарової конструкції.</p> <p>7) Одношарова підкладка. Шар рослинної основи та дренажний шар; спеціальна, технічно виготовлена підкладка для одношарової конструкції.</p> <p>8) Рослинність. Види рослин, які перевірені протягом багатьох років і адаптовані до місця розташування.</p>

Рис. 3. Види конструкцій зелених дахів

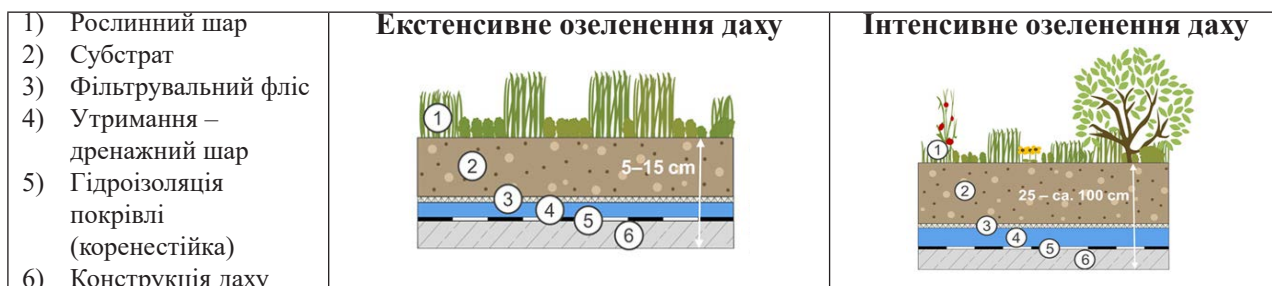


Рис. 2. Конструкція екстенсивного та інтенсивного дахів

Таблиця 1

Порівняння одношарової та багатошарової конструкції відповідно до Манн

Критерії	Одношарова конструкція	Багатошарова конструкція
Вид озеленення	Насамперед екстенсивний, але також можливо інтенсивний	Обширний і інтенсивний
Висота установки	Зазвичай 7–10 см	Приблизно від 10 см
Дренажний шар	Відсутність окремого дренажного шару, функція дренажу до базового шару рослинності інтегрований	Окремий шар дренажу
Фільтрувальний фліс	Немає	Зазвичай з фільтрувальним флісом
Базовий шар рослинності	Так, з функціями дренажу. Таким чином, більш мінеральні та крупнозернисті, ніж багатошарова конструкція.	Так, окремий базовий шар рослинності з органічними компонентами.
Поживна ємність	Низький через низький вміст органічних речовин	Високий завдяки органічним речовинам
Зберігання води	Завдяки одночасній функції дренажу нижче, ніж у багатошаровій конструкції.	Високі запаси води в рослинному шарі
Виконання дренажу	Менше ніж при багатошаровій конструкції	Висока за рахунок окремого дренажного шару
Крапельний полив	Підходить	Підходить
Зрошення дамб	Підходить	Підходить
Установка дросельних елементів	Підходить	Підходить
Використовувати в стоячій воді	Не підходить	Добре підходить, особливо для дренажних елементів
Можливий сорт рослин однакова висота конструкції	Менше ніж при багатошаровій конструкції	Високе біорізноманіття завдяки великій ємності для зберігання води.
Шар рослинності понад 35 см	Така ж структура, як під 35 см.	Необхідний ще один мінеральний шар.
Вартість	Зазвичай дешевше, ніж багатошарова конструкція.	При однаковій висоті дорожче, ніж при одношаровій конструкції.

Перерахування шарів починається з рослинності. З екстенсивними зеленими дахами важливо вибрати посухостійкі та регенеруючі рослини. В Україні у прохолодному помірному кліматі важливо, щоб рослини були певною мірою нечутливі до екстремальних температур як влітку, так і взимку, були стійкими до вітру та могли витримувати короткочасні затоплення під час сильних дощів.

У випадку з інтенсивними зеленими дахами ніщо не заважає різноманітному вибору рос-

лин, подібному до вибору рослин для звичайного саду. Тим не менш, якщо можливо, слід вибирати рослини, які менш сухі та чутливі до вітру та морозу.

Під рослинністю починається рослинний ярус. Для цього шару зазвичай використовують технічні субстрати, оскільки місцеві верхні шари ґрунту не відповідають вимогам. Оскільки субстрат є основою для рослинності, окрім хорошого проникнення коренів, він також повинен бути якомога легшим, мати

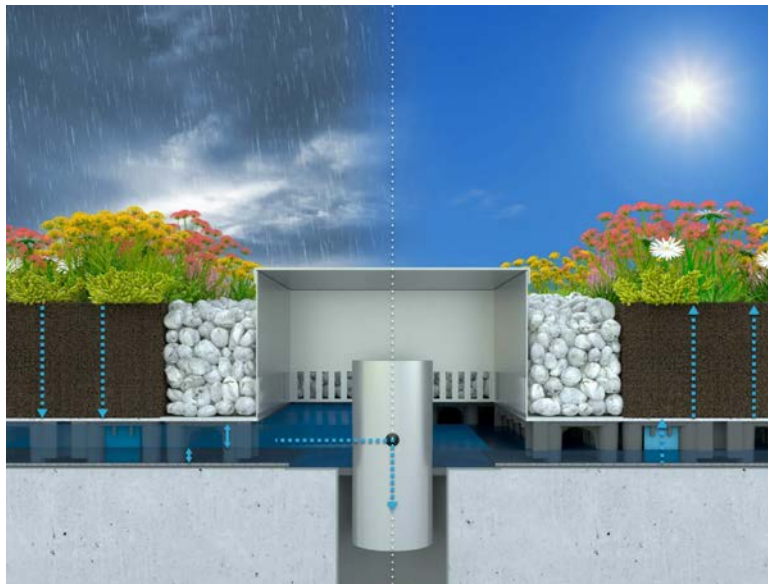


Рис. 4. Ретенційний дах (схема Optigrun international)

високу здатність накопичувати воду та водопроникність, містити достатній об'єм повітряних пор і бути вільним від небажаного насіння та коренів. Ці технічні субстрати зазвичай містять лаву, пемзу, спучений шифер, спучений бетон, уламки цегли, перегній кори та компост із зелених відходів [4, с. 64].

Фільтруючий шар відноситься до дренажного шару і відокремлює його від субстрату (рослинного шару). Тонкий фільтруючий фліс зазвичай виготовляється з поліпропілену або поліестеру. Це волокно має бути водопроникним, але запобігати потраплянню субстрату в дренажний шар, щоб підтримувати водопроникність і здатність зберігати воду [4, с. 62].

Дренажний шар може бути виготовлений із сипучих матеріалів, таких як лава, спучений шифер або керамзитобетон, перероблених сипучих матеріалів, таких як глиняна цегла, промисловий шлак або піноскло, дренажних матів, таких як структуровані флісові мати, пластикові гофровані мати, нитяні сітчасті мати, або килимки з пінопласту, дренажні панелі, такі як гумові гофровані панелі, профільовані панелі з твердого пластику або пінопласту, або дренажні панелі та панелі субстрату виготовлені з модифікованої піни. Дренажний шар, який має будівельну висоту приблизно від 1 до 6 см у екстенсивному зеленому даху та приблизно 6 до 15 см у інтенсивному зеленому даху, має основне завдання відводити надлишок води від конструкції даху в напрямку водостоків та водостічної системи.

Щоб запобігти проникненню коренів і води всередину будівлі, необхідно укласти даховий ущільнювач і стійкий до коренів шар із захисним покриттям. Він повинен бути адаптований до типу зеленого даху, який буде встановлено [4, с. 62]. Ущільнювальний матеріал зазвичай складається з бітумних, пластикових або еластомерних листів, також можлива рідка герметизація. Згідно із *FLL Green Roof Guidelines*. Якщо обрана гідроізоляція покрівлі ще не є стійкою до коренів, необхідно нанести додатковий шар захисту від коренів.

Основні переваги зелених дахів у децентралізованому управлінні дощовою водою полягають у тому, що субстрат і дренаж затримують частину дощової води. Залежно від системи та висоти конструкції можна досягти значень водоутримання від 30 до 99% річних опадів. Це допомагає розвантажити каналізаційну систему [4 с. 76].

Порівняльні дослідження в Пекіні [5] також підтверджують велику дисперсію у значеннях збереження. Експериментально лише близько 20% зберігається під час сильного дощу з опадами 45 мм, тоді як близько 80% зберігається у випадку опадів до 20 мм з товщиною конструкції, яка використовується. Незважаючи на велику різницю у значеннях, технологія зеленого даху вже впроваджується в багатьох містах Китаю як типовий метод («місто-губка»).

Піро та ін. [6] дослідили поведінку утримування зелених дахів у середземноморському кліматі (Калабрія) і надали докази ефекту утри-

мування та зміщення максимального піку стоку під час сильного дощу. Подібна робота з Валенсії (Іспанія) [7] розглядає ефект утримання та потенційну ефективність випаровування зелених дахів від 1 мм/день взимку до 4–6 мм/день влітку, залежно від водопостачання.

Ретенційний дах являє собою комбінацію звичайного зеленого даху з додатковим водозбірником і пасивним зрошенням через капілярний підйом. Така форма озеленення ще не набула широкого поширення, виникають додаткові витрати і більша навантажувальна здатність. Іноді цей тип озеленення використовується в підземних гаражах для створення додаткового місця на території. Дощова вода просочується крізь шар рослинності та субстрату, а потім спрямовується в утримуючий пристрій із надзвичайно профільованого пластику. Це зберігає воду і випускає її в каналізацію з великою затримкою. Є також варіант створення постійного накопичення води на даху. З цим варіантом також можна використовувати профільовані пластикові плити.

Для того, щоб створити на даху резервуар для зберігання води, потрібно збільшити на потрібну висоту лише дренаж, який власне і відводить воду. Якщо водостік збільшити, наприклад, на 4 см, то на даху можна накопичити додатково 40 літрів води на квадратний метр. Це значно знижує швидкість стікання дахів. Крім того, накопичена вода доступна для рослин (усі постачальники систем зелених дахів пропонують системне рішення з капілярною системою, яка повертає воду до шару субстрату і таким чином робить її доступною для рослин). Вода, доступна для рослин, випаровується природним шляхом, охолоджуючи навколишнє середовище. Різні постачальники систем для зелених дахів пропонують різні рішення для створення такого накопичення. Висота накопичення води коливається від 1 см до 15 см (наскільки дозволяє статика).

Із обома системами децентралізованого управління дощовою водою не слід забувати, що витрати на утилізацію дощової води, які розраховуються в Німеччині євро/м² площі даху,

можна зменшити за допомогою розділених зборів за каналізацію. Зелені дахи, які зберігають значну частину дощової води, як описано вище, зазвичай винагороджуються 50% знижкою [8].

Висновки:

1. Використання зелених дахів для децентралізованого управління дощовою водою стає все популярнішим у сучасному світі. Це екологічний та ефективний спосіб контролю за стоком дощової води, покращення мікроклімату в містах та збільшення біорізноманіття.

2. Ось основні переваги та принципи дії зелених дахів у контексті децентралізованого управління дощовою водою:

- Рослини та ґрунт на зелених дахах затримують частину дощової води, зменшуючи швидкість її стоку на поверхню. Це може запобігти перевантаженню систем водовідведення під час сильних дощів.

- Рослини на даху випаровують воду назад в атмосферу, зменшуючи загальний обсяг стоку дощової води та створюють повний цикл евапотранспірації.

- Ґрунт на зеленому даху допомагає фільтрувати та видалити забруднювачі з дощової води.

- Завдяки біологічній активності в ґрунті зеленого даху, вода, яка витікає з нього, часто має кращу якість.

- Зелені дахи відображають сонячне випромінювання та забезпечують додаткову ізоляцію, що сприяє зниженню температури в місті та зменшенню ефекту «теплого острова» в місті.

- Зелені дахи можуть знизити потребу в централізованому управлінні дощовою водою, зменшуючи необхідність великих інвестицій в інфраструктуру.

- Ці дахи створюють простір для різних видів рослин та тварин, сприяючи збереженню біорізноманіття в міському середовищі.

3. Для ефективного використання зелених дахів у системі децентралізованого управління дощовою водою необхідно ретельно планувати їх дизайн, враховуючи місцеві кліматичні умови, типи рослин та інші фактори.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Sieker, F.; Kaiser, M.; Sieker, H. (2006): *Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele.* Unter Mitarbeit von Frank Panning und Harald Sommer. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
2. Johannessen, B.; Muthanna, T.; Braskerud, B. (2018): *Detention and Retention Behavior of Four Extensive Green Roofs in Three Nordic Climate Zones.* In: *Water* 10 (6), S. 671. DOI: 10.3390/w10060671.

3. Viola, F.; Hellies, M.; Deidda, R. (2017): Retention performance of green roofs in representative climates worldwide. In: *Journal of Hydrology* 553, S. 763–772. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.08.033.
4. Mann, G. (2012): 4.2 Vegetationstechnik. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung.*
5. Gong, Y.; Yin, D.; Fang, X.; Li, J. (2018): Factors Affecting Runoff Retention Performance of Extensive Green Roofs. In: *Water* 10 (9), S. 1217. DOI: 10.3390/w10091217.
6. Piro, P.; Carbone, M.; de Simone, M.; Maiolo, M.; Bevilacqua, P.; Arcuri, N. (2018): Energy and Hydraulic Performance of a Vegetated Roof in Sub-Mediterranean Climate. In: *Sustainability* 10 (10), S. 3473. DOI:10.3390/su10103473.
7. Andrés-Doménech, I.; Perales-Momparler, S.; Morales-Torres, A.; Escuder-Bueno, I. (2018): Hydrological Performance of Green Roofs at Building and City Scales under Mediterranean Conditions. In: *Sustainability* 10 (9), S. 3105. DOI: 10.3390/su10093105.
8. Ansel, W. (2012): Gebäudebegrünung und Stadtplanung. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung“.*

REFERENCES:

1. Sieker, F.; Kaiser, M.; Sieker, H. (2006): *Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele.* Unter Mitarbeit von Frank Panning und Harald Sommer. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
2. Johannessen, B.; Muthanna, T.; Braskerud, B. (2018): Detention and Retention Behavior of Four Extensive Green Roofs in Three Nordic Climate Zones. In: *Water* 10 (6), S. 671. DOI: 10.3390/w10060671.
3. Viola, F.; Hellies, M.; Deidda, R. (2017): Retention performance of green roofs in representative climates worldwide. In: *Journal of Hydrology* 553, S. 763–772. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.08.033.
4. Mann, G. (2012): 4.2 Vegetationstechnik. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung.*
5. Gong, Y.; Yin, D.; Fang, X.; Li, J. (2018): Factors Affecting Runoff Retention Performance of Extensive Green Roofs. In: *Water* 10 (9), S. 1217. DOI: 10.3390/w10091217.
6. Piro, P.; Carbone, M.; de Simone, M.; Maiolo, M.; Bevilacqua, P.; Arcuri, N. (2018): Energy and Hydraulic Performance of a Vegetated Roof in Sub-Mediterranean Climate. In: *Sustainability* 10 (10), S. 3473. DOI:10.3390/su10103473.
7. Andrés-Doménech, I.; Perales-Momparler, S.; Morales-Torres, A.; Escuder-Bueno, I. (2018): Hydrological Performance of Green Roofs at Building and City Scales under Mediterranean Conditions. In: *Sustainability* 10 (9), S. 3105. DOI: 10.3390/su10093105.
8. Ansel, W. (2012): Gebäudebegrünung und Stadtplanung. In: *Handbuch Bauwerksbegrünung: „Planung, Konstruktion, Ausführung“.*

УДК 58.018: 574.34+574.474

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-7>

Ілля ЦИГАНЕНКО-ДЗЮБЕНКО

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

ORCID: 0000-0002-3240-8719

Іван ХОМ'ЯК

кандидат біологічних наук, доцент, доцент Житомирський державний університет ім. Івана Франка, вул. Велика Бердичівська, 40, м. Житомир, Україна, 10008

ORCID: 0000-0003-0080-0019

Ганна КІРЕЙЦЕВА

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

ORCID: 0000-0002-1055-1784

Бібліографічний опис статті: Циганенко-Дзюбенко І., Хом'як І., Кірейцева Г. (2023). Моделювання динаміки водних і прибережно-водних рослинних угруповань у пост-мілітарних умовах. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 47–55, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-7>

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВОДНИХ І ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНИХ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ У ПОСТ-МІЛІТАРНИХ УМОВАХ

Активність бойових дій російсько-української війни сягнула небачених раніше масштабів. Вона завдає збитків не лише економіці, життю і здоров'ю людей, а й трансформує довкілля. Вивчення типу цих змін та їхньої інтенсивності є важливою процедурою для визначення екологічних ризиків і розроблення алгоритмів майбутнього відновлення природних екосистем. Під час дослідження долини річки Щербинчик у районі села Моцун нами визначено, що угруповання водних макрофітів належать до 9 асоціацій, об'єднаних у 4 союзи, 3 порядки та 3 класи. Утворені ними оселища є мезо-евтрофними та евтрофними водоймами й узбережжями. У результаті бойових дій на долину річки діють утворені ними хімічні й фізичні чинники – короточасні та пролонговані, прямого та опосередкованого впливу. Короточасними чинниками є термічні та механічні впливи, у тому числі гідроакустичні й вібраційні, під час вибухів боєприпасів. Фізико-хімічні чинники діють протягом більш тривалого часу. Найбільш чутливими до зміни рівня кислотності є асоціації *Lemnetum minoris*, *Lemno-Salvinietum natantis*, *Potametum natantis*, *Numpharo lutei-Nymphaetum albae*, *Trapetum natans*, *Phragmitetum australis*, *Typhetum angustifoliae*. Найменш чутливими будуть асоціації *Glycerietum maximae* та *Iridetum pseudacori*. Опосередковані впливи бойових дій можна розділити на три основні групи: замулення, евтрофікація та накопичення доступного рослинам нітрогену. Зниження величини багаторічного режиму зволоження призводить до поступового переходу до евтрофних боліт і вологих лук. У результаті евтрофікації, у тому числі через накопичення доступного нітрогену, відбувається деградація угруповань водних макрофітів. У прибережній частині поєднання нітрифікації із підвищенням рівня антропогенної трансформації спричиняє формування рудеральних ценозів класу *Videntetea tripartiti*.

Ключові слова: ветланди, теорія екосистем, мілітарні чинники, синфітоіндикація, прогнозування змін екосистем.

Illia TSYHANENKO-DZIUBENKO

PhD Student (Ecology), Assistant Professor at the Department of Ecology and Environmental Technologies, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10005

ORCID: 0000-0002-3240-8719

Ivan KHOMYAK

PhD (Biological Sciences), Associate Professor at the Department of Ecology and Geography, Zhytomyr Ivan Franko State University, 40 Velyka Berdychivska str., Zhytomyr, Ukraine, 10008

ORCID: 0000-0003-0080-0019

Hanna KIREITSEVA

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

ORCID: 0000-0002-1055-1784

To cite this article: Tsyhanenko-Dziubenko I., Khom'iak I., Kireitseva H. (2023). Modeliuvannia dynamiky vodnykh i pryberezhno-vodnykh roslynnykh uhrupovan u post-militarynykh umovakh [Modelling the dynamics of aquatic and coastal plant communities in post-military conditions]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 47–55, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-7>

MODELLING THE DYNAMICS OF AQUATIC AND COASTAL PLANT COMMUNITIES IN POST-MILITARY CONDITIONS

The activity of hostilities in the Russian-Ukrainian war has reached an unprecedented scale. It causes damage not only to the economy, people's lives and health, but also transforms the environment. Studying the type of these changes and their intensity is an important procedure for determining ecological risks and developing algorithms for the future restoration of natural ecosystems. During the study of the Shcherbynychk river valley near the village of Moschun, we determined that the groups of aquatic microphytes belong to 9 associations united in 4 unions, 3 orders and 3 classes. The habitats formed by them are meso-eutrophic and eutrophic reservoirs and coasts. As a result of hostilities, chemical and physical factors created by them act on the river valley – short-term and prolonged, direct and indirect. Short-term factors are thermal and mechanical effects, including hydroacoustic and vibration, during ammunition explosions. Physico-chemical factors act for a longer time. The associations Lemnetum minoris, Lemno-Salvinietum natantis, Potametum natantis, Numpharo lutei-Nymphaetum albae, Trapetum natans, Phragmitetum australis, Typhetum angustifoliae are the most sensitive to changes in the level of acidity. The least sensitive will be the Glycerietum maximae and Iridetum pseudacori associations. The indirect effects of hostilities can be divided into three main groups: siltation, eutrophication, and accumulation of plant-available nitrogen. A decrease in the value of the long-term wetting regime leads to a gradual transition to eutrophic swamps and wet meadows. As a result of eutrophication, including due to the accumulation of available nitrogen, aquatic macrophyte communities are degraded. In the coastal part, the combination of nitrification with an increase in the level of anthropogenic transformation causes the formation of ruderal coenoses of the Bidentetea tripartiti class.

Key words: wetlands, ecological systems theory, military factors, synphytoindication, forecasting ecosystem changes.

Вступ. Бойові дії діють на довкілля як складний багатовекторний комплекс чинників. Водночас екосистеми, які знаходяться під їхнім тиском, є складними динамічними системами, які реагують на зовнішні впливи як єдине ціле. Тому для оцінки впливу бойових дій не можна зосереджуватися лише на обмеженому числі окремих чинників, а слід розглядати всі ключові зміни як систему. До того ж треба намагатися змодельовати, який вплив матимуть ці зміни в майбутньому.

Ветленди – досить складний об'єкт для дослідження на рівні екосистеми (Keddy, 2010).

Вони знаходяться на ранніх стадіях автогенної сукцесії, через що їхній розвиток важко передбачуваний і сильно залежний від впливів зовнішніх чинників. Зазвичай угруповання макрофітів водних і прибережно-водних екосистем – монодомінантні та маловидові (Дубина, 2006). Часто формування тієї чи іншої асоціації рослинності регулюється не сталими умовами середовища, а великим числом важкопрогнозованих чинників (Хом'як, 2013). Водночас порівняно невелике число видів крупних автотрофів спрощує структуру ветлендів, знижуючи число дублюючих зв'язків у їхніх трофічних мережах

(Davidson, 2014). Це призводить до надзвичайної вразливості таких екосистем від дії зовнішніх чинників (Arthington, 2012). До цього слід додати горизонтальну структурність ландшафтів, яка утворює територіальні комплекси, де ключову роль відіграють саме водно-болотні угіддя (Паламарчук, Закорчевна, 2001; Smith, et al 2007).

Під час ведення бойових дій на довкілля здійснюється руйнівний тиск великого числа різноманітних чинників – фізичних, хімічних і біотичних (Atiyeh, Gunn, Nayek, 2007). Згідно із положеннями моноцентричної моделі структури екосистем, ключовим її компонентом є автотрофний блок (Дідух, 2005). У ветлендах, заселених вищими судинними рослинами, ключовою частиною екосистем є їхні угруповання.

Метою цього дослідження є моделювання впливів основних мілітарних чинників на ветленди. Для цього було проведено порівняння екологічних спектрів фітоценозів і досліджено зміщення амплітуди показників цих спектрів на екосистемах, що зазнали змін під дією бойових дій.

Матеріали і методи дослідження. Матеріалами дослідження є геоботанічні описи, зроблені загальноприйнятим маршрутно-експедиційним методом на водоймах у районі населеного пункту Мощун Київської області у 2022 році, а також хімічні аналізи води та донних відкладень річки Щербинчик, зроблені лабораторією ТОВ «Укрхіманаліз». Геоботанічний опис включав у себе характеристики умов середовища та проєктивні покриття вищих судинних рослин за модифікованою шкалою Браун-Бланке (Westhoff, Maarel, 1973). Щоб використати цю шкалу для синфітоіндикаційного аналізу, класичну семибальну шкалу перетворили в п'ятибальну. Проєктивному покриттю вище 75 % присвоювалися 5 балів; від 50 до 75 % – 4 бали; від 25 до 50 % – 3 бали; від 5 до 25 % – 2 бали й менше 5 % – 1 бал. Такі категорії Браун-Бланке, як «1 бал», «+» та «г», у модифікованій шкалі отримали значення «1 бал». Під час польових досліджень у водоймах або в прибережній зоні з ознаками певних синтаксонів рослинних угруповань виділялися візуально гомогенні ділянки. Їхні розміри відповідали площі квадрата 1x1 м, а для прибережного високотрав'я – смуги довжиною 2 метри та шириною, що відповідає візуальній однорідності ділянки, але не перевищує 2 м. Конфігурація меж описаних ділянок могла змінюватися відповідно до їхніх візуальних

контурів, визначеними за домінтами або співвідношенням біоморф.

Координати описів встановлювалися за допомогою GPS-навігатора або мобільного додатку GPSTest. Створені описи збиралися в базу даних за допомогою програми Turboveg for Windows 2.0 (Hennekens, 2009). За допомогою синфітоіндикаційних методів визначалися показники чинників середовища, показник динаміки (ST) та інтегрований показник антропогенної трансформації (HE). Водночас для позначення величини чинників середовища використовувалася уніфікована шкала Дідуха–Плюти (Дідух, Плюта, 1994; Дідух, 2012). Цими чинниками є багаторічний режим зволоження (HD), змінність зволоження (FH), кислотність едафотопу (RC), загальний сольовий режим або трофність (SL), вміст карбонатів (CA) та доступного для рослин нітрогену (NT). Величина антропогенного чинника (HE) описувалася за 18-бальною шкалою Дідуха-Хом'яка (Хом'як та ін. 2020). Синфітоіндикаційний аналіз здійснювався за допомогою пакету програм Simagr 1.12 (Khomiak et al., 2020). Назви видів узгоджувалися із «Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist». (Mosyakin, Fedoronchuk, 1999 *Визначник*, 1987).

Описи було об'єднано за допомогою програми Turboveg for Windows та експортовані в програму JUICE 7.1.29 у вигляді файлів таблиць XML. Утворені фітоценотичні таблиці збережено у форматі WCT (Table format WCT–JUICE). Потім подібні описи було об'єднано за допомогою кольорового кодування. За допомогою інтегрованої в JUICE програми TWINSPAN описи було згруповано в кластери за ознаками їхньої вірності в синтактичній таблиці. Після виділення діагностичних, константних і домінантних видів утворені фітоценони ідентифікувалися за допомогою «Продромуса рослинності України» (Дубина та ін., 2019).

Результати та їх обговорення. Територія с. Мощун Бучанського району Київської області – це частина Українського Полісся (північної її частини), яка від самого початку повномасштабного вторгнення рф до України зазнала значних змін унаслідок активних бойових дій.

За результатами польових досліджень і подальшої обробки проєктивних покриттів фітоценозами територій, які зазнали впливу військових дій, було виділено 9 фітоценонів,

що потім ідентифікувалися як 9 асоціацій, об'єднаних у 4 союзи, 3 порядки та 3 класи рослинних угруповань. Синтаксономічна схема водної та прибережно-водної рослинності досліджуваної території має такий вигляд:

Lemnetea de Bolós et Masclans 1955:
Lemnetalia minoris de Bolós et Masclans 1955:
Lemnion minoris de Bolós et Masclans 1955:
Lemnetum minoris Soó 1927, Lemno-Salvinietum
natantis Miyawaki et Tüxen 1960;

Potamogetea Klika in Klika et Novak 1941:
Potamogetalia Koch 1926: Nymphaeion albae
Oberd 1957: Numpharo lutei-Nymphaetum albae
Tomasz 1977 Trapetum natantis Kárpáti 1963;
Potamogion Libberd 1931: Potametum natantis
Hild 1959;

Phragmiti-Magnocaricetea Klika in Klika
et Novak 1941: Phragmitetalia Koch 1926:
Phragmition Koch 1926: Phragmitetum australis
Savič 1926, Typhetum angustifoliae Pignatti 1953,
Iridetum pseudocaori Egger 1933, Glycerietum
maximae Nowiński 1930 corr. Šumberová, Chytrý
et Danihelka in Chytrý 2011.

Згідно із отриманою класифікацією рослинності, на цій території присутні 2 класи водної рослинності – Lemnetea та Potamogetea, та один клас прибережно-водної – Phragmiti-Magnocaricetea. Вологі луки, зокрема поширена тут асоціація Scirpetum sylvatici Ralski 1931 класу Molinio-Arrhenatheretea R.Tx 1937, нами не враховувалися, не зважаючи на те, що інколи вони були розташовані близько від узбережжя. Аналогічна ситуація із вологими рудеральними оселищами із асоціації Bidentetum tripartitae Miljan 1933 класу Bidentetea tripartiti Tx. et al. ex von Rochow 1951.

Присутність таких угруповань у цій місцевості вказує на мезо-евтрофність та евтрофність окремих частин водойм та їхніх узбереж. Водночас рослинність класу Lemnetea є вимогливою щодо умов гідро- та аеродинаміки. Оскільки вона об'єднує в собі вільноплаваючих водних макрофітів, то збурення водних або повітряних потоків легко руйнують суцільність її рослинного покриву.

Ведення бойових дій у районі таких водойм створює комплекс чинників, які умовно можна розділити на хімічні та фізичні, короточасні та пролонговані, прямого та опосередкованого впливу. Короточасними чинниками є насамперед механічні впливи в момент вибухів боєпри-

пасів безпосередньо у водоймах або на їхньому узбережжі. Більш віддалені вибухові хвилі призводять до гідроакустичних збурень, які руйнують покрив угруповань класу Lemnetea. Такі обстріли велися у весняно-зимовий період, коли макрофіти цього класу зимують, опускаючись на дно водойм. Однак у зв'язку із глобальними змінами клімату та підвищенням середніх зимових температур велика частка особин *Lemna minor* L. та *Salvinia natans* (L.) All. залишилися в лютому – березні на поверхні. Це призвело до їхнього переміщення із локалітетів, захищених від помітних течій та вітру. Лише через значне зарегулювання течії річки Щербинчик такі дії не завдали значної шкоди угрупованням цього класу (Хом'як, та ін., 2021). Водночас вибухи в безпосередній близькості від фітоценозів класу Potamogetea повністю їх знищують.

Ще одним короточасним мілітарним чинником середовища є підняття температури в момент вибуху або під час горіння спеціальних боєприпасів (запалювальних та освітлювальних). Температура під час звичайного вибуху локально підвищується на короткий час до 2–4 тисяч градусів за Цельсієм, однак у водному середовищі вона не перевищує 0,9–2 тисяч градусів (Бойко, Бойко, 2006). Завдяки високій теплоємності води та короткочасності процесу горіння цей температурний вплив швидко зникає та не має значного поширення. Зона летального для рослинності температурного впливу співпадає із летальною зоною механічного впливу. Більш небезпечною є дія масового застосування запалювальних та освітлювальних боєприпасів. Їхній температурний вплив більш тривалий і супроводжується виділенням великого числа токсичних продуктів горіння (Group, 2002). У сезон масової вегетації вони становлять загрозу для всіх груп рослинності, у зимовий період – виключно прибережно-водній класу Phragmiti-Magnocaricetea. Однак наслідки глобального потепління, які не перевели в режим зимівлі макрофітів класу Lemnetea, спричинили їх масову загибель під час обстрілів боєприпасами такого типу. Температура в зоні враження фосфорного боєприпасу піднімається до 2760°C і триває протягом певного часу, поки не згорить до 85 % запалювальної речовини (Agency..., 2006). Таким чином, долається термомопоглинальна та терморегулююча властивість

водного середовища й рослинність страждає від температурного шоку. Особливо це небезпечно у водоймах із дуже низькою або відсутньою течією, де не відбуватиметься перенос тепла разом із потоком води. Крім температурного впливу, такі боєприпаси спричиняють отруєння навколишнього середовища продуктами горіння та речовинами, які утворюються в результаті їхньої реакції із водою та органікою. Насамперед мова йде про ортофосфору кислоту та її похідні. Це викликає підвищення кислотності середовища, зв'язування буферних компонентів та осадження багатьох важливих мінеральних речовин (Moore, Reddy, 1994).

Різноманітне хімічне забруднення є основною довготривалою прямою та опосередкованою небезпечкою для угруповань водних макрофітів, що знаходяться під дією бойових дій (Maksymenko et al. 2022). У результаті обстрілів акваторії річки Щербинчик у районі населеного пункту Мощун найбільших змін зазнали показники кислотності, загального сольового режиму, вмісту карбонатів і показник природної динаміки. Незначне зростання кислотності та зміни загального сольового режиму разом зі зниженням вмісту карбонатів обумовлені застосуванням як типових, так і фосфорних боєприпасів. З одного боку, утворена ортофосфорна кислота видала частину розчинених у воді карбонатів. Насамперед це відбулося через утворення важкорозчинних ортофосфатів кальцію ($0,0025 \text{ г} / 100 \text{ г}$) та магнію ($3,9 \cdot 10 - 26 \text{ г} / 100 \text{ мл}$). З іншого боку, численні оксиди металів із розірваних боєприпасів, вступаючи в реакцію із карбонатами, осаджували їх. Це призводить до помітного зниження буферної ємності природних водних екосистем. Аналогічна ситуація, але із меншою швидкістю перетворень, спостерігається на лучних ґрунтах у безпосередній близькості від водойм. У результаті цього процесу водойми враженої обстрілом території частково втратили спроможність відновлювати свою кислотність під дією зовнішніх впливів. Оскільки в долині річки в результаті обстрілів було порушено цілісність рослинного покриву, то міграція мінеральних речовин та органічних кислот буде посилена водною ерозією. Водні екосистеми без нормально працюючої буферної системи не здатні цьому протистояти (Uradhuay, Singh, Singh, 2020). Зважаючи на екологічні спектри рослинних угруповань за названими

вище чинниками (табл. 1), частина із них буде знаходитися під загрозою зменшення площі, структурної повноти й навіть повного зникнення. Це відбудеться, якщо кислотність вийде за межі екологічної толерантності цих угруповань. Так, на території Українського Полісся найбільш вразливими за нижньою межею толерантності до рівня кислотності є *Lemnetum minoris* (7,83 бала), *Lemno-Salvinietum natantis* (7,81 бала), *Potametum natantis* (7,43 бала), *Numpharo lutei-Nymphaetum albae* (7,17 бала), *Trapaetum natans* (7,63 бала), *Phragmitetum australis* (7,27 бала), *Typhetum angustifoliae* (7,29 бала). Найменш чутливими будуть асоціації *Glycerietum maximae* (6,58 бала) та *Iridetum pseudacori* (6,69 бала).

Зміни загального сольового режиму будуть знаходитися під дією кількох паралельних процесів. З одного боку, це буде пов'язано із кислотністю через видалення із розчинів карбонатів. З іншого боку, відбувається зв'язування важкими металами катіонів інших солей. Водночас відбуватиметься активізація змиву ґрунтових солей через пошкодження рослинного покриву. Рівень сольового режиму водойм буде залежати від балансу між цими двома процесами. Без створення моделі зміни водної ерозії після пошкодження рослинного покриву під час обстрілу передбачити зміну сольового режиму не можливо (Smith, et al 2007).

Очікується пряме та опосередковане зростання сполук доступного нітрогену (нітратів і солей амонію). Пряма дія пов'язана із продуктами згоряння вибухових речовин, які переважно є нітрогеновмісними (піроксилін, амоніт, тротил, гексоген та інші). Село Мощун і його околиці інтенсивно обстрілювали й численні нітросполуки потрапляли у водойми та ґрунти. Опосередкована дія пов'язана зі знищенням біоти, яка в результаті розкладання насичуватиме середовище нітратами та солями амонію. Також порушення цілісності донних відкладень водойм і гумінових комплексів призведе до повернення нітросполук зі стабільних комплексів у динамічні компоненти довкілля. Зростання рівня доступного нітрогену разом зі збільшенням кількості ортофосфатів призводять до значної евтрофікації водойм і всіх її наслідків.

Знищення біоти буде змішувати показники природної динаміки в бік початкових стадій автогенної сукцесії (Khomiak, et al, 2019). На

цьому етапі саморозвитку екосистем низьке число еконіш, а зв'язки між окремими видами мають недостатню кількість дублікатів. Така екосистема, з одного боку, є менш стійкою, а з другого боку, має менше раритетних компонентів.

Проведений у 2022 році аналіз хімічного середовища та біоти не виявив критичної прямої загрози для рослинності досліджених водойм. За даними хімічного аналізу води та донних відкладень лабораторії ТОВ «Укрхіманаліз», загальний сольовий режим і вміст карбонатів коливається в межах 7 балів за уніфікованою шкалою Дідуха-Плюти, кислотність – від 5 (донні відкладення) до 11 (товща води) балів, а вміст доступного нітрогену – від 2 (товща води) до 7 (донні відкладення) балів. Це досить прийнятні умови середовища для існування виявлених тут угруповань водних макрофітів. Однак у перший вегетативний сезон

після обстрілів ще не проявилися всі їхні опосередковані впливи. Їх умовно можна розділити на три основні групи: замулення через порушення цілісності рослинного покриву долини річки; евтрофікація за рахунок принесених еродованими ґрунтами солей та забруднення продуктами розпаду вибухових речовин; накопичення доступного рослинам нітрогену за рахунок розкладання відмерлих рослин, змиву нітратів та солей амонію в результаті водної ерозії та забруднення продуктами горіння вибухових речовин (рис. 1). Також в окремих частинах водойм і прибережних зонах буде спостерігатися комбінований вплив декількох процесів водночас.

Замулювання і супутнє йому зниження багаторічного режиму зволоження призведе до поступового переходу від водної рослинності класу Potamogetea до Lemnetaea, а потім і до прибережно-водної рослинності Phragmiti-

Таблиця 1

Едафічна та динамічна частина екологічного спектру асоціацій водної та прибережно-водної рослинності Українського Полісся

Класи рослинності	Асоціації рослинності	Статистичні показники	Синфітоіндикаційні величини чинників середовища та показник динаміки (в балах за уніфікованою шкалою Дідуха–Плюти, шкалою рівня антропогенної трансформації Дідуха–Хом'яка)							
			HE	HD	FH	RC	SL	CA	NT	ST
Lemnetaea	Lemnetum minoris	середнє	7,06	19,59	3,73	8,10	8,79	5,81	6,33	3,31
		максимум	7,55	20,40	5,44	8,50	9,17	6,17	6,81	3,87
		мінімум	7,54	17,31	2,80	7,83	8,13	5,50	6,00	3,01
	Lemno-Salvinietum natantis	середнє	6,09	20,04	7,27	8,08	7,67	5,54	7,11	3,46
		максимум	6,88	20,50	9,00	8,50	8,19	5,88	7,67	3,77
		мінімум	5,33	19,63	5,75	7,81	6,92	5,08	6,58	2,67
Potamogetea	Potametum natantis	середнє	7,35	20,43	4,93	8,72	8,22	5,78	6,52	3,83
		максимум	7,67	21,33	6,00	9,17	8,60	6,39	7,08	4,87
		мінімум	6,53	18,42	4,00	7,43	6,97	4,83	5,78	2,98
	Numpharo lutei-Nymphaetum albae	середнє	7,46	20,11	4,55	7,88	7,81	5,50	6,42	3,80
		максимум	7,93	21,17	5,90	8,50	8,94	6,25	7,13	4,40
		мінімум	6,98	17,70	3,44	7,17	7,25	4,43	5,58	3,30
	Trapaetum natans	середнє	7,14	20,87	3,02	8,04	8,07	6,34	7,24	3,50
		максимум	7,39	21,19	4,43	8,56	8,56	6,71	7,88	3,65
		мінімум	6,75	20,14	2,31	7,63	7,81	6,00	6,67	3,38
Phragmiti-Magnocaricetea	Phragmitetum australis	середнє	6,32	15,10	6,04	8,39	8,80	5,44	6,24	4,71
		максимум	7,61	17,17	7,28	9,17	10,00	6,31	7,32	6,73
		мінімум	5,69	12,19	4,62	7,27	7,17	4,77	5,14	3,38
	Glycerietum maximae	середнє	6,78	17,12	5,85	8,09	7,87	5,39	6,96	4,80
		максимум	7,57	19,13	7,19	9,43	8,75	6,40	7,69	7,20
		мінімум	5,36	15,47	4,50	6,58	6,39	4,00	5,11	3,74
	Typhetum angustifoliae	середнє	6,63	17,88	5,23	8,08	8,15	5,09	7,27	4,56
		максимум	7,03	19,00	6,50	8,64	8,72	5,72	8,00	5,71
		мінімум	6,22	16,50	4,17	7,29	7,29	4,56	6,42	3,75
	Iridetum pseudocori	середнє	6,49	16,72	5,48	7,35	7,54	5,80	6,81	4,86
		максимум	6,98	17,57	6,19	8,00	8,04	6,45	7,50	5,73
		мінімум	6,08	15,80	5,06	6,69	6,34	4,94	5,92	3,97

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

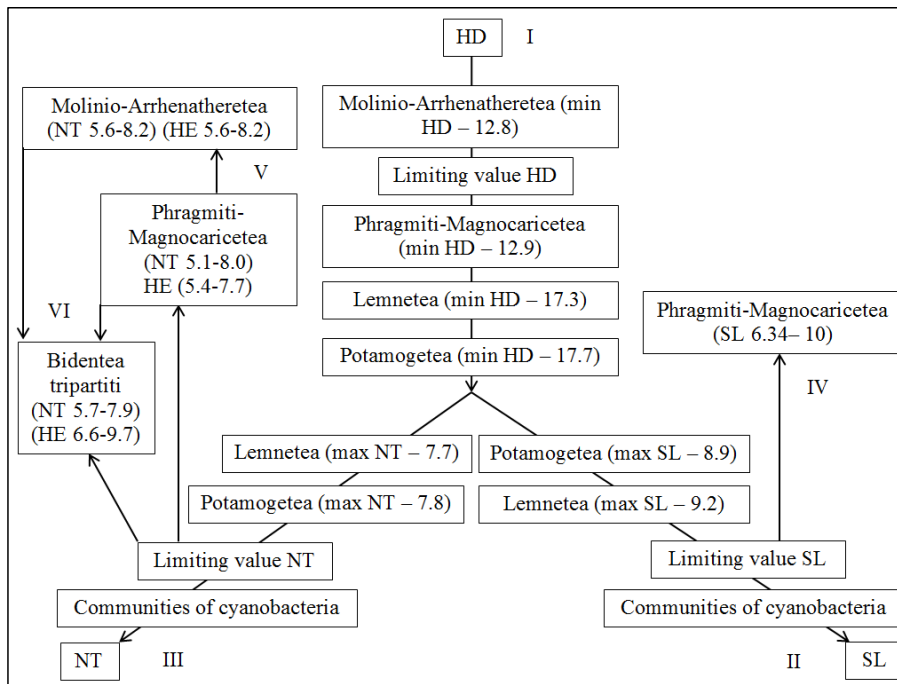


Рис. 1. Прогноз динаміки фітоценозів водойм околиць с. Мощун

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень.

Примітка:

I – зниження багаторічного режиму зволоження в результаті замулення;

II – зміна загального сольового режиму в результаті евтрофікації;

III – зміна рівня доступного нітрогену;

IV – зміни викликані поєднанням евтрофікації та замулення;

V – зміни викликані поєднанням замулення та накопичення доступного рослинам нітрогену;

VI – зміни викликані поєднанням замулення та накопичення доступного рослинам нітрогену в умовах підвищеного антропогенного тиску.

Magnocaricetea. Якщо процес перетне порогове значення в приблизно 12,9, то тут остаточно сформується вологі луки.

За прогнозом динаміки рослинності водойм околиць с. Мощун Бучанського району Київської області процес евтрофікації призведе до переходу Potamogetea → Lemnetea. Подальші зміни в цьому напрямі зможуть спричинити деградацію угруповань макрофітів та формування біоценозів на основі ціанобактерій («цвітіння води»). Якщо це супроводжуватиметься зниженням рівня води, то відбудеться перехід до ценозів евтрофних боліт класу Phragmiti-Magnocaricetea.

Окремо слід розглядати процес нітрифікації. Сполуки нітрогену можуть поступати в екосистеми природним і антропогенним шляхом (Valiela, et al 1997). Водні макрофітні фітоценози мало відрізняються одна від одної

за амплітудами відношення до вмісту нітрогену. Однак зростання їхнього вмісту вище порогових значень може спричинити «цвітіння води», а в поєднанні із замуленням здійснити перехід до евтрофних боліт (клас Phragmiti-Magnocaricetea) та вологих евтрофних лук (клас Molinio-Arrhenatheretea). В умовах підвищеного антропогенного тиску, коли його величина перевищить 8,2 бали за інтегрованою шкалою Дідуха-Хом'яка, утворяться нітрофіковані рудеральні узбережжя класу Bidentetea tripartiti.

Висновки.

1. Угруповання водних макрофітів річки Щербинчик у районі с. Мощун належать до 9 асоціацій, об'єднаних у 4 союзи, 3 порядки та 3 класи. Утворені ними оселища є мезо-евтрофними й евтрофними водоймами та узбережжями.

2. У результаті бойових дій на долину річки діють утворені ними хімічні та фізичні чин-

ники – короточасні та пролонговані, прямого та опосередкованого впливу. Короточасними чинниками є термічні та механічні впливи, у тому числі гідроакустичні й вібраційні, під час вибухів боєприпасів. Фізико-хімічні чинники діють протягом більш тривалого часу.

3. Найбільш чутливими до зміни рівня кислотності є асоціації *Lemnetum minoris*, *Lemno-Salvinietum natantis*, *Potametum natantis*, *Numpharo lutei-Nymphaetum albae*, *Trapetum natans*, *Phragmitetum australis*, *Typhetum angustifoliae*. Найменш чутливими будуть асоціації *Glycerietum maximae* та *Iridetum pseudacori*.

4. Опосередковані впливи бойових дій можна розділити на три основні групи: замулення, евтрофікація та накопичення доступного рослинам нітрогену. Зниження величини багаторічного режиму зволоження призводить до поступового переходу до евтрофних боліт і вологих лук. У результаті евтрофікації, у тому числі через накопичення доступного нітрогену, відбувається деградація угруповань водних макрофітів. У прибережній частині поєднання нітрифікації із підвищенням рівня антропогенної трансформації спричиняє формування рудеральних ценозів класу *Videntetea tripartiti*.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2006). White Phosphorus: Health Effects. Toxicological Profile Information Sheet.
2. Alpatova, O., Maksymenko, I., Patseva, I., Khomiak, I., Gandziura, V. (2022). Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. XVI International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment” 15–18 November 2022, Kyiv, Ukraine.
3. Arthington, Angela H. (2012). Wetlands, Threats, and Water Requirements, Environmental Flows, University of California Press, (pp. 243–258).
4. Atiyeh, B.S., Gunn, S.W., Hayek, S.N. (31 December 2007). Military and Civilian Burn Injuries During Armed Conflicts. *Annals of Burns and Fire Disasters*. 20 (4), 203–215.
5. Boiko, V. S., Boiko, R. V. (2004). Explanatory and terminological dictionary-reference book on oil and gas.
6. Davidson, N.C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65 (10), 934–941.
7. Dobrochaeva, D.N., Kotov, M.N., Gorokudin, Yu.N. (1987). Determinant of higher plants of Ukraine.
8. Didukh, Ya.P. (2005). Theoretical approaches to creating a classification of ecosystems. *Ukr. Phytocene collection*, Ser. S, 23, 3–15.
9. Didukh, Y. P. (2012). *Fundamentals of Bioindication*. Kyiv: Naukova dumka Publ.
10. Dubyna, D. V. (2006). Higher aquatic vegetation. *Lemnetea*, *Potametea*, *Ruppietea*, *Zosteretea*, *Isoëto-Littorelletea* (*Eleocharition acicularis*, *Isoetion lacustris*, *Potamion graminei*, *Sphagno-Utricularion*), *Phragmito-Magnocaricetea* (*Glycerio-Sparganion*, *Oenanthion aquaticae*, *Phragmition communis*, *Scirpion maritimi*). *Resp. ed. Yu. R. Shelyag-Sosonko. Vegetation of Ukraine*.
11. Dubyna, D.V., Dzyuba, T.P., Yemelyanova, S.M., and others. (2019). *Prodromus vegetation of Ukraine*.
12. Hennekens S. (2009). *Turboveg for Windows. 1998–2007. Version 2*. Wageningen: Inst. voor Bos en Natuur.
13. Khomiak, I., Harbar, O., Demchuk, N., Kotsiuba, I., Onyshchuk, I. (2019). Above-ground phytomas dynamics in autogenic succession of an ecosystem. *Forestry ideas*, 1 (57), 136–146.
14. Keddy, P.A. (2010). *Wetland Ecology Principles and Conservation*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, USA, 1–497.
15. Khomiak, I.V. (2013). Phytoindicative analysis of transformation processes of wetlands. *Protected business in Ukraine*, 1 (19), 38–42.
16. Khomiak, I.V., Kozin, M.S., Kotsyuba, I.Yu., Vasylenko, O.M., Vlasenko, R.P. (2022). Justification of the need to protect the sources of small rivers on the example of the Slovechansko-Ovrutsky Ridge. *Environmental sciences*, 1 (40), 28–32.
17. Khomiak, I.V., Zarichna, M.S., Demchuk, N.S., Kostyuk, V.S., Vasylenko, O.M., Vlasenko, R.P., Garbar, D.A. (2021). The influence of flow regulation on the dynamics of ecosystems of the Lisna river (Zhytomyr Region) *Ecological Sciences*, 2(35), 45–48.
18. Mosyakin, S.L., Fedoronchuk, M.M. (1999). *Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist*.
19. Palamarchuk, M.M., Zakorchevna, N.B. (2001). *Water Fund of Ukraine. Reference manual*.
20. Smith, M. J.; Schreiber, E. S. G., Kohout, M., Ough, K., Lennie, R., Turnbull, D., Jin, C., Clancy, T. (2007). Wetlands as landscape units: spatial patterns in salinity and water chemistry. *Wetlands, Ecology & Management*, 15 (2), 95–103.
21. Upadhyay A.K, Singh,R., Singh D. (2020). *Restoration of Wetland Ecosystem: A Trajectory Towards a Sustainable Environment* 1st ed. Springer.

22. I.G. Kotsiuba, G.V. Skyba, I.A. Skuratovskaya, S.M. Lyko. Ecological Monitoring of Small Water Systems: Algorithm, Software Package, the Results of Application to the Uzh River Basin (Ukraine). *Methods and objects of chemical analysis*, Volume 14, № 4, 2019. P. 200–207.

23. Iryna Kotsiuba, Vitalina Lukianova, Yevheniia Anpilova, Tetiana Yelnikova, Olena Herasymchuk, Oksana Spasichenko. The Features of Eutrophication Processes in the Water of the Uzh River. *Ecological Engineering & Environmental Technology* 2022, 23(2), 9–15.

ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

УДК 378.014.53:789

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-8>

Михайло ДЕМ'ЯНЧУК

доктор педагогічних наук, професор кафедри медико-профілактичних дисциплін та лабораторної діагностики, Комунальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, вул. М. Карнаухова, 53, м. Рівне, Україна, 33014

ORCID: 0000-0001-8729-5144

Людмила АРТЕМЕНКО

кандидат філологічних наук, професор кафедри суспільно-гуманітарних дисциплін, Комунальний заклад вищої освіти «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, вул. М. Карнаухова, 53, м. Рівне, Україна, 33014

ORCID: 0000-0001-6653-3043

Ірина БОДНАРУК

кандидат педагогічних наук, м. Тернопіль, Україна

ORCID: 0000-0001-7349-5030

Бібліографічний опис статті: Демянчук, М., Артеменко, Л., Боднарук, І. (2023). Інтернаціоналізація системи вищої освіти України в умовах конструювання світового освітнього простору: проблеми і перспективи. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 56–62, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-8>

ІНТЕРНАЦІОНАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ В УМОВАХ КОНСТРУЮВАННЯ СВІТОВОГО ОСВІТНЬОГО ПРОСТОРУ: ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ

Глобалізація світового ринку праці, зростання міграційних процесів, демографічні зміни, масове поширення електронних комунікацій на планеті призвели до інтернаціоналізації освіти. Іншими словами, глобалізаційні процеси сприяли стрімкому розвитку міжнародної освіти, а університети світу стали головними агентами і основними майданчиками формування мультикультурного освітнього простору. Нині однією з найважливіших ключових характеристик ЗВО світового рівня, що відображають його успішність на світовому ринку освітніх послуг, є наявність критичної маси (значної частки) іноземних студентів і аспірантів.

Інтернаціоналізація освіти передбачає використання певних форм взаємного співробітництва, до низки яких дослідник відносить: індивідуальну мобільність, мобільність студентів або професорсько-викладацького складу в освітніх цілях; мобільність освітніх програм та інституційну мобільність; забезпечення реалізації міжнародних стандартів освітніх програм; інтеграцію в навчальні програми міжнародного виміру та освітніх стандартів; інституційне партнерство; створення стратегічних освітніх альянсів.

Інтернаціоналізація освіти у ЗВО України сприяє досягненню низки й інших цілей, серед яких: диверсифікація і зростання фінансових надходжень через залучення іноземних студентів на платне навчання; розширення навчальних планів і навчання своїх студентів в зарубіжних ЗВО-партнерах; розширення регіональної мережі ЗВО для ефективного використання своїх ресурсів; підвищення якості освіти та досліджень на основі участі студентів і викладачів у міжнародному процесі обміну знаннями тощо. До числа основних причин, що гальмують розвиток експорту українських освітніх послуг, віднесено: недружню візову політику, міграційне та трудове законодавство для іноземних громадян; слабку поінформованість про українську систему освіти за кордоном; проблеми з визнанням українських дипломів; слабкі показники українських ЗВО в світових рейтингах. Для формування позитивного іміджу української вищої освіти у свідомості іноземних студентів важливим фактором є державна міграційна політика. У більшості розвинених країн іноземні студенти мають право працювати під час навчання, тим самим приймаючи країни стимулюють приплив не «золотої молоді», але високоінтелектуальної молоді, яка орієнтована на часткову зайнятість під час навчання.

Ключові слова: вища освіта, світовий простір вищої освіти, міжкультурна взаємодія, адаптація, студенти.

Mykhailo DEMIANCHUK

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Medical Prevention Disciplines and Laboratory Diagnostics, Municipal Institution of Higher Education «Rivne Medical Academy» of the Rivne Regional Council, M. Karnaukhov str., 53, Ukraine, Rivne, 33014

ORCID: 0000-0001-8729-5144

Liudmyla ARTEMENKO

Candidate of Philological Sciences, Professor of the Social Sciences and Humanities Department, Lecturer in Ukrainian Language and Literature at the Public Higher Educational Institution “Rivne Medical Academy” of the Rivne Regional Council, M. Karnaukhov str., 53, Ukraine, Rivne, 33014

ORCID: 0000-0001-6653-3043

Iryna BODNARUK

Candidate of Pedagogical Sciences, Ternopil, Ukraine

ORCID: 0000-0001-7349-5030

To cite this article: Demianchuk, M., Artemenko, L., Bodnaruk, I. (2023). Internatsionalizatsiia systemy vyshchoi osvity Ukrainy v umovakh konstruiuvannia svitovoho osvitnoho prostoru: problemy i perspektyvy [Internationalization of the higher education system of Ukraine in the conditions of construction of the world educational space: problems and prospects]. *Problemy khimii ta staloho rozvytku – Problems of chemistry and sustainable development*, 2, 56–62, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-8>

INTERNATIONALIZATION OF THE HIGHER EDUCATION SYSTEM OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF CONSTRUCTING THE GLOBAL EDUCATIONAL SPACE: PROBLEMS AND PERSPECTIVES

The globalization of the world labor market, the growth of migration processes, demographic changes, and the mass spread of electronic communications on the planet have led to the internationalization of education. In other words, globalization processes contributed to the rapid development of international education, and the universities of the world became the main agents and main platforms for the formation of a multicultural educational space. Currently, one of the most important key characteristics of world-class higher education institutions, reflecting its success in the world market of educational services, is the presence of a critical mass (significant share) of foreign students and graduate students.

Internationalization of education involves the use of certain forms of mutual cooperation, among which the researcher includes: individual mobility, mobility of students or teaching staff for educational purposes; mobility of educational programs and institutional mobility; ensuring the implementation of international standards of educational programs; integration into educational programs of an international dimension and educational standards; institutional partnership; creation of strategic educational alliances. The internationalization of education in higher education institutions of Ukraine contributes to the achievement of a number of other goals, including: diversification and growth of financial income through the attraction of foreign students for paid studies; expansion of curricula and training of its students in foreign higher education institutions-partners; expansion of the regional network of higher education institutions for effective use of their resources; improving the quality of education and research based on the participation of students and teachers in the international process of knowledge exchange, etc. Among the main reasons inhibiting the development of the export of Ukrainian educational services are: unfriendly visa policy, migration and labor legislation for foreign citizens; weak awareness of the Ukrainian education system abroad; problems with the recognition of Ukrainian diplomas; weak indicators of Ukrainian institutions of higher education in world rankings. For the formation of a positive image of Ukrainian higher education in the minds of foreign students, an important factor is the state migration policy. In most developed countries, foreign students have the right to work during their studies, thereby the host countries stimulate the influx of not "golden youth", but highly intelligent youth, who are oriented to part-time employment during their studies.

Key words: higher education, world space of higher education, intercultural interaction, adaptation, students.

Актуальність проблеми. Популяризація і масовість вищої освіти в світі нині спрямовані на вирішення актуальних проблем, пов'язаних з необхідністю оперативної підготовки кваліфікованих фахівців у відповідних галузях еконо-

міки. Доступність вищої освіти призводить до двох основних взаємопов'язаних тенденцій – диверсифікації (англ. Diversity) і гетерогенізації (англ. Heterogenization) контингенту студентів і викладачів, тобто росту різномірності (за

статтю, соціальним походженням, міграційним статусом, віком тощо) контингенту у ЗВО (Інтернаціоналізація як фактор конкурентоспроможності сучасного університету, с. 45). Між наведеними поняттями існує невелике термінологічне розходження, згідно з яким диверсифікація виступає в якості мети, яку ставлять інститути і структури для формування більш різноманітного складу студентів, а гетерогенізація, в першу чергу, є емпіричним поняттям для опису структури населення.

Сьогодні однією з найважливіших ключових характеристик ЗВО світового рівня, що відображають його успішність на світовому ринку освітніх послуг, є наявність критичної маси (значної частки) іноземних студентів і аспірантів. Показник частки іноземних студентів як один з індикаторів інтернаціоналізації діяльності ЗВО використовується під час підрахунку відомими світовими рейтингами університетів QS World University Rankings і Times University Ranking. Комплексне вирішення питань інтернаціоналізації освіти і збільшення контингенту іноземних студентів є актуальним завданням на сучасному етапі розвитку вітчизняної системи освіти. Крім економічних переваг, навчання іноземних студентів в Україні має стратегічне значення – через підготовку інтелектуальної еліти і поширення української мови і культури підвищується міжнародний вплив України в світовому співтоваристві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій засвідчує, що проблема інтернаціоналізації вищої освіти перебуває на вістрі наукової думки. Адже дослідники вдаються до вивчення інтернаціоналізації як основного напрямку розвитку вищої освіти (Вербицька, 2017) крізь призму вивчення світового досвіду (Дебич, 2017). Досліджують інтернаціоналізацію як фактор конкурентоспроможності сучасного університету (2017) й конкретизують вплив процесу інтернаціоналізації на трансформацію національних систем вищої освіти країн Східної Європи в кінці ХХ – на початку ХХІ століття (Мигович, 2020).

З іншого боку О. Нітенко звертає увагу на той факт, що інтернаціоналізація є фактором розвитку університету (2015). Крім того, в науковій спільноті популяризується думка, що міжнародна діяльність університетів є запорукою інноваційного розвитку вищої школи

(2015). У напрацюваннях Ю. Семенець інтернаціоналізація вищої освіти розглядається в розрізі пошуку перспектив вдосконалення стратегії провідних Українських ЗВО (2017). Цінними є висновки І. Степаненко та М. Дебич (2017), котрі вивчали інтернаціоналізацію як інструмент розвитку лідерського потенціалу університету. Знаходимо методичні рекомендації науковців стосовно розробки стратегії вищої освіти в умовах інтернаціоналізації для стійкого розвитку суспільства (Зінченко, Горбунова, Курбатов & Мелков, 2020). Проблему інтернаціоналізації вивчають в різних аспектах, так А. Удовенко конкретизувала засади інтернаціоналізації докторської освіти з точки зору підвищення її якості (2022). В напрацюваннях В. Худавердієвої висвітлено міжнародні вектори інтернаціоналізації вищої освіти (2022). Разом з тим, питання інтернаціоналізації вищої освіти України залишається актуальним, що зумовлено поступальним розвитком світової спільноти й тотальною глобалізацією.

Мета дослідження полягає у висвітленні проблем та перспектив інтернаціоналізації вищої освіти України в умовах проектування світового освітнього простору.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ще 30 років тому освітні системи більшості країн світу були закриті для іноземних студентів (за винятком стипендіальних програм). Глобалізація світового ринку праці, зростання міграційних процесів, демографічні зміни, масове поширення електронних комунікацій на планеті призвели до інтернаціоналізації освіти. Іншими словами, глобалізаційні процеси сприяли стрімкому розвитку міжнародної освіти, а університети світу стали головними агентами і основними майданчиками формування мультикультурного освітнього простору.

Так, у закладах вищої освіти України нині навчається понад 70 тисяч іноземних студентів. За таких умов, система мультикультурної освіти передбачає взаємодію між місцевими та іноземними студентами, студентами і професорсько-викладацьким складом, студентами та організаторами освіти (адміністрацією ЗВО), студентами та місцевою громадою. Така система взаємозв'язків формує освітнє середовище. В основі системи мультикультурної освіти лежать визнання, прийняття і повага культурних відмінностей іноземних студентів

та осіб без громадянства. Ці якості є основою організації дієвої суб'єкт-суб'єктної взаємодії студентів-іноземців професорсько-викладацького ЗВО. Культурна сприйнятливість, толерантна свідомість, міжкультурна етика, як переконує М. Дебич (2017) виступають підґрунтям ефективного навчання та соціальної адаптації майбутніх фахівців-іноземців. Виходячи зі сказаного, умовами організації навчального процесу в мультикультурному середовищі ЗВО повинні стати:

- адаптивність освітнього середовища з адаптивною педагогічною системою, здатною реагувати на зміни при взаємодії всіх її елементів і учасників;
- рівність умов і можливостей всіх студентів в освітньому просторі,
- формування мультикультурної студентської спільноти;
- формування професорсько-викладацького корпусу, що володіє комплексом міжкультурних компетенцій (мовних, комунікативних, культурних, концептуальних та ін.);
- визнання цінностей культурного плюралізму (на противагу етноцентризму), побудованого на принципах культурного релятивізму і єдності в різноманітності;
- вибір методик і формату навчання, прийнятих усіма учасниками, актуалізованих спільним навчанням студентів з різних культур, наприклад, проблемного навчання (problem-based learning), методики кейсів та ін.

У ситуаціях зміни освітнього середовища в умовах інтернаціоналізації освітніх програм актуалізується необхідність зміни методичних підходів професорсько-викладацького складу до навчання іноземних студентів та осіб без громадянства. Адже, в умовах сьогодення у ЗВО України зберігаються етноцентристські установки і тенденції інтерпретувати поведінку іноземних студентів через призму своєї національної культури. В результаті іноземні студенти сприймаються місцевими як дивні і чужі. Найчастіше місцеві студенти байдужі до іноземних. Методи і стратегії викладання/навчання, а також програми навчальних дисциплін не модифікуються з урахуванням культурних відмінностей студентів. Це активізує мовні і культурні бар'єри. Як наслідок, іноземні студенти відчувають ізоляцію і неінтегрованість в освітнє середовище ЗВО, що неминуче

призводить до зниження результативності навчання, погіршення іміджу освітньої організації. Дослідники звертають увагу на той факт, що міжнародні студенти відчувають себе ще більш «іншими», стаючи живими об'єктами не розвінчаних стереотипів і дискримінації (Мигнович, 2020, с. 10).

Сьогодні ЗВО України спрямовують свою політику на розширення контингенту іноземних студентів (особа, яка не перебуває у громадянстві України і є громадянином (підданим) іншої держави або держав), водночас двері цих організацій відкриті для осіб без громадянства (особа, яку жодна держава відповідно до свого законодавства не вважає своїм громадянином). Ведучи мову далі, відзначимо, що в системі підготовки іноземних студентів у вищій школі (студент – викладач – інформаційно-методичне забезпечення – матеріально-технічне забезпечення навчального процесу – освітні технології та контроль якості) центральною ланкою, що впливає на якість освіти, є викладач, його науково-методична кваліфікація і мотивація до передачі студентам знань, умінь і навичок.

Саме професорсько-викладацький склад формує імідж ЗВО, характеризує його унікальність і впізнаваність, самотутність і ексклюзивність. Разом з тим від рівня і якості професорсько-викладацького складу ЗВО багато в чому залежить рівень і якість всієї кадрової політики держави щодо залучення іноземних студентів, подальший розвиток і процвітання України на арені світової освіти. Тому стратегічною метою держави має бути підвищення готовності викладачів до роботи зі студентами-іноземцями, збереження і відтворення у вищій школі якісного складу науково-педагогічних кадрів, подальший розвиток науково-педагогічних шкіл провідних університетів у напрямі інтернаціоналізації освіти, забезпечення академічної мобільності студентів та викладачів.

Безумовно також, що ключовою складовою якістю наданих ЗВО освітніх послуг є праця викладача у напрямі передачі знань, умінь і навичок. Від кваліфікації професорсько-викладацького складу, його людських і моральних якостей, загальної культури та педагогічних компетенцій багато в чому залежить якість навчання студентів, зокрема й іноземців, та імідж даного/конкретного ЗВО в суспільстві і державі. Саме тому ключовою фігурою мульт-

тикультурного науково-освітнього процесу у ЗВО є викладач, а адміністрація й інфраструктура виступають лише в якості оператора, що створює і забезпечує необхідні умови викладачеві і студенту для їх продуктивної взаємодії.

Адже серед чинників, що впливають на підвищення ефективності багаторівневої системи професійної освіти студентів-іноземців і пов'язані з глобалізацією культури, соціальною орієнтованістю ринку праці, конкурентоспроможністю освітніх систем, діалектикою традицій і сучасних тенденцій у розвитку суспільства, поширенням інформаційних технологій та можливостями людини до засвоєння інформації, одним з найважливіших є ґрунтовна підготовка професорсько-викладацького складу до навчання іноземців. Не зважаючи на ріст популярності українських ЗВО серед студентів-іноземців, професорсько-викладацький склад вищої школи не завжди готовий до підвищення кваліфікації та оволодіння міжкультурними та соціокультурними компетенціями як основою готовності до навчання осіб без громадянства. Це продиктовано низкою соціально-економічних факторів, зокрема мова йде про необхідність реформування системи вищої освіти.

Так, для успішного проведення реформи в сфері вищої освіти України повинні відбутися перетворення не тільки в структурі і характері підготовки фахівців, в зміцненні зв'язку викладацької та наукової діяльності, а й у сфері соціальної захищеності професорсько-викладацького складу. Без соціальної реорганізації неможлива ні реформа освіти, ні становлення міжнародного авторитету вітчизняної вищої школи. Справедливо сказано, що «зміна ставлення до професії викладача, стимулювання зростання її значущості в очах українців, громадськості – це відправна точка модернізаційного зсуву в світовідчутті громадян України» (Мигович, 2020, с. 34).

В даний час інтернаціоналізація освіти стає об'єктом і предметом цілеспрямованої політики з боку нашої держави, орієнтованої на рішення національних, політичних, соціальних і економічних проблем. У широкому розумінні категорія інтернаціоналізація в сфері вищої освіти включає два аспекти: внутрішню інтернаціоналізацію і зовнішню інтернаціоналізацію або освіту за кордоном. Інтернаціоналізація освіти передбачає використання певних форм взаєм-

ного співробітництва, до низки яких дослідник відносить: індивідуальну мобільність, мобільність студентів або професорсько-викладацького складу в освітніх цілях; мобільність освітніх програм та інституційну мобільність; забезпечення реалізації міжнародних стандартів освітніх програм; інтеграцію в навчальні програми міжнародного виміру та освітніх стандартів; інституційне партнерство; створення стратегічних освітніх альянсів.

Отже, сьогодні процес інтернаціоналізації вищої освіти крім студентської та викладацької мобільності включає реформування програм і навчальних планів, співпрацю в науково-дослідній сфері через мережі і асоціації, відкрите і дистанційне навчання без кордонів, регіональне та зарубіжне співробітництво інститутів, міжнародний поділ праці і інші види діяльності. Розглядаючи проблему підвищення кваліфікації професорсько-викладацького складу сучасних українських ЗВО О. Нітенко (2015), підкреслює, що до безперечних переваг інтернаціоналізації освіти доцільно віднести:

- збільшення доступності вищої освіти;
- універсалізацію знань, вмінь, навичок;
- виникнення міжнародних стандартів якості і підвищення інноваційності вищої освіти;
- розширення і зміцнення міжнародного співробітництва;
- активізацію академічної та студентської мобільності;
- зміцнення міжнародної конкурентоспроможності держави в галузі вищої освіти і досліджень;
- розширення можливостей українських освітніх установ для виходу на міжнародний освітній ринок;
- позиціонування України країни як лідера на міжнародному ринку освітніх послуг;
- досягнення транскордонності освіти.

Інтернаціоналізація освіти у ЗВО України сприяє досягненню низки й інших цілей, серед яких: диверсифікація і зростання фінансових надходжень через залучення іноземних студентів на платне навчання; розширення навчальних планів і навчання своїх студентів в зарубіжних ЗВО-партнерах; розширення регіональної мережі ЗВО для ефективного використання своїх ресурсів; підвищення якості освіти та досліджень на основі участі студентів і викладачів у міжнародному процесі обміну знаннями тощо.

Створення сприятливих умов для прискорення інтернаціоналізації освіти в Україні і, в першу чергу, для значного збільшення контингенту іноземних учнів у вітчизняних ЗВО і коледжах, видається нам одним з найбільш важливих напрямків міжнародної діяльності вітчизняних університетів в період політичних і економічних перетворень, що відбуваються в країні. Робота в цьому напрямку дозволить значно збільшити позабюджетні джерела фінансування та самофінансування вітчизняних навчальних закладів, зберегти викладацькі кадри, залучити додаткові валютні кошти для розвитку територій. Для досягнення конкурентоспроможного рівня на світовому ринку освітніх послуг професорсько-викладацький склад ЗВО повинен, зокрема, збільшити частку наукових публікацій в загальній кількості публікацій у світових наукових журналах, індексованих в базі даних «Web of Science» і «Scopus» й сприяти нарощуванню експорту якісних освітніх послуг.

Існування єдиного світового освітнього ринку, де ЗВО різних країн пропонують свої навчальні програми, інтелектуальні продукти і послуги на мові споживача всім студентам відразу, не обмежуючи себе національними кордонами, є фактом глобалізації. Роботодавці в багатьох країнах все більше уваги під час прийому на роботу випускників ЗВО звертають увагу на їх освітню траєкторію, життя і роботу за кордоном, оскільки це свідчить про адаптивні можливості кандидата на посаду, широту його кругозору, навички спілкування з представниками різних культур.

До числа основних причин, що гальмують розвиток експорту українських освітніх послуг, фахівці відносять: недружню візову політику, міграційне та трудове законодавство для іноземних громадян; слабку поінформованість про українську систему освіти за кордоном; проблеми з визнанням українських дипломів; слабкі показники українських ЗВО в світових рейтингах.

Для формування позитивного іміджу української вищої освіти у свідомості іноземних студентів важливим фактором є державна міграційна політика. У більшості розвинених країн

іноземні студенти мають право працювати під час навчання, тим самим приймаючи країни стимулюють приплив не «золотої молоді», але високоінтелектуальної молоді, яка орієнтована на часткову зайнятість під час навчання.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Інтернаціоналізація вищої освіти і зростаючий мультикультуралізм в суспільствах стають істотними драйверами соціальних змін в академічному середовищі. Під дією інтернаціоналізації змінюються культурні моделі національних університетів, це зачіпає організаційні, управлінські та педагогічні аспекти їх інституційної політики. Глобалізація і інтеграція товариств, які стимулюють всевітню міграцію і демографічні зміни, вимагає підвищеної уваги до питання навчання іноземних студентів та їх міжкультурної комунікації в сфері вищої освіти. Заради інноваційного розвитку країни, підвищення національної конкурентоспроможності, тобто стійкості в умовах економічних і соціальних потрясінь, і запоруки успіху в досягненні високого рівня конкурентоспроможності вітчизняну вищу освіту доцільно спрямовувати на зростання експорту освітніх послуг та залучення іноземних студентів в заклади вищої освіти України з метою підвищення статусу нашої держави на міжнародному ринку освітніх послуг.

У сфері вищої освіти експорт освітніх послуг надає великі можливості для розширення освітньої та науково-дослідної діяльності ЗВО, удосконалення професійного рівня їх професорсько-викладацького складу, просування окремих освітніх технологій і програм, підвищення престижу українського диплому про вищу освіту і престижу національної системи освіти в цілому. Основною метою державної політики в цій сфері підготовки повинна стати реалізація геополітичних і соціально-економічних інтересів України, повноправна і повноцінна участь в глобальному процесі розвитку світового освітнього простору, забезпечення високої якості підготовки та конкурентоспроможності випускників українських ЗВО на світовому ринку освіти і праці, підготовка професорсько-викладацького складу до роботи в умовах мультикультурного освітнього середовища.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вербицька А. В. Інтернаціоналізація як основний напрям розвитку вищої освіти. *Young Scientist*. 2017. № 11 (51). С. 160–164.

2. Дебич М. А. Інтернаціоналізація вищої освіти: світовий досвід: монографія. Суми: Університетська книга, 2017. 291 с.
3. *Інтернаціоналізація як фактор конкурентоспроможності сучасного університету*: зб. матер. міжнар. наук.-практ. конф., м. Маріуполь, 25–26 травня 2017 р. Маріуполь: МДУ, 2017. 372 с.
4. Мигович І. В. Процес інтернаціоналізації та його вплив на трансформацію національних систем вищої освіти країн Східної Європи кінця ХХ – початку ХХІ століття : монографія. Лисичанськ : ТОВ «ФОКСПРИНТ», 2020. 628 с.
5. *Міжнародна діяльність університетів як фактор інноваційного розвитку вищої школи*: зб. матер. міжнар. наук.-практ. конф., м. Маріуполь, 18 вересня 2015 р. Маріуполь: МДУ, 2015. 385 с.
6. Нітенко О. В. Інтернаціоналізація вищої освіти як фактор розвитку університету. *Освітологічний дискурс*. 2015. № 2 (10). С. 205–216.
7. Семенець Ю. О. Інтернаціоналізація вищої освіти: у пошуку перспектив вдосконалення стратегії провідних Українських ВНЗ. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2017. Випуск 14, частина 2. С. 108–113.
8. Степаненко І., Дебич М. Інтернаціоналізація як інструмент розвитку лідерського потенціалу університету: навчальний посібник. Київ : ДП «НВЦ «Пріоритети». 2017. 189 с.
9. Стратегії вищої освіти в умовах інтернаціоналізації для стійкого розвитку суспільства: методичні рекомендації / В. Зінченко, Л. Горбунова, С. Курбатов, Ю. Мелков ; за ред. В. Зінченка. Київ: Прінтеко, 2020. 107 с.
10. Удовенко А. Ю. Інтернаціоналізація докторської освіти як фактор підвищення її якості. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2022. № 1 (65). С. 136–148.
11. Худавердієва В. А. Інтернаціоналізація вищої освіти: міжнародні вектори стратегії розвитку університету. *Науковий журнал Хортицької національної академії*. 2022. № 7. С. 130-146.

REFERENCES:

1. Verbytska, A. V. (2017). Internatsionalizatsiia yak osnovnyi napriam rozvytku vyshchoi osvity [Internationalization as the main direction of higher education development]. *Young Scientist – Young Scientist*, 11 (51), 160-164 [In Ukrainian].
2. Debych, M. A. (2017). Internatsionalizatsiia vyshchoi osvity: svitovy dosvid: monohrafiia [Internationalization of higher education: world experience: monograph]. Sumy: Universytetska knyha [In Ukrainian].
3. Internatsionalizatsiia yak faktor konkurentospromozhnosti suchasnoho universytetu (2017) [Internationalization as a factor in the competitiveness of a modern university]: zb. mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Mariupol, 25–26 travnia 2017 r. Mariupol: MDU [In Ukrainian].
4. Myhovych, I. V. (2020). Protsees internatsionalizatsii ta yoho vplyv na transformatsiiu natsionalnykh system vyshchoi osvity krain Skhidnoi Yevropy kintsia XX – pochatku XXI stolittia : monohrafiia [The process of internationalization and its influence on the transformation of national systems of higher education in Eastern European countries at the end of the 20th – beginning of the 21st century: a monograph]. Lysychansk : TOV «FOKSPRYNT» [In Ukrainian].
5. Mizhnarodna diialnist universytetiv yak faktor innovatsiinoho rozvytku vyshchoi shkoly (2015) [International activity of universities as a factor of innovative development of higher education]: zb. mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Mariupol, 18 veresnia 2015 r. Mariupol: MDU [In Ukrainian].
6. Nitenko, O. V. (2015). Internatsionalizatsiia vyshchoi osvity yak faktor rozvytku universytetu [Internationalization of higher education as a factor in university development]. *Osvitohichnyi dyskurs – Educational discourse*, 2 (10), 205–216 [In Ukrainian].
7. Semenets, Yu. O. (2017). Internatsionalizatsiia vyshchoi osvity: u poshuku perspektyv vdoskonalennia stratehii providnykh Ukrainskykh VNZ [Internationalization of higher education: in search of prospects for improving the strategy of leading Ukrainian universities]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu – Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University*, 14, 2, 108–113 [In Ukrainian].
8. Stepanenko, I., Debych, M. (2017). Internatsionalizatsiia yak instrument rozvytku liderskoho potentsialu universytetu: navchalnyi posibnyk [Internationalization as a tool for the development of leadership potential of the university: study guide]. Kyiv : DP «NVTs «Priorytety» [In Ukrainian].
9. Stratehii vyshchoi osvity v umovakh internatsionalizatsii dlia stiikoho rozvytku suspilstva: metodychni rekomendatsii [Strategies of higher education in conditions of internationalization for sustainable development of society: methodological recommendations] (2020) / V. Zinchenko, L. Horbunova, S. Kurbatov, Yu. Mielkov ; za red. V. Zinchenka. Kyiv: Printeko [In Ukrainian].
10. Udoenko, A. Yu. (2022). Internatsionalizatsiia doktorskoj osvity yak faktor pidvyshchennia yii yakosti [Internationalization of doctoral education as a factor in improving its quality]. *Vcheni zapysky Universytetu «KROK» – Scientific notes of the "KROK" University*, 1 (65), 136–148 [In Ukrainian].
11. Khudaverdiieva, V. A. (2022). Internatsionalizatsiia vyshchoi osvity: mizhnarodni vektory stratehii rozvytku universytetu [Internationalization of higher education: international vectors of university development strategy]. *Naukovyi zhurnal Khortytskoi natsionalnoi akademii – Scientific journal of the Khortytsk National Academy*, 7, 130–146 [In Ukrainian].

УДК 372.854+373.51

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-9>

Сергій МАКЄЄВ

кандидат педагогічних наук, докторант кафедри освітології та інноваційної педагогіки, Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, вул. Алчевських, 29, м. Харків, Україна, 61002
ORCID: 0000-0002-1021-6003

Бібліографічний опис статті: Макєєв, С. (2023). Формування природничо-наукової компетентності учнів за допомогою завдань формату PISA на уроках хімії у базовій школі. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 63–70, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-9>

**ФОРМУВАННЯ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ УЧНІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАВДАНЬ ФОРМАТУ PISA НА УРОКАХ ХІМІЇ
У БАЗОВІЙ ШКОЛІ**

Дослідження проведене з метою розкриття впливу завдань формату PISA на формування природничо-наукової компетентності в учнів базової школи на уроках хімії, а також методів та способів їх використання. Проаналізовано стан проблеми у національній системі освіти, розглянуто дефініцію терміну «природничо-наукова компетентність» у зарубіжній та українській педагогічній науці. Для досягнення цілей дослідження застосовано методи науково-педагогічного дослідження: педагогічного моделювання; аналізу компетентнісно-орієнтованих завдань, результатів діяльності учнів, статистичних даних та науково-методичної літератури.

Показаний стан проблеми на міжнародному рівні, зокрема результати участі українських учнів у міжнародному дослідженні якості освіти PISA 2018, а саме показники рівня сформованості природничо-наукової грамотності. Автор наголошує, що однією з причин низьких результатів України є недостатня увага до проблем упровадження компетентнісної освіти. Розглянуто термін «природничо-наукова грамотність» та її аспекти. Підкреслено компетентнісний характер дослідження PISA, що проявляється у завданнях, для вирішення яких необхідно не відтворення набутих знань та умінь, а здатність ефективно використовувати їх у нестандартних ситуаціях.

Аргументовано доцільність формування природничо-наукової компетентності під час вивчення хімії за допомогою завдань формату PISA, зокрема комплексних завдань з текстовими блоками, таблицями та графіками, завданнями закритої і відкритої форми, спрямованими на роботу з текстом, табличними та графічними даними. Розглянуто приклади таких завдань, які використовуються на уроках хімії у базовій школі, зокрема на уроках контролю та корекції.

Результатом дослідження є визначення умов для успішної організації й проведення ефективного навчання хімії з використанням компетентнісних завдань формату PISA; розробка таких завдань з хімії для 9-х класів, що навчаються за науково-педагогічним проектом «Інтелект України». Автором наголошено на позитивних результатах використання завдань формату PISA на уроках хімії з метою формування природничо-наукової компетентності.

Ключові слова: природничо-наукова компетентність, компетентнісні завдання, базова школа, хімія, PISA.

Serhii MAKIEIEV

Candidate of Pedagogical Sciences (PhD), Doctoral Student at the Department of Educology and Innovative Pedagogy, H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, 29 Alchevskykh str., Kharkiv, Ukraine, 61002
ORCID: 0000-0002-1021-6003

To cite this article: Makieiev, S. (2023). Formuvannia pryrodnycho-naukovoї kompetentnosti uchniv za dopomohoiu zavdan formatu PISA na urokakh khimii u bazovii shkoli [Formation of scientific competency of students with the help of PISA format tasks in chemistry lessons in basic school]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 63–70, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-9>

**FORMATION OF SCIENTIFIC COMPETENCY OF STUDENTS WITH THE HELP
OF PISA FORMAT TASKS IN CHEMISTRY LESSONS IN BASIC SCHOOL**

The research was conducted in order to reveal the impact of PISA format tasks on the formation of science competency in basic school students on chemistry lessons, as well as the methods and means of its use. The state of the problem in the national education system is analyzed, the definition of the term "science competency" in foreign and Ukrainian

pedagogical science is considered. In order to achieve the research objectives were used methods of scientific and pedagogical research: pedagogical modeling; analysis of competency-oriented tasks, results of students' activities, statistical data, scientific and methodological literature.

The state of the problem at the international level is displayed, in particular the results of Ukrainian students' participation in the international PISA 2018 study of education quality, namely the indicators of formation level in science literacy. The author emphasizes that one of the reasons for Ukraine's low results is insufficient attention to the problems of implementing competency-based education. The term "science literacy" and its aspects are considered. The competency character of PISA research is emphasized, which is manifested in tasks that require for solution not the reproduction of acquired knowledge and skills, but the ability to effectively apply them in non-standard situations.

The expediency of formation science competency during the study of chemistry by aid of PISA format tasks, in particular complex tasks with text blocks, tables and graphs, closed and open-form tasks aimed at working with text, tabular and graphic data, is argued. Examples of such tasks, which are used in chemistry lessons in basic school, are considered, in particular, in control and correction lessons.

The result of the research is the determination of conditions for successful organization and effective teaching of chemistry using competency tasks of the PISA format; development of such tasks in chemistry for 9th graders studying in the scientific and pedagogical project "Intellect of Ukraine". The author accented the positive results of using PISA format tasks in chemistry lessons for the purpose of forming science competency.

Key words: science competency, competency tasks, basic school, chemistry, PISA.

Актуальність проблеми. Одним з пріоритетних напрямів сучасної освіти є перехід від знаннєвої до компетентнісної моделі, що передбачає формування в учнів упорядкованого комплексу характеристик, які надають їм змогу ефективно діяти у різних сферах життя, тобто компетентностей. На національному рівні згідно Закону України «Про освіту» та концепції Нової української школи (НУШ) (НУШ, 2016, с. 32) розпочато роботу базової школи (2022 р.) та передбачено роботу профільної школи (2027 р.) за новими освітніми стандартами на компетентнісній основі.

Серед компетентностей виняткове значення для навчання хімії займає природничо-наукова, яка передбачає «наукове розуміння природи і сучасних технологій, здатність застосовувати його в практичній діяльності; уміння застосовувати науковий метод, спостерігати, аналізувати, формулювати гіпотези, збирати дані, проводити експерименти, аналізувати результати» (Непорожня, 2018).

Питання формування природничо-наукової компетентності на уроках хімії є вкрай актуальним, і одним із способів її формування пропонується упровадження у педагогічний процес базової школи компетентнісних завдань формату PISA, що розкриває нові можливості для навчання хімії на сучасному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття про природничо-наукову компетентність, основні питання термінології розглянуто у численних європейських освітніх рекомендаціях, якими визначено саму компетентність та її складові. Найвагомий внесок у дефініцію

природничо-наукової компетентності зроблено Організацією економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), яка проводить міжнародне дослідження якості освіти PISA. Рамковими документами дослідження упроваджено комплексний термін «природничо-наукова грамотність» (science literacy), та виокремлено її аспекти – компетентності, контексти, знання та ставлення (OECD, 2017; OECD, 2019).

Серед зарубіжних науковців, що займалися виокремленням компонентів природничо-наукової компетентності, варто виокремити L. Baartman, E. de Bruijn, J. Dolin, H. Siarova, D. Sternadel, E. Szönyi та ін. Ними виділено та охарактеризовано основні складники компетентності – знання (knowledge), уміння / навички (skills), ставлення (attitudes) та контекст (context).

Особливості формування природничо-наукової компетентності під час освітнього процесу, а також проблеми участі українських учнів у міжнародному дослідженні PISA є темою наукових розвідок М. Головка, О. Козленко, С. Науменко та ін. Визначенням структурних компонентів природничо-наукової компетентності займаються А. Бевз, В. Гайда, А. Дробін, Л. Непорожня та ін. У своїх працях ними запропоновано структуру компетентності, яка складається з когнітивного, діяльнісного, особистісного та мотиваційного компонентів.

Автором також зроблено певний внесок у розкриття проблеми формування природничо-наукової компетентності в учнів на уроках хімії, а також ролі міжнародного дослідження PISA у формуванні зазначеної компетентності (Макеєв та ін., 2021; Макеєв, 2022; Макеєв, 2023).

Мета дослідження – розкрити вплив завдань формату PISA на формування природничо-наукової компетентності в учнів базової школи на уроках хімії, та методи і способи їх використання.

Виклад основного матеріалу. PISA (Programme for International Student Assessment) – міжнародне дослідження якості освіти, яке проводиться раз на три роки з метою оцінки рівня сформованості математичної, читацької та природничо-наукової грамотності в учнів 15-річного віку з різних країн. У документах PISA природничо-наукова грамотність визначається як «здатність учня як свідомого громадянина вивчати й розв’язувати питання, пов’язані з наукою та ідеями про науку. Науково грамотна особа готова аргументовано міркувати про науку й технології, що потребує таких компетентностей: пояснювати явища науково, оцінювати й розробляти наукове дослідження, інтерпретувати дані й докази з наукової позиції» (OECD, 2019, с. 100). Природничо-наукова грамотність, згідно рамковим документам PISA, складається з чотирьох взаємопов’язаних аспектів: компетентностей, контекстів, знань та ставлень (OECD, 2017, с. 22) (Рис. 1).

Дослідженням PISA грамотність інтерпретується як «здатність учнів застосовувати знання, уміння та навички, а також аналізувати, міркувати та ефективно спілкуватися, коли вони визначають, інтерпретують та вирішують проблеми в різноманітних ситуаціях» (OECD, 2019, с. 13). Законом України «Про освіту» компетентність визначається як «динамічна комбінація знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, цінностей, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно соціалізуватися, провадити професійну та/або навчальну діяльність» (Про освіту, 2017). Тому терміни

«природничо-наукова грамотність» і «природничо-наукова компетентність» ми розглядаємо як тотожні.

Результати міжнародного дослідження якості освіти PISA-2018 показали, що середні бали українських учнів є нижчими за показники країн ОЕСР, а 26,4 % українських учнів не досягли навіть базового рівня сформованості природничо-наукової грамотності (Макеєв, 2022). Однією з основних причин таких результатів у дослідженні вважається недостатня увага до проблем упровадження компетентнісної освіти з її акцентом на реальних практичних, життєвих проблемах, які актуальні для учнів і мотивують їх у навчанні (Макеєв та ін., 2021).

Українськими науковцями (Л. Непорожня та ін.) природничо-наукова компетентність вважається «цілісною системою ціннісно-смыслових орієнтацій, знань, здібностей, умінь і ставлень особистості, що мобілізується у сферах її життєвої діяльності, пов’язаних з природничою освітньою галуззю». Природничо-наукова компетентність є базовою у природничій галузі (Непорожня, 2016).

Природничо-наукова компетентність передбачає: забезпечення оволодіння учнями термінологічним апаратом природничих наук, засвоєння предметних знань та усвідомлення суті основних законів і закономірностей, що дають змогу зрозуміти перебіг природних явищ і процесів; забезпечення усвідомлення учнями фундаментальних ідей і принципів природничих наук; набуття досвіду практичної та експериментальної діяльності, здатності застосовувати знання у процесі пізнання світу; формування ціннісних орієнтацій на збереження природи, гармонійну взаємодію людини і природи, а також ідей сталого розвитку (Непорожня, 2018, с. 10).



Рис. 1. Структура природничо-наукової грамотності у дослідженні PISA

У нашому дослідженні стосовно терміну «природничо-наукова компетентність» ми орієнтуємося, перш за все, на документи ОЕСР та дослідження PISA, та характеризуємо природничо-наукову компетентність як **«здатність людини вивчати й вирішувати питання, пов'язані з природничими науками й науковими ідеями»**.

Орієнтуючись на це визначення природничо-наукової компетентності сформулюємо її основні компоненти. Вітчизняні вчені (Л. Непорожня, А. Дробін, В. Гайда, А. Бевз) розглядають природничо-наукову компетентність як чотирикомпонентну структуру:

- когнітивний (знаннєвий) компонент, який передбачає володіння сукупністю знань, які формують зміст природничо-наукової компетентності з проекцією на практичну діяльність;
- діяльнісний компонент визначає практичне і оперативне застосування знань, тобто сукупність умінь і навичок розв'язувати практичні задачі з використанням природничо-наукових знань, здатність їх застосування в різноманітних стандартних і нестандартних ситуаціях;
- особистісний компонент являє собою сукупність індивідуально-психологічних якостей і здібностей учня, що проявляється в усвідомленні необхідності постійного саморозвитку та особистісного самовдосконалення, від яких залежить рівень сформованості умінь і навичок;
- мотиваційний компонент за змістом є сукупністю мотивів вивчення природничих дисциплін, який характеризується потребою і прагненням опанувати загальнокультурні

і предметні компетентності з подальшим усвідомленим їх використанням у процесі навчання для досягнення особистісного успіху (Дробін та ін., 2020; Непорожня, 2018, с. 10).

Зарубіжні науковці у структурі компетентності зазвичай виділяють три елементи: знання (knowledge), уміння / навички (skills), ставлення (attitudes) (Baartman & de Bruijn, 2011). У низці досліджень, у тому числі дослідженні PISA наявний додатковий елемент – контекст (context) (Dolin, 2015; OECD, 2019). Окремі європейські вчені наголошують на п'яти компонентах природничо-наукової компетентності: фундаментальна грамотність; наукові знання та компетенції; контекстуальне розуміння науки; критичне мислення; діяльність / залучення (Siarova et al., 2019).

У нашому дослідженні ми будемо застосовувати трьохкомпонентну модель, що складається з **когнітивного (знаннєвого), діяльнісного та мотиваційно-ціннісного компонентів**, орієнтуючись на визначення українських науковців. Особистісний аспект ми поєднуємо з мотиваційним через подібність їх дефініцій під загальною назвою мотиваційно-ціннісного компонента.

Природничо-наукова компетентність є складовою частиною компетентнісного потенціалу хімії як навчального предмета і включає в себе когнітивний, діяльнісний та мотиваційно-ціннісний компоненти (Табл. 1).

Одним із практичних рішень проблеми формування природничо-наукової компетентності в учнів базової школи є упровадження у педагогічний процес компетентнісних завдань формату PISA. У таких завданнях перевіряється здатність

Таблиця 1

Структура хімічної складової природничо-наукової компетентності

Когнітивний (знаннєвий) компонент	Діяльнісний компонент	Мотиваційно-ціннісний компонент
7 клас. Початкові хімічні поняття. Кисень. Вода. 8 клас. Будова атома. Періодичний закон і періодична система хімічних елементів. Хімічний зв'язок і будова речовини. Кількість речовини, розрахунки за хімічними формулами. Основні класи неорганічних сполук. 9 клас. Розчини. Хімічні реакції. Початкові поняття про органічні сполуки. Роль хімії в житті суспільства.	Уміння: пояснювати природні явища, процеси в живих організмах і технологічні процеси на основі хімічних знань; формулювати, обговорювати й розв'язувати проблеми природничо-наукового характеру; проводити досліди з речовинами з урахуванням їхніх фізичних і хімічних властивостей; виконувати експериментальні завдання і проекти, використовуючи знання з інших природничих предметів; використовувати за призначенням сучасні прилади і матеріали; визначати проблеми довкілля, пропонувати способи їх розв'язування; досліджувати природні об'єкти.	Ставлення: усвідомлювати значення природничих наук для пізнання матеріального світу; наукове значення основних природничо-наукових понять, законів, теорій, внесок видатних учених у розвиток природничих наук; оцінювати значення природничих наук і технологій для сталого розвитку суспільства; висловлювати судження щодо природних явищ із погляду сучасної природничо-наукової картини світу.

учнів використовувати природничо-наукові знання та вміння з хімії для виокремлення й постановки реальних проблем, які можна дослідити та розв'язати за допомогою наукових методів, і для формулювання висновків, що ґрунтуються на спостереженнях та експериментах. При цьому оцінюються вміння учнів застосовувати наукові знання у життєвих ситуаціях, виявляти особливості наукового дослідження, робити висновки на основі здобутих результатів. У завданнях подаються реальні ситуації, розв'язання яких пов'язане з проблемами, що виникають в особистому житті людини, у житті людини як члена спільноти, або як громадянина світу (Головка, Науменко, 2017).

Українські вчені (О. Козленко та ін.) вважають доцільним упровадження окремих елементів компетентнісних завдань формату PISA на поточних уроках, а також підготовку блоків таких завдань для контролю як самостійної роботи на уроках застосування знань або як контрольної роботи наприкінці навчального року, адже компетентнісні завдання є доволі складними і вимагають багато часу на виконання учнями. Завдання формату PISA складаються з таких елементів: мотиваційний вступ; розгорнута основа з інформацією у різних формах; декілька завдань на вміння опрацювати наведену інформацію, зокрема завдання на перетворення інформації: побудова графіку, читання табличних даних; завдання на тлумачення інформації та оцінювання джерел (критичне мислення), виявлення ставлень (Козленко, 2020). Також науковцями визначено основні принципи складання таких завдань:

1) наявність у завданнях як текстової інформації, так і інформації у вигляді таблиць, діаграм, графіків, малюнків, схем;

2) матеріал для завдань заснований на різних предметних галузях, тобто для відповіді треба інтегрувати різні знання і використати загальнонавчальні вміння;

3) завдання потребують залучення додаткової інформації або містять надлишкову інформацію і «зайві дані»;

4) завдання складаються з великого блоку теорії та декількох взаємопов'язаних запитань у різній формі (Козленко, 2020).

Розглянемо приклад такого компетентнісного завдання формату PISA, розробленого нами для предмета «Хімія» (9 клас). Розроблені завдання входять до складу навчальних

посібників (зошитів з друкованою основою), схвалених для використання у закладах загальної середньої освіти, що працюють за науково-педагогічним проєктом «Інтелект України».

Прочитай тексти, надай відповіді на наведені нижче запитання.

Кислотність шлункового соку. Процес травлення дуже важливий для людини, адже нормальна робота органів шлунково-кишкового тракту забезпечує організм усім необхідним для життєдіяльності. Одним з показників правильної роботи травної системи є кислотність, або уміст хлоридної кислоти у шлунковому соці. Вона сприяє денатурації білків у шлунку, що допомагає їх розщепленню; утворює кислотне середовище, необхідне для роботи ферментів; забезпечує антибактеріальні властивості шлункового соку. За даними науковців, у шлунковому соці максимальне значення водневого показника рН 0,86, а мінімальне відповідає значенню 8,3. Нормальною вважається кислотність шлунку у межах 1,5–2,0.

Завдання 1. Визнач, яке забарвлення буде мати універсальний індикатор у пробі шлункового соку при зниженій кислотності:

- від помаранчевого до зеленого;
- усі фіолетово-пурпурові відтінки;
- відтінки помаранчевого кольору;
- відтінки зеленого та синього кольору.

Завдання 2. Маса хлоридної кислоти у пробі шлункового соку складає 0,5 г. Визнач масову частку кислоти у соці, якщо маса проби складає 120 г.

Завдання 3. Користуючись таблицею (Табл. 2), з'ясуй, чи відповідає рівень кислотності у пробі шлункового соку нормі:

А Так, відповідає. Б Ні, рівень підвищений. В Ні, рівень знижений.

Антациди. Антациди – група медичних препаратів, що нейтралізують кислотність шлункового соку. Вони реагують з хлоридною кислотою, піднімаючи значення рН. Усі антациди поділя-

Таблиця 2

Кислотність шлункового соку в нормі та при патології

Стан	рН	$\omega(\text{HCl})$, %
Норма	1,5–2	0,52
Гіперацидний гастрит	1	>0,55
Гіпоацидний гастрит	2,5	<0,48

ють на дві групи – ті, що всмоктуються, і ті, що не всмоктуються. До першої групи відносяться препарати, які або самі, або продукти їх реакції з кислотою розчиняються у крові. Це натрій гідрокарбонат, магній карбонат, кальцій карбонат, суміш фосфату і гідрокарбонату натрію, суміш карбонатів кальцію і магнію. Вступаючи у реакцію з хлоридною кислотою, ці препарати дають дуже швидкий, але нетривалий ефект, після чого показник рН знову знижується. При цьому утворюється вуглекислий газ, який розтягує шлунок і викликає здуття живота. Крім цього, карбонати можуть впливати на кислотно-лужну рівновагу організму, приводячи до розвитку алкалозу; впливати на водно-сольовий обмін, викликаючи набряки, підвищення артеріального тиску.

Недоліки цих препаратів привели до заміни їх у медичній практиці на антациди другої групи. Вони нерозчинні у воді, починають діяти пізніше, але тривалість їх дії більше і досягає 2,5-3 годин. Вони здатні підтримувати постійну кислотність рН шлунку в межах 3–4 протягом терміну своєї дії. В даний час найбільш затребувані комбіновані засоби, що містять сполуки алюмінію (гідроксид, фосфат) і магнію (гідроксид, карбонат).

Завдання 4. Розглянь діаграму (Рис. 2). Із наведеного списку антацидів обери, на твою думку, найбільш ефективні та безпечні. Поясни свій вибір.

- а) натрій гідрокарбонат;
- б) магній карбонат;
- в) магній гідроксид;
- г) алюміній гідроксид;
- д) алюміній фосфат;
- е) кальцій карбонат.

Завдання 5. Визнач масу а) алюміній гідроксиду; б) магній гідроксиду; в) кальцій карбонату; г) натрій гідрокарбонату, яку необхідно витратити для нейтралізації хлоридної кислоти кількістю речовини 0,6 моль. Якої речовини піде на нейтралізацію найменше?

У наведеному комплексному завданні наявні два великі блоки теорії та взаємопов'язані запитання закритої і відкритої форми, спрямовані на роботу з текстом, табличними та графічними даними. Такі великі за обсягом завдання доцільно буде використовувати на уроках контролю і корекції.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, для формування природничо-наукової компетентності в учнів базової школи на уроках хімії виявляється доцільним використання завдань формату PISA. Ці компетентнісні завдання допомагають учням розвивати навички критичного мислення, аналізу даних, застосування хімічних знань у реальних ситуаціях та вирішувати проблеми, з якими учні стикаються у повсякденному житті, а також сприяють підготовці підлітків до викликів сучасного світу.

Наступне дослідження PISA 2025 року буде присвячене саме аналізу рівня сформованості природничо-наукової грамотності, тому завдання такого формату являються також підготовкою до міжнародного дослідження якості освіти PISA з метою покращення результатів українських учнів. Для подальших наукових досліджень перспективним напрямом бачиться розробка дидактичної технології формування природничо-наукової компетентності в учнів базової школи.

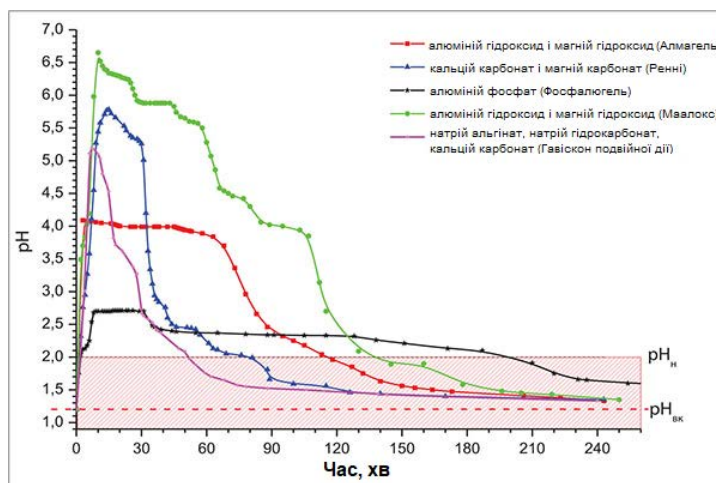


Рис. 2. Криві титрування для препаратів-антацидів

ЛІТЕРАТУРА:

1. Головка М.В., Науменко С.О. PISA-2018 як індикатор стану загальної середньої освіти в Україні. *Український педагогічний журнал*. 2017. № 2. С. 8–20. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/84274617.pdf>.
2. Дробін А.А., Гайда В.Я., Бевз А.В. Формування природничо-наукової та самоосвітньої компетентності на прикладі предметної компетентності з фізики та астрономії. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*, VIII (94), Iss. 236, 2020. С. 22–25. DOI: <https://doi.org/10.31174/SEND-PP2020-236VIII94-05>.
3. Козленко О. Уроки PISA-2018: природничо-наукова грамотність і як її розвивати. *Біологія і хімія в рідній школі*. 2020. № 1. С. 2–11. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/718967/1/pisa.pdf>.
4. Макєєв С.Ю., Грановська Т.Я., Сидоренко О.В. Формування природничо-наукової компетентності засобами ІКТ на уроках хімії у старшій школі. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2021. № 1. С. 63–77. DOI: <https://doi.org/10.31652/2786-5754-2021-1-60-73>.
5. Макєєв С.Ю. Міжнародні системи моніторингу якості компетентнісно орієнтованої загальної середньої освіти. *Засоби навчальної та науково-дослідної роботи*. 2022. № 58. С. 150–168. DOI: <https://doi.org/10.34142/312-1548.2022.58.14>.
6. Макєєв С.Ю. Формування поняття про природничо-наукову компетентність на основі міжнародного дослідження PISA. *Вісник Луганського національного університету імені Тараса Шевченка. Педагогічні науки*. 2023. № 1(355). С. 9–19. DOI: [https://doi.org/10.12958/2227-2844-2023-1\(355\)-9-19](https://doi.org/10.12958/2227-2844-2023-1(355)-9-19).
7. Непорожня Л.В. Методичні особливості формування природничо-наукової компетентності старшокласників на уроках фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. 2016. № 22. С. 96–99. URL: <http://ped-series.kpnu.edu.ua/article/view/94601/90244>.
8. Непорожня Л.В. Формування природничо-наукової компетентності старшокласників у процесі навчання фізики: метод. посіб. Київ: ТОВ «КОНВІ ПРІНТ», 2018. 204 с. URL: https://undip.org.ua/wp-content/uploads/2021/07/form_pr_2018.pdf.
9. Нова українська школа. Концептуальні засади реформування середньої школи. Київ: МОН України, 2016. 40 с. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf>.
10. Про освіту: Закон України від 05.09.2017 р. № 2145-VIII. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19>.
11. Vaartman L.K.J., de Bruijn E. Integrating knowledge, skills and attitudes: Conceptualising learning processes towards vocational competence. *Educational Research Review*. 2011. Vol. 6, Iss. 2, 125–134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2011.03.001>.
12. Dolin J. Competence in Science. In: Gunstone, R. (eds) *Encyclopedia of Science Education*. Springer, Dordrecht. 2015. 185–188. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_430.
13. OECD. PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving, 2017. PISA, OECD Publishing. 260 p. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>.
14. OECD. PISA 2018 Assessment and Analytical Framework, 2019. PISA, OECD Publishing. 308 p. DOI: <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>.
15. Siarova H., Sternadel D., Szönyi, E. Research for CULT Committee – Science and Scientific Literacy as an Educational Challenge, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies. 2019. 61 p. URL: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU\(2019\)629188](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2019)629188).

REFERENCES:

1. Holovko, M.V. & Naumenko, S.O. (2017). PISA-2018 yak indyikator stanu zahalnoi serednoi osvity v Ukraini. [PISA-2018 as an indicator of the state of general secondary education in Ukraine]. *Ukrainskyi pedahohichnyi zhurnal*, 2, 8–20. <https://core.ac.uk/download/pdf/84274617.pdf> [in Ukrainian].
2. Drobina, A.A., Haida, V.Ia., & Bevez, A.V. (2020). Formuvannia pryrodnycho-naukovoї ta samoosvitnoi kompetentnosti na prykladi predmetnoi kompetentnosti z fizyky ta astronomii. [Formation of scientific and self-educational competency on the example of subject competency in physics and astronomy]. *Science and Education a New Dimension. Pedagogy and Psychology*, VIII (94), Iss. 236, 22–25. <https://doi.org/10.31174/SEND-PP2020-236VIII94-05> [in Ukrainian].
3. Kozlenko, O. (2020). Uroky PISA-2018: pryrodnycho-naukova hramotnist i yak yii rozvyvaty. [Lessons of PISA-2018: science literacy and how to develop it]. *Biolohiia i khimiia v ridnii shkoli*, 1, 2–11. <https://lib.iitta.gov.ua/718967/1/pisa.pdf> [in Ukrainian].
4. Makieiev, S.Y., Hranovska, T.Y., & Sydorenko, O.V. (2021). Formuvannia pryrodnycho-naukovoї kompetentnosti zasobamy IKT na urokakh khimii u starshii shkoli. [Formation of science competence by ICT means during chemistry lessons in high school]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Seria: Teoriia ta metodyka navchannia pryrodnychykh nauk*, 1, 63–77. <https://doi.org/10.31652/2786-5754-2021-1-60-73> [in Ukrainian].

5. Makieiev, S.Y. (2022). Mizhnarodni systemy monitorynhu yakosti kompetentnisno oriietovanoi zahalnoi serednoi osvity. [International quality monitoring systems of competency-oriented general secondary education]. *Zasoby navchalnoi ta naukovo-doslidnoi roboty*, 58, 150–168. <https://doi.org/10.34142/2312-1548.2022.58.14> [in Ukrainian].
6. Makieiev, S.Y. (2023). Formuvannia poniattia pro pryrodnycho-naukovu kompetentnist na osnovi mizhnarodnoho doslidzhennia PISA. [Formation of the concept of scientific competency based on the international study PISA]. *Visnyk Luhanskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Pedahohichni nauky*, 1(355), 9–19. [https://doi.org/10.12958/2227-2844-2023-1\(355\)-9-19](https://doi.org/10.12958/2227-2844-2023-1(355)-9-19) [in Ukrainian].
7. Neporozhnia, L.V. (2016). Metodychni osoblyvosti formuvannia pryrodnycho-naukovoї kompetentnosti starshoklasnykiv na urokakh fizyky. [Methodological features of the formation of scientific competency of high school students in physics lessons]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu imeni Ivana Ohiiienka. Serii pedahohichna*, 22, 96–99. <http://ped-series.kpnu.edu.ua/article/view/94601/90244> [in Ukrainian].
8. Neporozhnia, L.V. (2018). Formuvannia pryrodnycho-naukovoї kompetentnosti starshoklasnykiv u protsesi navchannia fizyky. [Formation of scientific competency of high school students in the process of teaching physics]. KONVI PRINT. https://undip.org.ua/wp-content/uploads/2021/07/form_pr_2018.pdf [in Ukrainian].
9. MON Ukraina. (2016, October 27). *Nova ukrainska shkola. Kontseptualni zasady reformuvannia serednoi shkoly*. [New Ukrainian school. Conceptual principles of secondary school reform]. <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf> [in Ukrainian].
10. Zakon Ukrainy. (2017, September 5). *Pro osvitu*. [About education]. <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19> [in Ukrainian].
11. Baartman, L.K.J., & de Bruijn, E. (2011). Integrating knowledge, skills and attitudes: Conceptualising learning processes towards vocational competence. *Educational Research Review*. Vol. 6, Iss. 2, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2011.03.001>.
12. Dolin, J. (2015). Competence in Science. In: Gunstone, R. (eds) *Encyclopedia of Science Education*. Springer. 185–188. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_430.
13. OECD. (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*. PISA, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264281820-en>.
14. OECD. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. PISA, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>.
15. Siarova, H., Sternadel, D. & Szónyi, E. (2019). *Research for CULT Committee – Science and Scientific Literacy as an Educational Challenge*. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU\(2019\)629188](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/IPOL_STU(2019)629188).

УДК 378:001.82

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-10>

Лариса МАРУШКО

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Бібліографічний опис статті: Марушко, Л. (2023). Методологічні підходи та принципи підготовки до професійної діяльності майбутніх вчителів природничих спеціальностей. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 71–78, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-10>

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ТА ПРИНЦИПИ ПІДГОТОВКИ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

У статті визначено базові методологічні підходи до проблеми професійної підготовки (ПП) майбутніх вчителів природничих спеціальностей (МВПС) на засадах диференціації та індивідуалізації навчання, встановлено принципи такої підготовки. Як методологічну основу обрано наступні взаємопов'язані підходи: системний, аксіологічний, компетентнісний, особистісно-діяльнісний, індивідуальний, диференційований, інтегративний. Впровадження комплексу цих методологічних підходів у систему ПП МВПС дає можливість: сформувати системне бачення у вирішенні проблеми підготовки МВПС, структурно трансформувати педагогічну систему та її елементи, що забезпечить результативність такої системи; сформувати у студентів освітні та професійні цінності щодо діяльності вчителя природничих спеціальностей, мотиваційної спрямованості МВПС на професійну самоактуалізацію, поведінкових і професійно-етичних норм, освітніх засобів та педагогічного інструментарію тощо; забезпечити єдність змісту освіти та освітніх технологій, посиливши практичну складову освітнього процесу, з метою формування у студентів професійно-педагогічної компетентності ВПС; сформувати зміст системи ПП МВПС як особистісно зорієнтованої та створити комфортне освітнє середовище для особистісної і професійної реалізації кожного студента; створити ситуації вибору (індивідуальної освітньої траєкторії, методів і форм освітнього процесу та ін.); здійснювати синтез знань з дисциплін природничого циклу (біологія, хімія, фізика) та дисциплін соціально-гуманітарної, психолого-педагогічної, методичної підготовки з метою формування у студентів цілісної картини світу, вміння комплексно вирішувати професійні завдання, гармонійного розвитку особистості кожного студента; проводити педагогічну діагностику та моніторинг якостей особистості кожного студента, вчасне коригування освітньо-пізнавальної діяльності тощо.

Ключові слова: підготовка до професійної діяльності, майбутні вчителі природничих спеціальностей, методологічні підходи, принципи.

Larysa MARUSHKO

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Scopus Author ID: 24437444000

To cite this article: Marushko, L. (2023). Metodolohichni pidkhody ta pryntsyepy pidhotovky do profesiinoi diialnosti maibutnikh vchyteliv pryrodnychych spetsialnosteі [Methodological approaches and principles of preparation of future science teachers to professional activities]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 71–78, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-10>

METHODOLOGICAL APPROACHES AND PRINCIPLES OF PREPARATION OF FUTURE SCIENCE TEACHERS TO PROFESSIONAL ACTIVITIES

The article defines the basic methodological approaches to the problem of professional training (PT) of future teachers of natural sciences (FTNS) on the basis of differentiation and individualization of education, and establishes the principles of such training. The following interrelated approaches were chosen as a methodological basis: systemic, axiological, competence, personal-activity, individual, differentiated, integrative. The introduction of the set of these methodological approaches into the system of PT of the FTNS provides an opportunity to form a systemic vision in

solving the problem of training of the FTNS; to structurally transform the pedagogical system and its elements which will ensure the effectiveness of such a system; to form in students educational and professional values regarding the activity of a teacher of natural sciences, the motivational focus of the FTNS on professional self-actualization, behavioral and professional ethical norms, educational tools and pedagogical tools, etc.; to ensure the unity of the content of education and educational technologies, strengthening the practical component of the educational process, with the aim of forming in students professional and pedagogical competence of the TNS; to form the content of the PT system of FTNS as personality oriented and to create a comfortable educational environment for the personal and professional realization of each student; create situations of choice (individual educational trajectory, methods and forms of the educational process, etc.); to achieve a synthesis of knowledge from the subjects of the natural science cycle (biology, chemistry, physics) and the subjects of social-humanitarian, psychological-pedagogical, methodological training with the aim of forming in students a holistic picture of the world, the ability to comprehensively solve professional tasks, harmonious development of the personality of each student; to carry out pedagogical diagnostics and monitoring of the personality qualities of each student, timely adjustment of educational and cognitive activities, etc.

Key words: *preparation for professional activity, future teachers of natural sciences, methodological approaches, principles.*

Актуальність проблеми. Реформування системи вищої педагогічної освіти в Україні передбачає створення умов для всебічного розвитку інтелектуального і творчого потенціалу майбутнього вчителя, для його самореалізації. У цьому контексті підготовку майбутніх вчителів природничих спеціальностей вбачаємо доцільним проводити на засадах диференціації та індивідуалізації навчання. Вибір стратегії і тактики проектування та реалізації системи підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей (біології, хімії, фізики та інтегрованого курсу «Природничі науки») до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання ґрунтується на сукупності методологічних підходів та принципів, які визначають ефективність становлення таких фахівців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Професійна підготовка майбутніх вчителів природничих спеціальностей опирається на комплекс підходів і принципів, які становлять методологічну основу цього процесу. Питання методології педагогіки та педагогічних досліджень висвітлені в роботах вітчизняних науковців С. Гончаренка, В. Загвязінського, І. Зязюна, О. Рудницької, П. Воловика, та ін. Теоретичні, методологічні та загальнодидактичні підходи до підготовки майбутніх вчителів розробили науковці В. Андрущенко, В. Кремень, О. Будник, Г. Васянович, С. Гончаренко, Р. Гурова, О. Дубасенюк, О. Савченко, С. Сисоєва, Л. Хомич. Теоретико-методологічну базу підготовки вчителів природничих наук заклали науковці А. Андрєєв, О. Блажко, О. Войтович, Н. Граматик, Н. Грицай, Т. Засєкіна, Ю. Краснобокий, О. Кропивка, А. Кух, Н. Лукашова,

В. Мендерецький, Р. Романюк, Л. Соловей, І. Ткаченко, І. Сальник, Н. Скакун, А. Степанюк, Н. Чуvasова В. Шарко та ін. Проте у науковому доробку вчених-педагогів методологія підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей до професійної діяльності на засадах диференціації та індивідуалізації навчання не розкрита у повній мірі.

Мета статті полягає у визначенні методологічних підходів, які є базовими у системі підготовки до професійної діяльності майбутніх вчителів природничих спеціальностей на засадах диференціації та індивідуалізації навчання, а також у встановленні дидактичних і методичних принципів такої підготовки.

Виклад основного матеріалу. Різноманітність проблеми підготовки до професійної діяльності майбутніх учителів природничих спеціальностей обумовлює необхідність вибору методологічних засад науково-педагогічного дослідження, а також обґрунтування стратегії і тактики реалізації розробленої на їх основі системи професійно-педагогічної підготовки таких фахівців, що забезпечить повноту та об'єктивність одержаних знань, результативність у вирішенні дослідницьких завдань. Методологія педагогіки як наука про підходи, принципи і способи (методи) отримання знань у сфері педагогічної діяльності, а також як галузь науково-дослідницької діяльності, існує на чотирьох ієрархічних рівнях: філософському, загальнонауковому (концепції, що застосовуються в багатьох науках), конкретно-науковому (теоретичні концепції, що використовуються в конкретній науковій дисципліні), технологічному (методики і техніки дослідження) (Ортинський, 2009, с. 33).

Опираючись на зміст кожного з цих рівнів, представимо методологічні підходи у дослідженні системи підготовки до професійної діяльності майбутніх учителів природничих спеціальностей. Як методологічну основу цього науково-педагогічного дослідження обрано наступні взаємопов'язані наукові підходи: системний, аксіологічний, компетентнісний, особистісно-діяльнісний, індивідуальний, диференційований, інтегративний.

На філософському рівні методології дослідження системи підготовки до професійної діяльності майбутніх учителів природничих спеціальностей визначальними є: 1) загальні принципи гносеології, які встановлюють можливості пізнання, його передумови та умови його істинності, а також визначають сутність, закономірності функціонування і розвитку знання (Подольська, 2009, с. 566); 2) закони діалектичного матеріалізму (переходу кількісних змін в якісні, єдності та боротьби протилежностей, заперечення). Діалектико-матеріалістична педагогіка розглядає особистість як об'єкт і суб'єкт соціальних відносин, розвиток якої обумовлений її власною природою та зовнішніми чинниками, серед яких визначальне значення має процес виховання; при цьому особистість постає в діяльності (єдність особистості та людської діяльності) (Ортинський, 2009, с. 35).

Загальнонауковий рівень методології нашого дослідження визначає вектор формування світогляду майбутніх вчителів природничих спеціальностей у процесі їх професійної підготовки і представлений системним підходом. *Системний підхід* передбачає розгляд об'єкта дослідження як цілісної структурованої системи, у якій усі її елементи, в їх ієрархічній впорядкованості, перебувають у взаємозв'язках між собою; а також враховує взаємодії досліджуваної системи із зовнішніми системами. «Системний підхід у педагогіці спрямований на розкриття цілісності педагогічних об'єктів, виявлення в них різноманітних типів зв'язків та зведення їх у єдину теоретичну картину» (Гончаренко, 1997, с. 305). У контексті нашого дослідження застосування системного підходу дає можливість розглядати професійну підготовку майбутніх вчителів природничих спеціальностей як педагогічну систему та сконструювати і проаналізувати її основні елементи: мету, зміст, структуру, засоби, форми і методи

підготовки студентів, результати освітнього процесу (Шабанова, 2014, с. 30). Також використання цього підходу дозволяє сформуванню системне бачення у вирішенні проблеми підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей, структурно трансформувати педагогічну систему та її елементи, що сприятиме підвищенню якості професійної підготовки майбутніх фахівців, а отже, забезпечить результативність такої системи (Білянська, 2018).

Системний підхід до проблеми професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей базується на таких принципах: дидактичному принципі *цілісності та структурованості освітнього процесу і виявлення взаємозв'язків між його елементами*; приватно методичному принципі *створення системи компетентностей*.

До конкретно-наукового рівня методології дослідження системи професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей віднесемо такі підходи: аксіологічний, компетентнісний, особистісно-діяльнісний, індивідуальний, диференційований, інтегративний.

Аксіологічний підхід, як філософсько-педагогічна стратегія, відіграє важливу роль у конструюванні системи підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей, позаяк базується «на загальнолюдських цінностях і самоцінності особистості, визначає перспективи подальшого вдосконалення системи освіти й оптимального використання педагогічних ресурсів відповідно до вимог сучасного суспільства» (Ткачова, Варенко, 2009, с. 213), а також визначає спрямованість та вмотивованість освітньої діяльності студентів, є рушієм формування їхніх ціннісно-професійних орієнтирів, соціального досвіду, дозволяє реалізувати індивідуально-творчий потенціал особистості. Аксіологічний підхід лежить в основі особистісно орієнтованої педагогіки і гуманістичного виховання (Вітвицька, 2015).

В основі реалізації аксіологічного підходу в професійній підготовці майбутніх учителів лежить встановлення інтегративних цінностей, які, на думку Ткачової & Варенко, можна об'єднати у такі дві групи: освітні й професійні. Освітні цінності становлять гуманістичні надбання суспільства як орієнтири для поступального розвитку системи освіти, а також соціальні цінності, які в процесі інтеріоризації засобами

педагогічного впливу мають стати особистісними цінностями майбутнього фахівця. Професійно-педагогічні цінності автори розглядають як комплекс освітніх засобів та соціальних норм, які й забезпечують продуктивне перенесення освітніх цінностей на індивідуальний план особистості, тобто формують особистісні цінності (Ткачова, Варенко, 2009).

В рамках конструювання системи підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей до професійної діяльності впровадження аксіологічного підходу дозволяє сформулювати у студентів такі освітні й професійні цінності:

- інтелектуальна та професійна діяльність вчителя природничих спеціальностей як соціальна і особистісна цінність; гуманістична роль педагогічної діяльності; результати такої діяльності;
- мотиваційна спрямованість майбутніх вчителів природничих спеціальностей на професійну самореалізацію та саморозвиток;
- пізнавальна діяльність студентів та її результат – знання (Калюжна, 2016), зокрема в галузі природничих та педагогічних наук;
- поведінкові та професійно-етичні норми, освітні засоби та педагогічний інструментарій, що визначають педагогічну діяльність вчителів природничих спеціальностей;
- гармонізація взаємодії людини (суспільства в цілому) з довкіллям (екологічні цінності) (Рогоза, 2020).

Реалізацію аксіологічного підходу до проблеми професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей вбачаємо доцільним здійснювати на основі таких принципів: філософському принципі *цінності та самоцінності*; загальнонауковому методичному принципі *гуманістичної спрямованості професійно-педагогічної підготовки*; дидактичному принципі *ціннісного ставлення до майбутньої педагогічної діяльності*; приватно методичному принципі *активного стимулювання особистісного розвитку майбутнього вчителя природничих спеціальностей з урахуванням індивідуальних можливостей і потреб кожного студента*.

Концепція розвитку педагогічної освіти (Наказ МОН України від 16.07.2018 р № 776) передбачає впровадження у систему професійної підготовки вчителів *компетентнісного підходу*, який визначає направленість освітнього процесу на здобуття ними компетент-

ностей, дає їм можливість якісно здійснювати професійно-педагогічну діяльність, свідомо і творчо розв'язувати як стандартні так і непередбачувані педагогічні ситуації. Професійна компетентність вчителя, як інтегративно-системна властивість особистості у її поступальному розвитку, враховує психолого-педагогічні та предметні знання, професійно-педагогічні вміння та навички, ціннісні та мотиваційні орієнтації, власний досвід, здатність до професійної рефлексії, самоосвіти та творчої діяльності (Кубіцька, 2016).

Впровадження компетентнісного підходу у професійну підготовку майбутніх вчителів природничих спеціальностей передбачає:

- модернізацію змісту системи професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей з метою переходу від масово-репродуктивної до особистісно орієнтованої педагогічної освіти, яка ґрунтується на гуманістичних цінностях (Чайка, Петрова, 2014, с. 65);
- забезпечення єдності змісту освіти та освітніх технологій (з перенесенням акценту на практично зорієнтовану складову освітнього процесу), які дозволяють сформувати у студентів професійні компетентності вчителя природничих спеціальностей;
- розробку засобів діагностики рівнів сформованості професійно-педагогічних компетентностей вчителя природничих спеціальностей.

З компетентнісного підходу у підготовці майбутніх вчителів природничих спеціальностей випливають дидактичний принцип *міждисциплінарного синтезу*, а також приватно-методичний принцип *діагностичності (різномірний підхід до оцінки сформованості компетентності)*.

Компетентнісний підхід у професійно-педагогічній підготовці безпосередньо пов'язаний з *особистісно зорієнтованим і діяльним* підходами. Особистісно зорієнтований підхід ґрунтується на унікальності кожної особистості, що є суб'єктом освітнього процесу (Бех, 1998, с. 17). Тому система професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей має бути спроектована таким чином, щоб це сприяло гармонійному та всебічному розвитку особистості кожного студента, їхній самоактуалізації. Діяльним підхід передбачає активне залучення студентів, як суб'єктів освітньо-пізнавальної діяльності, до

процесу їхньої професійної підготовки у співпраці з викладачами (Чайка, Петрова, 2014, с. 46). Погоджуємося з думкою багатьох вчених про те, що ці два підходи є взаємозумовлені та взаємопов'язані, оскільки розвиток особистості студента, його самореалізація можливі лише в процесі його активної освітньої діяльності (Житеньова, 2019). Тому при підготовці майбутніх вчителів природничих спеціальностей до професійної діяльності будемо опиратися на *особистісно-діяльнісний підхід* як результат інтеграції та синтезу особистісно зорієнтованого і діяльнісного підходів.

Реалізація особистісно-діяльнісного підходу у професійній підготовці майбутніх вчителів природничих спеціальностей передбачає:

- створення комфортного освітнього середовища для особистісної і професійної самоактуалізації (самовдосконалення, самореалізації) кожного студента та оптимальних умов для можливості вибору індивідуальної освітньої траєкторії як чинника підвищення продуктивності навчання;

- впровадження в освітній процес суб'єкт-суб'єктної взаємодії студентів та викладачів на засадах паритетного партнерства в процесі спільної освітньо-пізнавальної діяльності;

- використання диференціації та індивідуалізації навчання з врахуванням індивідуального інтелектуального і творчого потенціалу, потреб та інтересів студентів.

Серед принципів особистісно-діяльнісного підходу в підготовці майбутніх вчителів природничих спеціальностей до професійної діяльності виокремлюємо такі: *дидактичні принципи суб'єкт-суб'єктної взаємодії, індивідуалізації та диференціації освітнього процесу, вибору індивідуальної освітньої траєкторії, а також приватно-методичні принципи індивідуальної самоактуалізації кожного студента, активності й самостійності в освітньому процесі.*

Приведення системи професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей у відповідність до світових стандартів, визнання студента суб'єктом освітньо-пізнавальної діяльності має базуватися на *індивідуальному підході*. Власне, визнання студента суб'єктом процесу професійно-педагогічної підготовки потребує усвідомлення його унікальності, цілісності його особистості, сприйняття того факту, що кожен студент наді-

лений індивідуальним потенціалом розвитку та комплексом притаманних лише йому якостей, а також визнання права кожного на вибір індивідуальної траєкторії особистісного і професійного становлення та права на цілеспрямований контроль своєї освітньо-пізнавальної діяльності. Індивідуалізація в освітньому процесі має бути спрямована на такі ціннісні сфери особистості: когнітивно-діяльнісні, ціннісно-сміслові, суб'єктно-особистісні (Масич, 2017).

Індивідуалізацію підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей будемо розглядати як процес трансформації особистості студента під впливом зовнішніх (об'єктивних) і внутрішніх (суб'єктивних) факторів у їх взаємозв'язку та взаємообумовленості, що сприяє його професійно-педагогічному становленню, створенню бази для самовдосконалення і самореалізації як в освітній так і в майбутній професійній діяльності. Так, індивідуалізація на зовнішньому рівні передбачає:

- адаптацію змісту, методів та прийомів, форм освітнього процесу до індивідуальних можливостей і потреб кожного студента;

- педагогічну підтримку кожного студента з метою підвищення якості та результативності їхньої освітньо-пізнавальної діяльності;

- мотиваційний вплив на студентів, який виявляє спонукальну дію до їхньої самоактуалізації;

- створення ситуацій вибору (індивідуальної освітньої траєкторії, методів і форм освітнього процесу тощо) (Масич, 2017).

Індивідуалізація на внутрішньому рівні виявляється в результаті саморозвитку і самовдосконалення майбутніх вчителів природничих спеціальностей, формування їхньої власної професійної позиції.

Ключовим принципом, який впливає з індивідуального підходу є приватно-методичний принцип *індивідуалізації освітнього процесу.*

В контексті нашого дослідження розглянемо ще два методологічні підходи: диференційований та інтегративний, які взаємопов'язані з індивідуальним підходом.

В роботі (Марушко, 2023) були висвітлені теоретичні засади впровадження принципу диференціації в підготовку до професійної діяльності майбутніх учителів природничих спеціальностей, де *диференційований підхід* в освітньо-пізнавальному процесі трактується як така організація освітнього процесу, «яка

передбачає урізноманітнення форм та методів навчання, навчальної діяльності і освітніх результатів студентів, спрямована на задоволення пізнавальних потреб кожного студента (студентоцентризм), надавши їм рівні можливості для навчання і створивши комфортне освітнє середовище, у якому реалізується гармонійна суб'єкт-суб'єктна взаємодія викладача зі студентами та студентів між собою» (Марушко, 2023, с. 280). Саме розробка інноваційної системи підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей на засадах диференціації та індивідуалізації навчання та її впровадження «дає можливість кожному студенту досягнути максимального рівня індивідуального розвитку, сформувати у них компетентності, достатні для успішної самореалізації, врахувавши при цьому їхні потенціал, потреби та інтереси» (Марушко, 2023).

Диференційований підхід включає такі основоположні принципи: філософський *принцип природовідповідності*, загальнонауковий методологічний *принцип забезпечення свободи вибору*, загальнодидактичний *принцип розвивального характеру освітнього процесу* та приватно методичний *принцип диференціації освітнього процесу*.

Впровадження принципу диференціації у професійну підготовку майбутніх учителів природничих спеціальностей передбачає вирішення таких завдань:

- створення особистісно зорієнтоване освітнє середовище, в якому здійснюється злагоджена міжособистісна суб'єкт-суб'єктна взаємодія;
- урізноманітнення форм і методів, що використовуються в освітньому процесі;
- розробки методичного забезпечення освітніх компонентів, зокрема й рівневих завдань;
- проведення педагогічної діагностики та моніторингу якостей особистості кожного студента;
- вчасне коригування освітньо-пізнавальної діяльності (Марушко, 2023).

Інтегративний підхід до конструювання та наступної реалізації педагогічної системи професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей передбачає проведення інтеграції, тобто доцільного об'єднання і синтезу в цілісну систему будь-яких компонентів освітнього процесу, результатом чого

має бути єдність цілей, змісту, форм, методів, видів освітньо-пізнавальної діяльності тощо (Божко, 2018). В цьому аспекті важливим є також інтеграція якостей особистості кожного студента (Рудий-Трипольський, 2018). Впровадження інтегративного підходу у професійну підготовку майбутніх вчителів природничих спеціальностей має на меті формування у таких студентів цілісних системних знань, комплексу умінь, загальних і професійних компетентностей, а також всебічний розвиток особистості студента – майбутнього вчителя.

Науковці виділяють різні рівні педагогічної інтеграції. У своєму дослідженні розглянемо інтеграцію на внутрішньопредметному і міжпредметному, а також на внутрішньоособистісному та міжособистісному рівнях (Рудий-Трипольський, 2018). Внутрішньопредметна інтеграція дозволяє сформувати чітку систему знань, умінь і навичок діяльності в межах окремої навчальної дисципліни; у той час як міжпредметна інтеграція дає можливість продукувати компетентності студентів на міжпредметному рівні, формуючи у них системність мислення, цілісність знань, умінь і навичок, професійний світогляд. Інтеграція на внутрішньоособистісному рівні забезпечує цілісність Я-концепції особистості майбутніх вчителів природничих спеціальностей, їхніх професійних якостей, що є результатом власних прагнень особистості майбутнього вчителя до професійної самоактуалізації в умовах планомірного освітнього процесу. У той час як міжособистісна інтеграція дає можливість налагодити дієву співпрацю між усіма учасниками освітнього процесу, формує соціальну, комунікативну, організаційну компетентності майбутнього вчителя.

Реалізація інтегративного підходу до професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей виявляється в:

- синтезі знань з дисциплін природничого циклу (біологія, хімія, фізика) та дисциплін соціально-гуманітарної, психолого-педагогічної, методичної підготовки, що дає можливість сформувати у студентів цілісну картину світу, вміння комплексно вирішувати професійні завдання, сприяє гармонійному розвитку особистості кожного студента;
- єдності теоретичної та практичної підготовки студентів, що є результатом інтеграції знань, умінь та навичок педагогічної діяльності;

– поєднанні технологій групового, диференційованого та індивідуалізованого навчання з метою максимального розвитку особистості кожного студента;

– консолідації соціальних і особистісних пріоритетів з освітньо-розвивальними можливостями ЗВО.

Інтегративний підхід до проблеми професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей ґрунтується на філософському *принципі системності*, загальнонауковому методологічному *принципі єдності теорії й практики* і загальнодидактичних *принципах міждисциплінарного синтезу, цілісності та структурованості освітнього процесу*.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, на основі проведеного аналізу визначено базові методологічні підходи до проблеми професійної підготовки майбутніх вчителів природничих спеціальностей на засадах диференціації та індивідуалізації навчання, встановлено принципи такої підготовки. Як методологічну основу обрано наступні взаємопов'язані підходи: системний, аксіологічний, компетентнісний, особистісно-діяльнісний, індивідуальний, диференційований, інтегративний. Подальші наукові розвідки будуть спрямовані на розкриття змісту означених філософських, загальнонаукових методологічних, загальнодидактичних і приватно методичних принципів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бех І. Д. Особистісно зорієнтоване виховання : навч.-метод. посібн. Київ: ІЗМН, 1998. 204 с.
2. Білянська М. М. Методологічні підходи у підготовці майбутніх учителів біології до еколого-педагогічної діяльності. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*, 2018. Вип. 173. С. 29–33.
3. Божко Н. Інтегративний підхід до навчання в контексті реформування системи освіти України. *Молодь і ринок*. 2018. № 7 (162). С. 84–89. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2018.140424>
4. Вітвицька С. С. Аксіологічний підхід до виховання особистості майбутнього вчителя. *Креативна педагогіка: наук.-метод. журнал / Академія міжнародного співробітництва з креативної педагогіки*. Вінниця, 2015. Вип. 10. С. 63–67.
5. Гончаренко С. Український педагогічний словник. Київ: Либідь, 1997. 376 с.
6. Житеньова Н. В. Концептуальні підходи щодо підготовки майбутнього вчителя природничо-математичних дисциплін до використання технологій візуалізації в професійній діяльності. *Інноваційна педагогіка*. 2019. Вип. 15. Т. 2. С. 76–81. <https://doi.org/10.32843/2663-6085-2019-15-2-13>
7. Калюжна Т. Г. Професійно-педагогічна підготовка майбутнього вчителя: аксіологічний підхід. *Збірник наукових праць «Гілея: науковий вісник»*. Київ: Видавництво «Гілея», 2016. Вип. 110. С. 304–307.
8. Наказ МОН України від 16.07.2018 р № 776 «Про затвердження Концепції розвитку педагогічної освіти» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/npra/pro-zatverdzhennya-koncepciyi-rozvitku-pedagogichnoyi-osviti> (дата звернення: 17.08.2023 р.).
9. Кубицька М. Д. Компетентнісний підхід у професійній підготовці вчителя. *Освітологічний дискурс*. 2016. № 1 (13). С. 88–95.
10. Марушко Л. П. Теоретичні засади впровадження принципу диференціації в підготовку до професійної діяльності майбутніх учителів природничих спеціальностей. Актуальні питання гуманітарних наук: міжвуз. зб. наук. пр. молодих вчених Дрогобицького держ. пед. ун-ту ім. Івана Франка, 2023. Вип. 59. Т. 2. С. 277–282. <https://doi.org/10.24919/2308-4863/59-2-42>
11. Масич С. Ю. Індивідуалізація професійної підготовки майбутнього фахівця. *Педагогіка та психологія: збірник наук. праць*. 2017. Вип. 58. С. 100–107. <http://doi.org/10.5281/zenodo.1117003>
12. Ортинський В. Л. Педагогіка вищої школи : навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 472 с.
13. Подольська Є. А. Філософія: підручник. Київ: Фірма «Інкос», Центр навчальної літератури, 2006. 704 с.
14. Рогоза В. В. Екологічні цінності як базове поняття професійної підготовки майбутніх вчителів природничих дисциплін. *Збірник наукових праць. Серія: Педагогічні науки*. 2020. Вип. 147. С. 147–160. <https://doi.org/10.31392/NZ-npu-147.2020.19>
15. Рудий-Трипольський В. О. Системно-інтегративний підхід до формування та розвитку професійної компетентності фахівців медичної галузі. *Актуальні проблеми психології: Збірник наукових праць Інституту психології імені Г.С. Костюка*. 2018. Том. ІХ. Вип. 11. С. 523–536.
16. Ткачова Н. О., Варенко Т. К. Аксіологічний підхід у професійній підготовці майбутніх учителів. *Наука і освіта*. 2009. № 7. С. 212–215.
17. Чайка В., Петрова Н. Інтелектуальна культура вчителя як фактор інновацій у педагогічній діяльності : монографія. Тернопіль : ТНПУ, 2014. 308 с.
18. Шабанова Ю. О. Системний підхід у вищій школі: підручник. Дніпропетровськ: НГУ, 2014. 120 с.

REFERENCES:

1. Bekh, I. (1998). *Osobystisno zorientovane vykhovannia (Personal oriented education)*. Kyiv: IZMN [in Ukrainian].
2. Bilianska, M. (2018). Metodolohichni pidkhody u pidhotovtsi maibutnikh uchyteliv biologii do ekolohopedahohichnoi diialnosti (Methodological approaches in the preparation of future biology teachers for ecological and pedagogical activities). *Naukovi zapysky. Seriia: Pedahohichni nauky – Proceedings. Series: Pedagogical sciences*, 173, 29–33 [in Ukrainian].
3. Bozhko, N. (2018). Intehratyvnyi pidkhid do navchannia v konteksti reformuvannia systemy osvity Ukrainy (An integrative approach to learning in the context of reforming the education system of Ukraine). *Molod i rynok – Youth and the market*, 7 (162), 84–89 [in Ukrainian].
4. Vitvytska, S. (2015). Aksiolohichni pidkhid do vykhovannia osobystosti maibutnoho vchytelia (Axiological approach to education of the personality of the future teacher). *Kreatyvna pedahohika – Creative pedagogy*, 10, 63–67 [in Ukrainian].
5. Honcharenko, S. (1997). *Ukrainskyi pedahohichnyi slovnyk (Ukrainian pedagogical dictionary)*. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].
6. Zhytienova, N. (2019). Kontseptualni pidkhody shchodo pidhotovky maibutnoho vchytelia pryrodnycho-matematychnykh dystsyplin do vykorystannia tekhnolohii vizualizatsii v profesiinii diialnosti (Conceptual approaches to the preparation of future teachers of natural and mathematical disciplines for the use of visualization technologies in professional activities). *Innovatsiina pedahohika – Innovative pedagogy*, 15, Vol. 2, 76–81 [in Ukrainian].
7. Kaliuzhna, T. (2016). Profesiino-pedahohichna pidhotovka maibutnoho vchytelia: aksiolohichni pidkhid (Professional and pedagogical training of the future teacher: an axiological approach). *Zbirnyk naukovykh prats «Hileia: naukovyi visnyk» – Collection of scientific papers «Gilea: scientific bulletin»*. Kyiv: Vydavnytstvo «Hileia», 110, 304–307 [in Ukrainian].
8. Nakaz MON Ukrainy vid 16.07.2018 № 776 «Pro zatverdzhennia Kontseptsii rozvytku pedahohichnoi osvity» [Order of the Ministry of Education and Culture of Ukraine dated July 16, 2018 № 776 «On Approval of the Concept for the Development of Pedagogical Education»]. (n.d.). *mon.gov.ua*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/ua/npa/prozatverdzhennya-koncepciyi-rozvitku-pedahogichnoyi-osviti> [in Ukrainian].
9. Kubitska, M. (2016). Kompetentnisnyi pidkhid u profesiinii pidhotovtsi vchytelia (Competency approach in professional teacher training). *Osvitlohichnyi dyskurs – Educational discourse*, 1 (13), 88–95 [in Ukrainian].
10. Marushko, L. (2023). Teoretychni zasady vprovadzhennia pryntsyphu dyferentsiatsii v pidhotovku do profesiinoi diialnosti maibutnikh uchyteliv pryrodnychykh spetsialnosti (Theoretical basis of the implementation of the principle of differentiation in the training of future natural science teachers for the professional activities). *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk: mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats molodykh vchenykh Drohobyskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Ivana Franka – Topical issues of the humanities: an intercollegiate collection of researchers working with young people with Drohobych workers at Ivan Franko University*, 59, Vol. 2, 277–282 [in Ukrainian].
11. Masych, S. (2017). Indyvidualizatsiia profesiinoi pidhotovky maibutnoho fakhivtsia (The individualization of professional training of a future specialist). *Pedahohika ta psykholohiia: zbirnyk naukovykh prats – Pedagogy and psychology: collection of scientific papers*, 58, 100–107 [in Ukrainian].
12. Ortynskyi, V. (2009). *Pedahohika vyshchoi shkoly (Pedagogy of high school)*. Kyiv: Tsentр uchbovoi literatury [in Ukrainian].
13. Podolska, Ye. (2006). *Filosofiiа (Philosophy)*. Kyiv: Firma «Inkos», Tsentр navchalnoi literatury [in Ukrainian].
14. Rohoza, V. (2020). Ekolohichni tsinnosti yak bazove poniattia profesiinoi pidhotovky maibutnikh uchyteliv pryrodnychykh dystsyplin (Ecological values as a basic concept of professional training of future teachers of natural sciences). *Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Pedahohichni nauky – Collection of scientific works. Series: Pedagogical sciences*, 147, 147–160 [in Ukrainian].
15. Rudyi-Trypolskyi, V. (2018). Systemno-intehratyvnyi pidkhid do formuvannia ta rozvytku profesiinoi kompetentnosti fakhivtsiv medychnoi haluzi (A system-integrative approach to the formation and development of professional competence of specialists in the medical field). *Aktualni problemy psykholohii: Zbirnyk naukovykh prats Instytutu psykholohii imeni H.S. Kostiuka – Actual problems of psychology: Collection of scientific works of the Institute of Psychology named after H.S. Kostiuka*, Vol. IX, 11, 523–536 [in Ukrainian].
16. Tkachova, N., Varenko, T. (2009). Aksiolohichni pidkhid u profesiinii pidhotovtsi maibutnikh uchyteliv (Axiological approach in professional training of future teachers). *Nauka i osvita – Science and education*, 7, 212–215 [in Ukrainian].
17. Chaika, V., Petrova, N. (2014). *Intelektualna kultura vchytelia yak faktor innovatsii u pedahohichnii diialnosti (Intellectual culture of the teacher as a factor of innovations in pedagogical activity)*. Ternopil : TNPU [in Ukrainian].
18. Shabanova Yu. (2014). *Systemnyi pidkhid u vyshchii shkoli (Systematic approach in higher education)*. Dnipropetrovsk: NHU [in Ukrainian].

ЗМІСТ

ХІМІЯ

- Жолт КОРМОШ, Микола ШЕВЧУК, Наталія КОРМОШ, Катерина ЛЮШУК, Світлана КОРОЛЬЧУК, Тетяна САВЧУК, Оксана ЮРЧЕНКО, Людмила ПІСКАЧ**
ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЛЕВАМІЗОЛУ.....4
- Жолт КОРМОШ, Леонід ГНІТЕЦЬКИЙ, Андрій КОВАЛЬЧУК, Ігор САХАРУК, Олександр ХРИПЛЮК, Вадим ТЕСУНОВ, Анатолій КРОТ, Степан БОРИСЮК, Людмила ПІСКАЧ**
ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ФУРОСЕМІДУ
В ЛІКАРСЬКИХ ФОРМАХ ТА БІОРИДИНАХ СПОРТСМЕНІВ.....11
- Наталія САВІНЧУК, Алла ВАСЬКЕВИЧ, Леся САЛІЄВА, Наталія СЛИВКА, Михайло ВОВК**
АНТИОКСИДАНТНА ДІЯ 1-(АРИЛСУЛЬФАНІЛМЕТИЛ)-
2,3-ДИГІДРОПРОЛО [1,2-А] ХІНАЗОЛІН-5(1Н)-ОНІВ.....16

ЕКОЛОГІЯ

- Олена ДЖАМ, Ольга КАРАЇМ, Зоряна ЛАВРИНЮК, Оксана ВОЙЦЕХОВСЬКА**
ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОД Р. САПАЛАЇВКА..... 24
- Єлизавета ЗАЛЕНСЬКА**
ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ БАЖАНОСТІ ХАРРІНГТОНА..... 32
- Оксана РИБАК, Ірина ПАЦЕВА**
ЗЕЛЕНІ ДАХИ ЯК ЕЛЕМЕНТ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ДОЩОВОЮ ВОДОЮ.....40
- Ілля ЦИГАНЕНКО-ДЗЮБЕНКО, Іван ХОМ'ЯК, Ганна КІРЕЙЦЕВА**
МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВОДНИХ І ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНИХ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ
У ПОСТ-МІЛІТАРНИХ УМОВАХ.....47

ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

- Михайло ДЕМ'ЯНЧУК, Людмила АРТЕМЕНКО, Ірина БОДНАРУК**
ІНТЕРНАЦІОНАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ В УМОВАХ
КОНСТРУЮВАННЯ СВІТОВОГО ОСВІТЬОГО ПРОСТОРУ: ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ.....56
- Сергій МАКЄЄВ**
ФОРМУВАННЯ ПРИРОДНИЧО-НАУКОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ УЧНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЗАВДАНЬ ФОРМАТУ PISA НА УРОКАХ ХІМІЇ У БАЗОВІЙ ШКОЛІ..... 63
- Лариса МАРУШКО**
МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ТА ПРИНЦИПИ ПІДГОТОВКИ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ
МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ.....71

CONTENTS

CHEMISTRY

- Zholt KORMOSH, Mykola SHEVCHUK, Natalia KORMOSH, Kateryna LYUSHUK, Svitlana KOROLCHUK, Tatiana SAVCHUK, Oksana YURCHENKO, Lyudmyla PISKACH**
POTENTIOMETRIC SENSOR FOR THE DETERMINATION OF LEVAMIZOLE.....4
- Zholt KORMOSH, Leonid HNTETSKII, Andrii KOVALCHUK, Igor SAKHARUK, Oleksandr HRYPLIUK, Vadym TESUNOV, Anatolii KROT, Stepan BORYSIUK, Lyudmyla PISKACH**
PHOTOMETRIC DETERMINATION OF FUROSEMIDE IN MEDICINAL FORMS AND BIOFLUIDS OF ATHLETES.....11
- Nataliia SAVINCHUK, Alla VASKEVYCH, Lesya SALIYEVA, Nataliia SLYVKA, Mykhailo VOVK**
ANTIOXIDANT ACTIVITY OF 1-(ARYLSULFONYLMETHYL)-2,3-DIHYDRO-PYRROLO [1,2-A] QUINAZOLIN-5(1H)-ONES.....16

ECOLOGY

- Olena DZHAM, Olha KARAIM, Zoryana LAVRYNYUK, Oksana VOYTSEKHOVSKA**
ECOLOGICAL CONDITION OF THE SURFACE WATERS OF THE SAPALAIVKA RIVER..... 24
- Yelyzaveta ZALENSKA**
SURFACE WATER QUALITY ASSESSMENT FOR IRRIGATION USING HARRINGTON'S DESIRABILITY FUNCTION.....32
- Oksana RYBAK, Iryna PATSEVA**
GREEN ROOFS AS AN ELEMENT OF DECENTRALIZED RAINWATER MANAGEMENT..... 40
- Illia TSYHANENKO-DZIUBENKO, Ivan KHOMYAK, Hanna KIREITSEVA**
MODELLING THE DYNAMICS OF AQUATIC AND COASTAL PLANT COMMUNITIES IN POST-MILITARY CONDITIONS.....47

VOCATIONAL EDUCATION

- Mykhailo DEMIANCHUK, Liudmyla ARTEMENKO, Iryna BODNARUK**
INTERNATIONALIZATION OF THE HIGHER EDUCATION SYSTEM OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF CONSTRUCTING THE GLOBAL EDUCATIONAL SPACE: PROBLEMS AND PERSPECTIVES.....56
- Serhii MAKIEIEV**
FORMATION OF SCIENTIFIC COMPETENCY OF STUDENTS WITH THE HELP OF PISA FORMAT TASKS IN CHEMISTRY LESSONS IN BASIC SCHOOL.....63
- Larysa MARUSHKO**
METHODOLOGICAL APPROACHES AND PRINCIPLES OF PREPARATION OF FUTURE SCIENCE TEACHERS TO PROFESSIONAL ACTIVITIES.....71

НОТАТКИ

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 2

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Марина Сергіївна Михальченко

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 9,53. Замов. № 0923/604. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.