

Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 3



Видавничий дім
«Гельветика»
2021

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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;

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;

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;

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

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

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 Юріївна – 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 природокористування та охорони навколишнього середовища), професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Уманського національного університету садівництва.

Журнал ухвалено до друку Вченою радою
Волинського національного університету імені Лесі Українки
28 жовтня 2021 р., протокол № 11

Науковий журнал «Проблеми хімії та сталого розвитку»
zareєстровано 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 природничих наук (спеціальності 101 – Екологія, 102 – Хімія) відповідно до Наказу МОН України від 29.06.2021 No 735 (додаток 4).

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, 2021

УДК 54:054(479.22)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-1>

Ольга БЄДУНКОВА

доктор біологічних наук, доцент, професор кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

ORCID: 0000-0003-4356-4124

Scopus-Author ID: 57193439260

Ігор СТАТНИК

кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, технології захисту навколишнього середовища та лісового господарства, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

ORCID: 0000-0001-7007-7319

Анастасія ЯХНЮК

здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна, 33028

ORCID: 0000-0002-6102-2655

Бібліографічний опис статті: Бедункова, О., Статник, І., Яхнюк, А. (2021). Аналіз самоочисної здатності річки Замчисько за даними багаторічних спостережень. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 3–9, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-1>

АНАЛІЗ САМООЧИСНОЇ ЗДАТНОСТІ РІЧКИ ЗАМЧИСЬКО ЗА ДАНИМИ БАГАТОРІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Мета роботи. Актуальним питанням під час визначення рівнів допустимого навантаження на водні об'єкти є оцінка самоочисної здатності водойм. Самоочисні процеси водних об'єктів – це результат взаємодії складного комплексу гідродинамічних, фізико-хімічних, мікробіологічних та гідробіологічних процесів, які спрямовані на відновлення екологічного добробуту водного об'єкта. Однак існують науково підтверджені методи розрахункової оцінки самоочисної здатності водойм за набором гідрохімічних показників. Метою статті є проведення аналізу самоочисної здатності малої річки Замчисько за багаторічними даними гідрохімічного контролю якості поверхневих вод. **Методологія.** Проби води для аналізу відбирали раз на рік, у період літньої межени, впродовж 2013–2021 рр. у двох створах: створ № 1 – у межах м. Костопіль, на 500 м нижче за скид з о/с «Костопільводоканал»; створ № 2 – на 50 м вище гирла річки, поблизу впадіння в р. Горинь. Отримані за роки спостережень результати гідрохімічного аналізу поверхневих вод мали статистичну достовірність для кожного з показників ($p \leq 0,05$). **Наукова новизна.** Під час розрахунків самоочисної здатності річки з'ясовано, що найвищий ступінь самоочищення характерний для хлоридів (88,48%), азоту амонійного (84,58%) та фосфору фосфатів (80,75%); середній ступінь самоочищення мали азот нітритний (62,88%), азот нітратний (57,9%) та показники БСК₅ (52,97%) і ХСК (34,88%); найнижчий ступінь самоочищення поверхневих вод річки було виявлено для завислих речовин (21,67%), вмісту в воді розчиненого кисню (23,74%) та фторидів (4,25%). **Висновки.** Зроблено припущення, що речовини, за якими не було підтверджено прояву самоочисної здатності поверхневих вод (сульфати, залізо, мідь, цинк, марганець), мають здебільшого фонове походження. А їхні концентрації у створі № 1, які виявилися меншими за концентрації у створі № 2, можуть бути пояснені процесом розбавлення внаслідок надходження певних об'ємів стічних вод.

Ключові слова: гідрохімічні показники, поверхневі води, самоочищення.

Olga BIEDUNKOVA

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Ecology, Environmental Protection and Forestry Technologies, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna str., Rivne, Ukraine, 33028

ORCID: 0000-0003-4356-4124

Scopus-Author ID: 57193439260

Igor STATNYK

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology, Environmental Protection Technologies and Forestry Technologies, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna str., Rivne, Ukraine, 33028

ORCID: 0000-0001-7007-7319

Anastasia YAKHNIUK

Applicant for higher education of the first (bachelor's) level, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna str., Rivne, Ukraine, 33028

ORCID: 0000-0002-6102-2655

To cite this article: Biedunkova, O., Statnyk, I., Yakhniuk, A. (2021). Analiz samoochysnoi zdatnosti richky Zamchysko za danymy bahatorichnykh sposterezhen [Analysis of the self-cleaning capacity of the Zamchysko river according to long-term observations]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 3–9, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-1>

ANALYSIS OF SELF-CLEANING CAPACITY OF THE ZAMCHYSCHKO RIVER ACCORDING TO MULTIPLE OBSERVATIONS

Purpose of the work. A relevant issue in determining permissible load levels on water bodies is the assessment of the self-cleaning capacity of water bodies. The self-cleaning processes of water bodies are the result of the interaction of a complex of hydrodynamic, physico-chemical, microbiological and hydrobiological processes aimed at restoring the ecological well-being of water bodies. However, there are scientifically proven methods for estimating the self-cleaning capacity of water bodies from a set of hydrochemical indicators. The purpose of the article was to analyze the self-cleaning capacity of the small Zamchysko River according to long-term hydrochemical quality control data of surface waters. Methodology. Water samples for analysis were collected once a year, during the summer interlude, during 2013–2021. The works were carried out on two folds: Flap 1 – within the limits of Kostopol, 500 m below the discharge from the cleaning facilities; Flap 2 – 50 m above the mouth of the river, close to the confluence of Goryn river. The results of the hydrochemical analysis of surface waters obtained over the years were statistically reliable for each of the indicators ($p \leq 0.05$). Scientific novelty. When calculating the self-cleaning capacity of the river, it was found that the highest degree of self-cleaning was found for chlorides (88.48%), ammonium nitrogen (84.58%) and phosphorus phosphate (80.75%); the average degree of self-cleaning was nitrite nitrogen (62.88%), nitrate nitrogen (57.9%) and the biochemical consumption of the co-loride (52.9%) and the chemical consumption of oxygen (34.88%); low self-purification of the river's surface water was found for suspended matter (21.67%), dissolved oxygen (23.74%) and fluoride (4.25%). Conclusion. Conclusion makes the assumption for which the self-cleaning capacity of surface waters (sulphates, iron, copper, zinc, manganese) has not been confirmed are assumed to have mainly background origin. And the concentrations in Flap 1, which were lower than the concentrations in Flap 2, can be explained by the dilution process due to the discharge of certain volumes of wastewater.

Key words: hydrochemical performance, surface water, self-cleaning.

Актуальність проблеми. Інтенсивний антропогенний вплив на фоні кліматичних змін та гідрологічних умов позначається відчутним навантаженням на водні об'єкти. Надходження та накопичення забруднювальних речовин, які часто мають токсичні ефекти, призводять до порушення процесів самоочисної здатності водойм та їх поступової деградації. Саме тому актуальності набувають підходи до визначення рівня

допустимого навантаження на водні об'єкти, коли антропогенне навантаження ще може компенсуватися процесами самоочищення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Самоочисні процеси водних об'єктів є результатом взаємодії складного комплексу гідродинамічних, фізико-хімічних, мікробіологічних та гідробіологічних процесів, які спрямовані на відновлення екологічного добробуту

водного об'єкта. Інтенсивність процесу залежить від обсягу води і дії чинників перемішування водних мас (течії та вітру), кількості сонячної радіації і суми активних температур. Здебільшого самоочищення водою залежить від географічного розташування, морфометрії та геологічних умов. У теплих поясах самоочищення водних екосистем відбувається швидше, ніж у холодних, а в зимовий період – менш інтенсивно, ніж у літній (Никаноров, 2001: 346).

Чимало наукових праць присвячено вивченню та розробкам моделей самоочисної здатності окремих великих водойм і водотоків (Аніщенко, 2008), (Гринюк, 2018), (Децук, 2019). Значно менше наукових розвідок досліджують питання самоочищення малих річок як первинних ланок гідрологічних мереж, котрі чітко відображають регіональну гідрохімічну специфіку. Відомо, що рівень антропогенного навантаження на малі річки часто перевищує допустимі межі, а погіршення їхнього екологічного стану проявляється процесами евтрофікації, виснаження і забруднення поверхневих вод, замулювання русла та забруднення донних осадів. Основними забруднювальними речовинами малих річок є сполуки металів, фосфати, сульфати, феноли, амонійний та нітритний азот, органічні речовини (Никаноров, 2001: 64).

Загалом проблеми малих річок аналогічні проблемам великих водотоків: скиди комунально-побутових і промислових стічних вод, характеристики яких не відповідають встановленим нормативам якості; надходження забрудненого поверхневого стоку з міських та сільськогосподарських територій; порушення природних гідрологічних та гідрохімічних режимів під час будівництва гідротехнічних споруд; втрати стоку в разі вилучення на питні, сільськогосподарські та інші потреби (Никаноров, 2001: 147), (Аніщенко, 2008), (Венеціанови др., 2014).

Цікавим, на наш погляд, є виокремлення пріоритетних груп малих річок, які мають загальні типологічні особливості та становлять особливу увагу (Децук, 2019): річки, що мають індикаторне фонове значення; річки в умовах інтенсивного неконтрольованого впливу дифузного стоку; річки у великих агломераціях; річки, які приймають значні об'єми стічних вод. Зазначені аспекти так чи інакше визначають потенціал самоочисної здатності річки, що

також має враховуватися в екологічних підходах до оцінювання цього явища.

Мета і методика дослідження. Метою статті було відстеження прояву самоочисної здатності малої річки Замчисько за даними багаторічних спостережень гідрохімічних характеристик поверхневих вод. Розрахунки проводили за формулами (Никаноров, 2001: 350).

Сумарний коефіцієнт швидкості самоочищення (K , год.⁻¹, діб⁻¹):

$$K = \frac{2,3}{\tau} \lg \frac{C_0}{C_\tau}, \quad (1)$$

де τ – час проходження води між створами, год., діб; C_0 – вихідна концентрація речовини у початковому створі ділянки, мг/л; C_τ – концентрація речовини у кінцевому створі ділянки через час τ , мг/дм³:

$$\tau = l / 86400 \cdot V_{cp}, \quad (2)$$

де l – відстань за фарватером річки між створами спостережень, м; V_{cp} – середня швидкість течії води на ділянці річки між створами спостережень, м/с; 86400 – кількість секунд у добі.

Самоочищувальна здатність води ($C3$, %) на ділянці річки визначається за формулою:

$$C3 = [(C_0 - C_\tau) / C_0] \cdot 100. \quad (3)$$

Концентрації речовин у поверхневих водах отримували в результаті лабораторного аналізу відібраних проб води за загальноприйнятими методиками. Проби відбирали раз на рік, у період літньої межени, впродовж 2013–2021 рр. у двох створах: створ № 1 – у межах м. Костопіль, на 500 м нижче за скид з о/с «Костопільводоканал»; створ № 2 – на 50 м вище гирла річки, поблизу впадіння в р. Горинь.

Математичну обробку та графічне представлення даних виконували за допомогою програмного забезпечення Statistica 8.0. Перевірка статистичної ймовірності даних проводилася за t -критерієм Стьюдента (Айвазян, 1985).

Виклад основного матеріалу. Річка Замчисько – права притока р. Горинь, басейн якої розташований у межах лісової частини Рівненської області (рис. 1). Довжина річки становить 43,2 км, площа водозбору – 336 км², лісистість – 44,6%, заболоченість – 1,22%. Річка має одну притоку довжиною понад 10 км, коефіцієнт густоти гідрологічної мережі – 0,16 км/км². Норма стоку річки – 31,8 млн м³, стік у маловодні роки забезпеченістю 75% та 95% в межах 21,3 та 12,6 млн м³, відповідно.

Зведені результати гідрохімічної характеристики поверхневих вод р. Замчисько у створах спостережень наведено в табл. 1, 2.

Так, одержані за роки спостережень результати гідрохімічного аналізу поверхневих вод

мали статистичну достовірність для кожного з показників ($p \leq 0,05$).

Отримані дані для двох створів дали змогу провести розрахункову оцінку прояву самоочисної здатності досліджуваної річки (рис. 2).

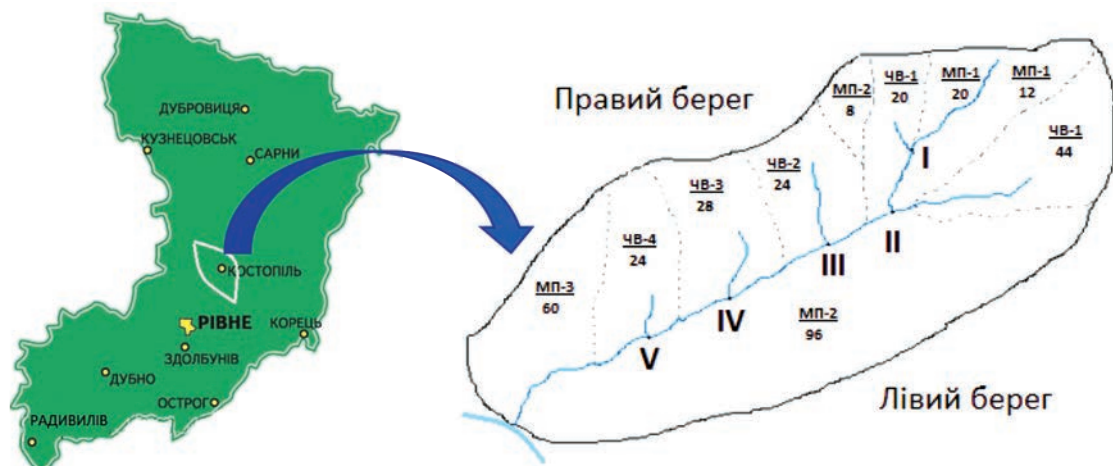


Рис. 1. Розташування та структура басейну р. Замчисько
(у чисельнику МП – міжприточний простір, ЧВ – частинний водозбір;
у знаменнику – площа ділянки, км²)

Таблиця 1

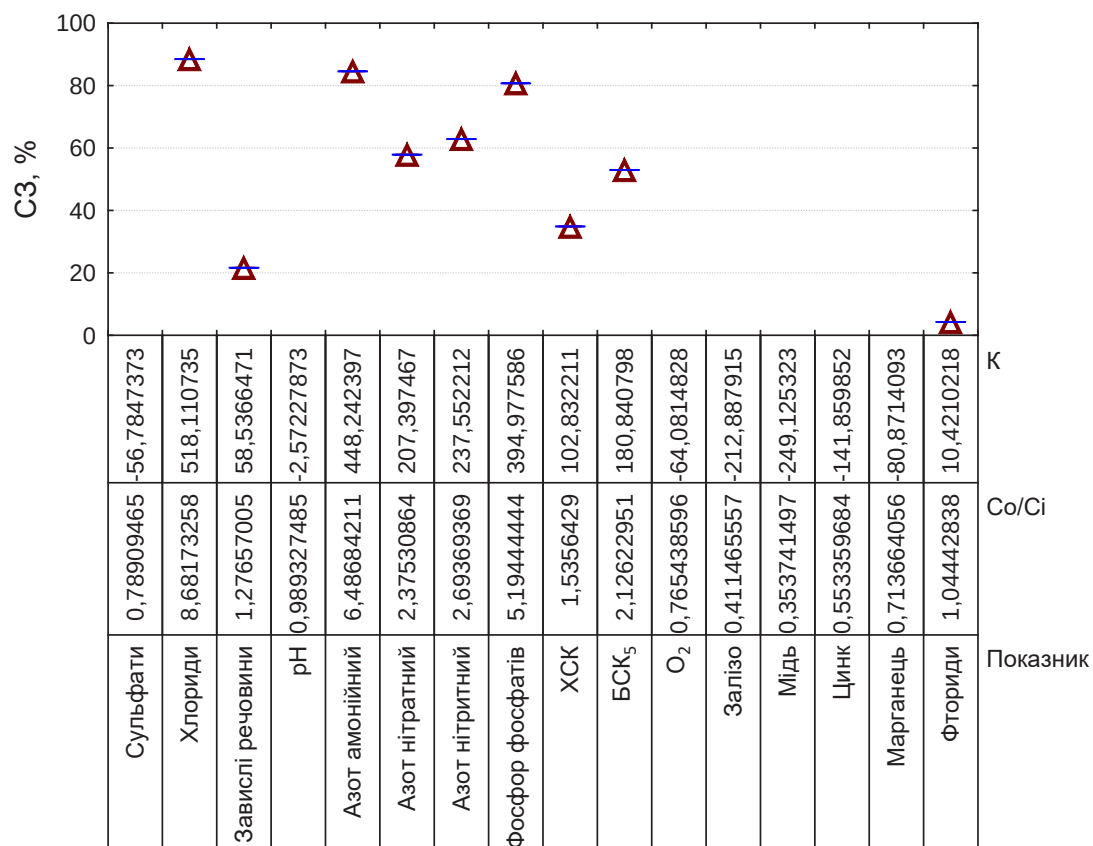
Статистична обробка результатів гідрохімічного аналізу поверхневих вод
р. Замчисько, створ № 1 (2013–2021 рр.)

Variable	Test of means against reference constant (value) (Spreadsheet2)							
	Mean	Std.Dv.	N	Std.Err.	Reference Constant	t-value	df	p
Сульфати, мг/дм ³	31,9583	5,2097	9	1,73656	0,00	18,4032	8	0,000000
Хлориди, мг/дм ³	15,3667	10,2158	9	3,40528	0,00	4,5126	8	0,001969
Завислі речовини, мг/дм ³	11,7444	7,9169	9	2,63898	0,00	4,4504	8	0,002138
pH	7,5189	0,2076	9	0,06921	0,00	108,6376	8	0,000000
Азот амонійний, мг/дм ³	2,4650	2,2107	9	0,73690	0,00	3,3451	8	0,010154
Азот нітратний, мг/дм ³	1,0689	0,7943	9	0,26477	0,00	4,0370	8	0,003751
Азот нітритний, мг/дм ³	0,0997	0,0415	9	0,01383	0,00	7,2085	8	0,000092
Фосфор фосфатів, мг/дм ³	0,9350	1,0622	9	0,35407	0,00	2,6407	8	0,029680
ХСК, мг/дм ³	46,1000	8,1746	9	2,72487	0,00	16,9182	8	0,000000
БСК ₅ , мг/дм ³	6,4850	2,4025	9	0,80085	0,00	8,0977	8	0,000040
O ₂ , мг/дм ³	7,2717	3,0468	9	1,01561	0,00	7,1599	8	0,000096
Залізо, мкг/дм ³	385,6667	27,8388	9	9,27961	0,00	41,5607	8	0,000000
Мідь, мкг/дм ³	17,3333	3,5000	9	1,16667	0,00	14,8571	8	0,000000
Цинк, мкг/дм ³	14,0000	7,9530	9	2,65100	0,00	5,2810	8	0,000745
Марганець, мкг/дм ³	27,3333	10,8282	9	3,60940	0,00	7,5728	8	0,000065
Фториди, мкг/дм ³	288,8889	242,5616	9	80,85385	0,00	3,5730	8	0,007262

Таблиця 2

**Статистична обробка результатів гідрохімічного аналізу поверхневих вод
р. Замчисько, створ № 2 (2013–2021 рр.)**

Variable	Test of means against reference constant (value) (Spreadsheet2)							
	Mean	Std.Dv.	N	Std.Err.	Reference Constant	t-value	df	p
Сульфати, мг/дм ³	40,5067	17,6929	9	5,8976	0,00	6,86830	8	0,000129
Хлориди, мг/дм ³	1,7730	1,0666	9	0,3555	0,00	4,98674	8	0,001070
Завислі речовини, мг/дм ³	9,2000	5,6771	9	1,8924	0,00	4,86160	8	0,001253
pH	7,5556	0,2492	9	0,0831	0,00	90,95617	8	0,000000
Азот амонійний, мг/дм ³	0,3800	0,0843	9	0,0281	0,00	13,52931	8	0,000001
Азот нітратний, мг/дм ³	0,4544	0,2142	9	0,0714	0,00	6,36330	8	0,000217
Азот нітритний, мг/дм ³	0,0370	0,0071	9	0,0024	0,00	15,61987	8	0,000000
Фосфор фосфатів, мг/дм ³	0,1856	0,0219	9	0,0073	0,00	25,46726	8	0,000000
ХСК, мг/дм ³	35,0167	6,8854	9	2,2951	0,00	15,25692	8	0,000000
БСК ₅ , мг/дм ³	3,0456	1,2978	9	0,4326	0,00	7,03992	8	0,000108
O ₂ , мг/дм ³	9,5122	1,7849	9	0,5950	0,00	15,98763	8	0,000000
Залізо, мкг/дм ³	937,3333	547,0247	9	182,3416	0,00	5,14054	8	0,000885
Мідь, мкг/дм ³	49,0000	38,3112	9	12,7704	0,00	3,83700	8	0,004968
Цинк, мкг/дм ³	25,3333	16,5756	9	5,5252	0,00	4,58506	8	0,001790
Марганець, мкг/дм ³	38,3333	22,2542	9	7,4181	0,00	5,16756	8	0,000856
Фториди, мкг/дм ³	276,6667	174,8571	9	58,2857	0,00	4,74673	8	0,001451



**Рис. 2. Розрахункова оцінка самоочисної здатності р. Замчисько
за даними багаторічних спостережень (2013–2021 рр.)**

У середньому за досліджуваний період найвищий ступінь самоочищення був характерний для хлоридів (88,48%), азоту амонійного (84,58%) та фосфору фосфатів (80,75%). Середній ступінь самоочищення мали азот нітритний (62,88%), азот нітратний (57,9%) та показники БСК₅ (52,97%) і ХСК (34,88%). Найнижчий ступінь самоочищення поверхневих вод річки було виявлено для завислих речовин (21,67%) та фторидів (4,25%). Решта проаналізованих речовин мали розрахований показник самоочисної здатності нижче нуля, що свідчило про відсутність прояву самоочищення поверхневих вод річки. Однак слід зауважити, що середній багаторічний вміст розчиненого кисню у створі № 2 ($9,51 \pm 1,78 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$) був вищим за його вміст у створі № 1 ($7,27 \pm 3,05 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$). Тож перерахунок показника СЗ виявляє ступінь самоочищення на рівні 23,74%. Цілком очевидно, що зростання показника вмісту в воді розчиненого кисню свідчить про покращення екологічного стану річки, адже водночас із проявом самоочищення за вмістом кисню проявляється і самоочищення води за вмістом розчинених органічних речовин (за показниками БСК₅ і ХСК), а також за вмістом речовин азотної групи та фосфатів.

Припускаємо, що речовини, за якими не було підтверджено прояву самоочисної здатності поверхневих вод (сульфати, залізо, мідь, цинк, марганець), мають здебільшого фонове похо-

дження. А їхні концентрації у створі № 1, які виявилися меншими за концентрації у створі № 2, можуть бути пояснені процесом розбавлення внаслідок надходження певних об'ємів стічних вод.

Таким чином, більшість проаналізованих показників якості поверхневих вод малої річки Замчисько зменшує свої концентрації за течією, після надходження стічних вод та характеризується різним проявом самоочисної здатності.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Середні багаторічні дані гідрохімічних показників якості поверхневих вод малої річки Замчисько мають відмінні концентрації на різних ділянках річки з підтвердженою статистичною достовірністю ($p \leq 0,05$). Після надходження стічних вод у середній течії річки прояв самоочисної здатності в створі поблизу гирла водойми мали 10 із 16 показників, зокрема: хлориди (88,48%), азот амонійний (84,58%), азот нітратний (57,9%), азот нітритний (62,88%), фосфор фосфатів (80,75%), БСК₅ (52,97%), ХСК (34,88%) та вміст розчиненого в воді кисню (23,74%) тощо. Відсутність прояву самоочисної здатності таких показників якості, як вміст сульфатів, заліза, міді, цинку та марганцю, пояснюється їхнім природним фоновим вмістом у поверхневих водах річки. Отримані дані можуть мати практичне значення під час планування нормативів скидання стічних вод до р. Замчисько.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Айвазян С.А. Прикладная статистика: исследование зависимостей : справ. издание. Москва : Финансы и статистика, 1985. 487 с.
2. Аніщенко Л.Я. Розрахункові показники для критеріїв екологічно безпечних рівнів відбору води з малих річок. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2008. № 5. С. 59–65.
3. Венецианов Е.В., Аджиєнко Г.В., Щеголькова Н.М. Загрязнение и самоочищение малых рек: процессы, мониторинг, охрана : материалы лекций II Всероссийской школы-конференции. Ярославль : Филигрань, 2014. С. 24–41.
4. Гринюк В.І. Дослідження процесів самоочищення правих приток річки Свічі басейну Дністра. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. № 28. С. 77–82.
5. Децук В.С. Оценка загрязнения водных объектов : учеб.-метод. пособие. Гомель : БелГУТ, 2019. 43 с.
6. Никаноров А.М. Гидрохимия. Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2001. 444 с.

REFERENCES:

1. Ajvazyan, S.A. (1985) Prikladnaya statistika: issledovanie zavisimostej : sprav. izdanie [Applied Statistics: Dependency Study: A Reference Publication]. Moscow : Finance and statistics. 487 p. [in Russian]
2. Anishchenko, L.Ya. (2008) Rozrakhunkovi pokaznyky dlia kryteriiv ekolohichno bezpechnykh rivniv vidboru vody z malykh richok [Estimated indicators for the criteria of environmentally safe levels of water abstraction from small rivers]. *Ecology of the environment and safety of life*. P. 59–65. [in Ukrainian]

3. Detsuk, V.S. (2019) Otsenka zagryazneniya vodnykh ob'yektov : ucheb.-metod. posobiye [Assessment of water pollution : Training.-Method. Manual]. Gomel : BelGUT. 43 p. [in Russian]
4. Hryniuk, V.I. (2018) Doslidzhennia protsesiv samoochyschennia pravykh prytok richky Svichi baseinu Dnistra [Research of processes of self-cleaning of the right tributaries of the river Svicha of the Dniester basin]. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*. P. 77–82. [in Ukrainian]
5. Nikanorov, A.M. (2001) Gidrokimiya. [Hydrochemistry]. SPb. : Gidrometeoizdat. 444 p. [in Russian]
6. Venetsianov, E.V., Adzhiyenko, G.V., Shchegolkova, N.M. (2014) Zagryazneniye i samoochishcheniye malykh rek: protsessy, monitoring, okhrana. [Pollution and self-cleaning of small rivers: processes, monitoring, protection]. *Materials of lectures of the 2nd All-Russian School-Conference*. Yaroslavl : Filigren. P. 24–41. [in Russian]

УДК 614.777:543.32(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-2>

Руслана ВАЛЕРКО

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри загальної екології, Поліський національний університет, бульв. Старий, 7, м. Житомир, Україна, 10008

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Людмила ГЕРАСИМЧУК

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри загальної екології, Поліський національний університет, бульв. Старий, 7, м. Житомир, Україна, 10008

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Бібліографічний опис статті: Валерко, Р., Герасимчук, Л. (2021). Оцінка ризику, пов'язаного з надходженням заліза з питною водою, для здоров'я населення Житомирської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 10–16, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-2>

ОЦІНКА РИЗИКУ, ПОВ'ЯЗАНОГО З НАДХОДЖЕННЯМ ЗАЛІЗА З ПИТНОЮ ВОДОЮ, ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Метою дослідження є оцінка вмісту заліза у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області та виявлення кількісних характеристик його перорального надходження з питною водою для різних вікових груп сільського населення.

Методологія. Загалом було відібрано 450 зразків питної води з усіх районів Житомирської області. Аналітичні дослідження зразків води на вміст заліза загального здійснювали фотометричним методом на базі вимірювальної лабораторії Поліського національного університету.

Наукова новизна полягає в оцінюванні ризику виникнення неканцерогенних ефектів через надходження заліза з питною водою для сільського населення Житомирської області різних вікових категорій.

Висновки. Середній вміст заліза загального у питній воді сільських населених пунктів коливався від 0,55 у Житомирському районі до 1,06 мг/дм³ – на території Новоград-Волинського району. Максимальний його вміст виявлено на рівні 10,6 мг/дм³ у Бердичівському та Новоград-Волинському районах. Встановлено, що середньодобова доза надходження заліза з питною водою для дорослих варіювала у межах від 0,02 до 0,04 мг/кг×добу за середньої його концентрації та від 0,21 до 0,35 мг/кг×добу – за максимальної концентрації заліза. Для дітей за середнього вмісту заліза ця величина коливалась у межах 0,02–0,05 мг/кг×добу, а за максимального вмісту – 0,2–0,51 мг/кг×добу. Розраховані величини перевищують референтну дозу, яка становить 0,3 мг/кг×добу, лише за максимальних концентрацій заліза. Найменші коефіцієнти небезпеки були зафіксовані для підлітків, чоловіків та жінок Житомирського району за середньої концентрації заліза 0,55 мг/дм³, а найбільші величини виявлені для дитячого населення у Бердичівському та Новоград-Волинському районах за максимальної концентрації заліза на рівні 10,6 мг/дм³. Встановлено, що величина ризику перевищує одиницю лише за умови зростання концентрації заліза до 10 мг/дм³ і більше.

Ключові слова: питна вода, залізо загальне, середньодобова доза, надходження, референтна доза, неканцерогенний ризик.

Ruslana VALERKO

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the General Ecology Department, Polissya National University, 7 Staryi Boulevard, Zhytomyr, Ukraine, 10008

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Lyudmyla HERASYMCHUK

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of General Ecology, Polissya National University, 7 Staryi Boulevard, Zhytomyr, Ukraine, 10008

ORCID: 0000-0002-3166-5588

To cite this article: Valerko, R., Herasymchuk, L. (2021). Otsinka ryzyku, pov'iazanoho z nadkhodzhenniam zaliza z pytnoiu vodoiu, dlia zdorov'ia naselennia Zhytomyrskoi oblasti [Assessment of risk associated with the invention of iron with drinking water for the health of the population of the Zhytomyr region]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 10–16, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-2>

ASSESSMENT OF RISK ASSOCIATED WITH THE INVENTION OF IRON WITH DRINKING WATER FOR THE HEALTH OF THE POPULATION OF THE ZHYTOMYR REGION

The aim of the study is to assess the iron content in drinking water sources of decentralized water supply in rural areas of Zhytomyr and identify quantitative characteristics of its oral intake with drinking water for different age groups of the rural population.

Methodology. A total of 450 drinking water samples were taken from all districts of Zhytomyr Oblast. Analytical studies of water samples for total iron content were performed by photometric method on the basis of the Measuring Laboratory of Polissya National University.

The scientific novelty is to assess the risk of non-carcinogenic effects due to the supply of iron in drinking water for the rural population of Zhytomyr region of different ages.

Conclusions. The average content of total iron in drinking water of rural settlements ranged from 0.55 in Zhytomyr region to 1.06 mg/dm³ in Novohrad-Volynskyi region. Its maximum content was found at the level of 10.6 mg/dm³ within Berdychiv and Novohrad-Volynskyi regions. It was found that the average daily dose of iron with drinking water varied from 0.02 to 0.04 mg/kg×day for adults at its average concentration and from 0.21 to 0.35 – at the maximum concentration of iron. For children with an average iron content, this value ranged from 0.02 to 0.05, and at a maximum content of 0.2–0.51 mg/kg×day. The calculated values exceed the reference dose, which is 0.3 mg/kg×day, only at maximum iron concentrations. The lowest risk factors were recorded for adolescents, men and women in Zhytomyr region at an average iron concentration of 0.55 mg/dm³, and the highest values were found for children in Berdychiv and Novohrad-Volynskyi regions at a maximum iron concentration of 10.6 mg/dm³. It is established that the magnitude of the risk exceeds one only if the iron concentration increases to 10 mg/dm³ and more.

Key words: drinking water, total iron, average daily dose, intake, reference dose, non-carcinogenic risk.

Актуальність проблеми. Залізо – це елемент, що зустрічається найбільш часто серед інших у природі та за поширеністю у земній корі посідає друге місце серед металів. Природні води збагачуються залізом завдяки процесам хімічного вивітрювання з механічним руйнуванням і розчиненням гірських порід. Середній вміст заліза у поверхневих водах становить близько 0,7 мг/дм³, концентрації заліза у підземних водах зазвичай не перевищують 0,5–10 мг/дм³, проте, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, можуть сягати і 50 мг/дм³ (WHO, 2003).

У країнах Європейського Союзу норматив заліза у питній воді встановлений на рівні 0,2 мг/дм³, в Австралії, Японії, Китаї, США, Канаді – на рівні 0,3 мг/дм³, що відповідає нормативу, затвердженому ВООЗ, який обмежується відомостями лише про зміну органолептичних властивостей у разі його перевищення (WHO, 2011). В Україні з 2010 р. діють 2 нормативи вмісту заліза: 0,2 мг/дм³ – для централізованого водопостачання, й 1 мг/дм³ допускається для води, що надходить із джерел нецентралізованого водопостачання (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні наукові дослідження свідчать про безпосередній вплив питної води незадовільної якості на стан здоров'я населення; доведено суттєвий зв'язок між санітарно-хімічними показниками та рівнем захворюваності за низ-

кою нозологічних форм. Зокрема, в останні роки занепокоєння вітчизняних та зарубіжних дослідників викликає негативний вплив високого вмісту заліза у питній воді на стан здоров'я людини. Доведено, що постійне споживання води з підвищеним вмістом заліза сприяє збільшенню рівня загальної захворюваності (Егорова, Канатникова, 2017), має негативний вплив на репродуктивну функцію, збільшує ризик розвитку інфарктів, виразкової хвороби (Heming, Montravers, Lasocki, 2011), алергічних захворювань, хвороб кісткової системи, захворювань крові, печінки, порушень роботи нирок, анемії та неврологічних розладів (Ghosh, Khan, Chakraborty et al., 2020). Проте у Житомирській області можливість впливу заліза в питній воді, у концентраціях, що перевищують норматив, на стан здоров'я населення досліджено неналежним чином (Валерко, Герасимчук, Приходько, 2021).

Мета. Отже, метою статті стала оцінка ризику для здоров'я населення сільських селітебних територій Житомирської області, пов'язаного з надходженням заліза з питною водою.

Виклад основного матеріалу. Відбір зразків питної води робили із джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області. Аналітичні дослідження зразків питної води на вміст заліза загального проводили, відповідно до ГОСТу 4011-72 «Вода питьевая. Методы измерения

массовой концентрации общего железа», за допомогою фотоелектроколориметра. Всього було відібрано та проаналізовано 450 зразків води.

Оцінку перорального надходження заліза з питною водою проводили, відповідно до методичних рекомендацій з оцінки ризику для здоров'я населення за умови впливу хімічних речовин, що забруднюють довкілля (Р. 2.1.10.1920-04). Значення факторів експозиції, що рекомендовані як стандартні, приймалися згідно з критеріями Агентства з охорони довкілля США (EPA) (табл. 1).

Середньодобову дозу надходження заліза загального впродовж життя людини разом із питною водою розраховували за формулою 1:

$$ADD = C \times IR \times ED \times EF / BW \times AT \times DPY, \quad (1)$$

де ADD – середньодобова доза надходження хімічної речовини впродовж життя, мг/кг×добу; C – концентрація речовини у питній воді, мг/дм³; IR – величина споживання води; ED – тривалість впливу, років; EF – частота впливу, днів/рік; BW – маса тіла людини, кг; AT – період усереднення експозиції, років; DPY – кількість днів в одному році, 365 днів/рік.

Потенційну дозу заліза за його хронічного щоденного надходження впродовж багаторічної експозиції розраховували за формулою 2:

$$TPD = C \times IR \times ED, \quad (2)$$

де TPD – потенційна доза речовини за її хронічного щоденного надходження; C – концентрація речовини у питній воді, мг/дм³; IR – величина споживання, дм³/добу; ED – тривалість впливу (доба×років).

Ризик можливого розвитку неканцерогенних ефектів оцінювали за показниками коефіцієнта небезпеки (HQ), який є відношенням середньодобової дози хімічної речовини до її безпечного

(референтного) рівня впливу та розраховується за формулою 3:

$$HQ = ADD / RfD, \quad (3)$$

де ADD – середньодобова доза надходження хімічної речовини впродовж життя, мг/кг×добу; RfD – порогова (референтна) доза, мг/кг×добу (Р. 2.1.10.1920-04).

Середній вміст заліза загального у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області коливався у межах від 0,55 мг/дм³ у Житомирському районі до 1,06 мг/дм³ – у Новоград-Волинському. Максимальний його рівень варіював у межах від 6,5 до 10,6 мг/дм³. Найбільша кількість проб із перевищенням вмістом заліза зафіксована у Коростенському районі, а найменша – у Житомирському (табл. 2).

Перевищення нормативу заліза за чинним стандартом на території України зафіксовано лише для Новоград-Волинського району – в 1,06 рази. Проте, якщо брати до уваги рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я, то маємо перевищення для всіх досліджуваних районів, величина яких становить: для Бердичівського району – в 3,1 рази, для Житомирського – в 1,8 рази, для Коростенського – в 3 рази, для Новоград-Волинського – в 3,5 рази (рис. 1).

Відповідно до методики референтна доза для заліза становить 0,3 мг, а в якості критичних органів і систем розглядаються слизові оболонки, шкіра, кров та імунна система. Відомо, що ймовірність розвитку шкідливих ефектів збільшується зі зростанням величини HQ. Величина HQ є відношенням середньодобової дози надходження заліза до його референтної дози, а якщо взяти до уваги, що величина HQ,

Таблиця 1

Стандартні фактори експозиції (EPA, 2015)

Фактори експозиції	Категорії населення, вік			
	діти, 0–10 років	підлітки, 11–20 років	чоловіки, 21–72 роки	жінки, 21–72 роки
Споживання питної води, дм ³ /добу	1	1,7	2,4	2,3
Маса тіла, кг	20	54	75	69
Частота впливу, днів/рік	350			
Тривалість впливу, років	6	6	30	30
Період усереднення експозиції, років	6	6	30	30
Референтна доза, мг/кг×добу	0,3			

яка дорівнює 1, є пороговою величиною неканцерогенного ризику, то й верхній допустимий рівень середньодобового перорального споживання заліза становитиме 0,3 мг/кг×добу (Поляков, Ревуцкая, Крохалева, 2018).

Таким чином, для дорослого чоловіка із середньою масою тіла 75 кг верхня допустима межа становитиме 22,5 мг/добу, а для дітей із вагою 20 кг – 6 мг/добу (табл. 3). Тобто, знаючи масу тіла людини та помноживши її на референтну дозу, можна оцінити індивідуальну верхню допустиму межу середньодобового

споживання заліза. На основі отриманих вище величин можна оцінити допустимий рівень надходження заліза за багаторічний період, який для дорослих становить 30 років, а для дітей – 6 років (Р. 2.1.10.1920-04). Отже, для дорослого чоловіка із середньою масою тіла 75 кг за 30 років хронічного щоденного надходження заліза ця величина становитиме 246 375 мг, а для дітей із вагою 20 кг за 6 років хронічного впливу – 13 140 мг (табл. 3). Аналогічним чином можна оцінити індивідуальну верхню допустиму межу надходження заліза за будь-який багаторічний

Таблиця 2

Вміст заліза загального у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області

Район	Середній вміст, мг/дм ³	Максимальний вміст, мг/дм ³	Перевищення нормативу за ДСанПін 2.2.4-171-10, % проб	Перевищення нормативу за ВООЗ, % проб
Бердичівський	0,93	10,6	20	29,1
Житомирський	0,55	9,8	11,7	34,8
Коростенський	0,9	6,5	31,4	44,2
Новоград-Волинський	1,06	10,6	28,1	42,2

Таблиця 3

Розрахунок гранично допустимого рівня надходження заліза з питною водою

Категорія населення	Вага, кг	Верхня допустима межа споживання заліза, мг/добу	Верхня допустима межа за хронічного щоденного споживання, мг
Діти	20	6	13 140
Підлітки	54	16,2	35 478
Чоловіки	75	20,7	226 665
Жінки	69	22,5	246 375

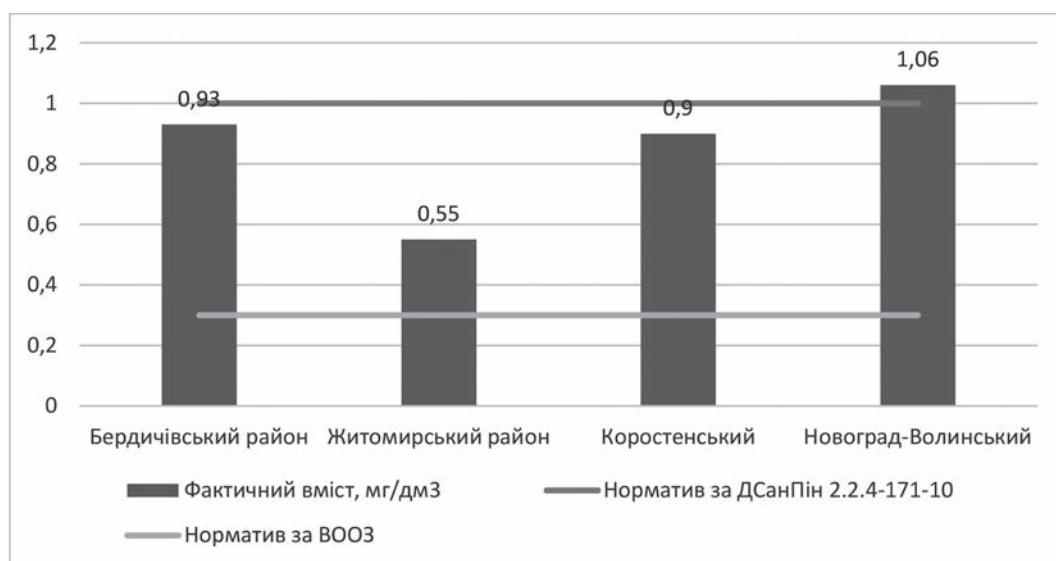


Рис. 1. Перевищення нормативів вмісту заліза загального у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області

період хронічного впливу, використовуючи величину водоспоживання, масу тіла та концентрацію заліза у питній воді.

На основі отриманих даних щодо вмісту заліза загального за його середньої та максимальної концентрації у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області були розраховані величини середньодобового надходження заліза, потенційні дози заліза за його хронічного споживання та ризик можливого розвитку неканцерогенних ефектів для різних категорій населення (табл. 4).

Встановлено, що розрахована величина верхнього допустимого рівня споживання заліза для будь-якої категорії населення за середнього його вмісту у питній воді сільських населених пунктів у жодному випадку не перевищувала допустимих значень, наведених у табл. 3. Проте за максимального його вмісту зафіксовано перевищення величини допустимого рівня споживання заліза для дітей, яке варіювало у межах від 1,03 у Коростенському районі до 1,7 – у Бердичівському та Новоград-Волинському райо-

нах. Для підлітків перевищення встановлено для Бердичівського та Новоград-Волинського районів – в 1,13 та 1,07 рази відповідно. Перевищення граничного рівня споживання заліза за його максимальної концентрації зафіксовано для чоловіків та жінок усіх районів, крім Коростенського. Аналогічною була ситуація і для величини верхньої допустимої межі за хронічного щоденного споживання (див. табл. 4).

Найменші коефіцієнти небезпеки були зафіксовані для підлітків, чоловіків і жінок Житомирського району за середньої концентрації заліза 0,55 мг/дм³. Найбільші коефіцієнти небезпеки зафіксовані для дитячого населення у Бердичівському та Новоград-Волинському районах за максимальної концентрації заліза на рівні 10,6 мг/дм³ (див. рис. 2). Рівень неканцерогенного ризику в межах від 1 до 5 характеризується як середня межа небезпеки для особливо чутливих груп населення, в цьому випадку – дітей.

Проте важливо пам'ятати про надходження заліза до організму людини з їжею, оскільки можливість повноцінної оцінки ризику роз-

Таблиця 4

Результати оцінки перорального надходження заліза з питною водою нецентралізованих джерел водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області

Категорія населення	ADD, мг/кг×добу		Верхня допустима межа споживання заліза, мг/добу		TPD, мг		Верхня допустима межа за хронічного щоденного споживання, мг	
	сер.	макс.	сер.	макс.	сер.	макс.	сер.	макс.
<i>Бердичівський район</i>								
Діти	0,04	0,51	0,8	10,2	2053	23214	1752	22328
Підлітки	0,03	0,32	1,62	18,36	3462,4	39463,8	3547,8	40208,4
Чоловіки	0,03	0,34	3	38,25	24440,4	278568	32850	418835,5
Жінки	0,031	0,35	2,14	24,15	23422,1	266961	23433	264442,5
<i>Житомирський район</i>								
Діти	0,03	0,47	0,6	9,4	1204,5	21462	1314	20586
Підлітки	0,02	0,3	1,08	16,2	2047,65	36485,4	2365,2	35478
Чоловіки	0,02	0,31	1,5	23,25	14454	257544	16425	254587,5
Жінки	0,02	0,33	1,38	22,77	13851,75	246813	19710	249331,5
<i>Коростенський район</i>								
Діти	0,04	0,31	0,8	6,2	1971	14235	1752	13578
Підлітки	0,03	0,2	1,62	10,8	3350,7	24199,5	3547,8	23652
Чоловіки	0,03	0,21	2,25	15,75	23652	170820	24637,5	172462,5
Жінки	0,03	0,22	2,07	15,18	22666,5	163702,5	22666,5	166221
<i>Новоград-Волинський район</i>								
Діти	0,05	0,51	1	10,2	2321,4	23214	2190	22338
Підлітки	0,03	0,32	1,62	17,28	3946,4	39463,8	1773,9	37843,2
Чоловіки	0,03	0,34	2,25	25,5	27856,8	278568	24637,5	279225
Жінки	0,04	0,35	2,76	24,15	26696,1	266961	30222	264442,5

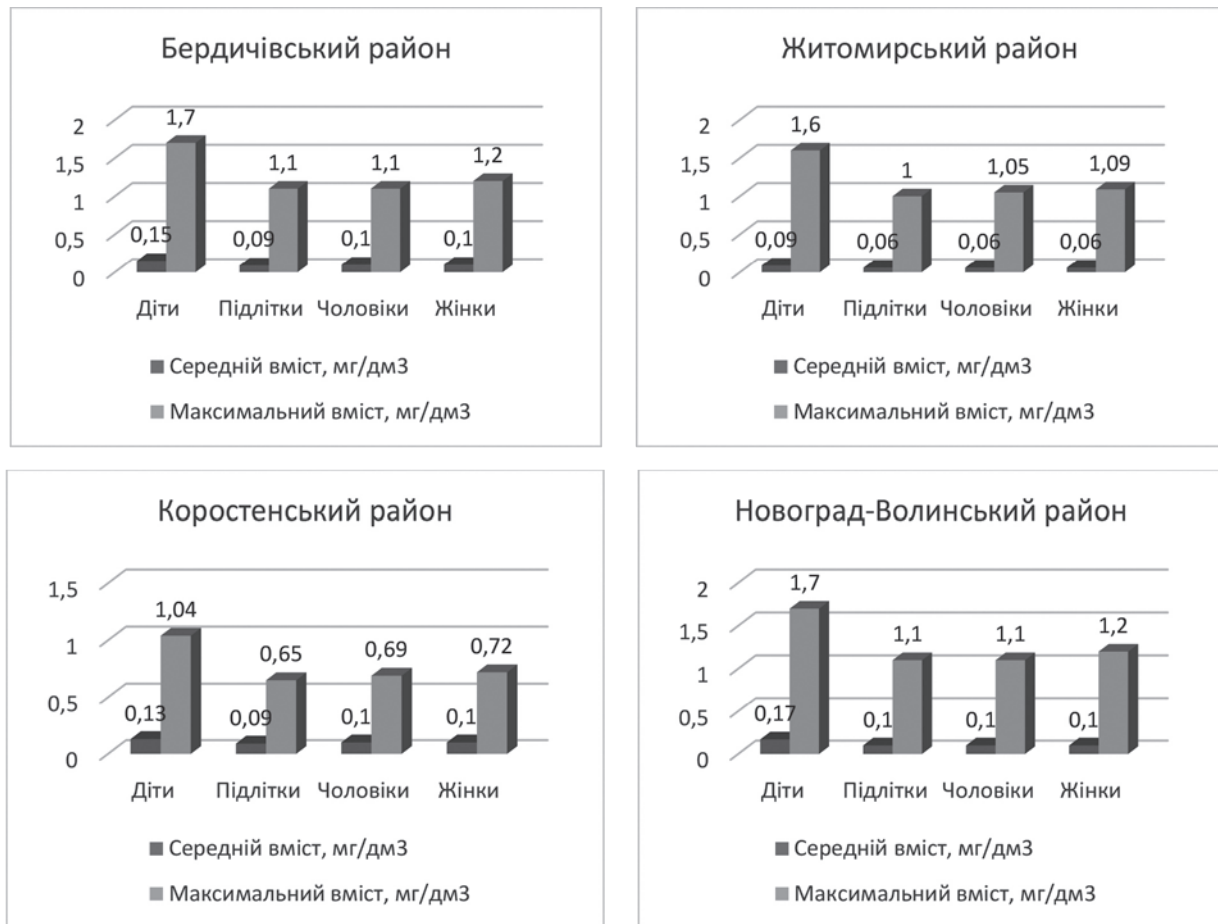


Рис. 2. Оцінка ризику розвитку неканцерогенних ефектів за надходження заліза з питною водою для населення Житомирської області

витку неканцерогенних ефектів існує лише за умови врахування кількісних показників перорального надходження заліза і з питною водою, і з продуктами харчування.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Таким чином, доведено, що найбільш вразливими категоріями населення до розвитку шкідливих ефектів впливу на здоров'я за перорального надходження заліза з питною водою є діти віком від 0 до 6 років та жінки. Рівень ризику не перевищує величину 1,7, що свідчить про середній ступінь небезпеки, а ризик

розвитку шкідливих ефектів є характерним для особливо чутливих груп населення. Крім того, встановлено, що величина ризику перевищує одиницю лише за умови зростання концентрації заліза до 10 мг/дм³ і більше.

У перспективі подальших досліджень – здійснення сумарної оцінки ризику для здоров'я населення за перорального та наскірного надходження забруднювальних речовин із водою джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів Житомирської області.

ЛІТЕРАТУРА:

1. WHO. Iron in drinking water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, 2003. 9 p.
2. WHO. Guidelines for drinking-water quality. Geneva, 2011. 564 p.
3. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : ДСанПіН 2.2.4-171-10. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.
4. Егорова Н.А., Канатникова Н.В. Влияние железа в питьевой воде на заболеваемость населения г. Орла. *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. 2017. № 96 (11). С. 1049–1053. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053.

5. Heming N., Montravers P., Lasocki S. Iron deficiency in critically ill patients: highlighting the role of hepcidin. *Crit. Care*. 2011. № 15 (2). P. 210. DOI: 10.1186/cc9992.
6. Ghosh G.C., Khan M.J.H., Chakraborty T.K. et al. Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Sci Rep*. 2020. № 10. P. 5206. DOI: 10.1038/s41598-020-62187-5.
7. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О., Приходько А.П. Оцінка перорального надходження заліза і марганцю з питною водою для дитячого населення Житомирської області. *Challenges, threats and developments in biology, agriculture, ecology, geography, geology and chemistry* : international scientific and practical conference. Lublin, the Republic of Poland, July 2–3, 2021. P. 53–57. DOI: 10.30525/978-9934-26-111-4-12.
8. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Р 2.1.10.1920-04. Москва : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.
9. Human Health Ambient Water Quality Criteria: 2015 Update. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/human-health-2015-update-factsheet.pdf>.
10. Поляков В.Ю., Ревуцкая И.Л., Крохалева С.И. Оценка перорального поступления железа с питьевой водой города Биробиджана для различных возрастных групп населения. *Экология человека*. 2018. № 1. С. 20–25.

REFERENCES:

1. WHO (2003). Iron in drinking water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva. 9 p.
2. WHO (2011). Guidelines for drinking-water quality. Geneva. 564 p.
3. Hiihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoï dlya spozhyvannya lyudynoyu : DSanPiN 2.2.4-171-10 [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption : DSanPiN 2.2.4-171-10]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.
4. Yegorova, N.A., Kanatnikova, N.V. (2017). Vliyanie zheleza v pit'yevoy vode na zabolevayemost' naseleniya g. Orel [Influence of iron in drinking water on the incidence of the population of Orel]. *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. No 96 (11). P. 1049–1053. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1049-1053. [in Russian]
5. Heming, N., Montravers, P., Lasocki, S. (2011). Iron deficiency in critically ill patients: highlighting the role of hepcidin. *Crit. Care*. No 15 (2). P. 210. DOI: 10.1186/cc9992.
6. Ghosh, G.C., Khan, M.J.H., Chakraborty, T.K. et al. (2020). Human health risk assessment of elevated and variable iron and manganese intake with arsenic-safe groundwater in Jashore, Bangladesh. *Sci Rep*. No 10. 5206. DOI: 10.1038/s41598-020-62187-5.
7. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O., Prykhod'ko, A.P. (2021). Otsinka peroral'noho nadkhodzhennya zaliza i marhantsyu z pytnoyu vodoyu dlya dytyachoho naselennya Zhytomyrs'koyi oblasti [Estimation of oral intake of iron and manganese with drinking water for children of Zhytomyr region]. *Challenges, threats and developments in biology, agriculture, ecology, geography, geology and chemistry* : international scientific and practical conference. Lublin, the Republic of Poland, July 2–3. P. 53–57. DOI: 10.30525/978-9934-26-111-4-12. [in Ukrainian]
8. Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu / R 2.1.10.1920-04 [Guidelines for Assessing Public Health Risks from Exposure to Chemicals Polluting the Environment]. Moskva : Federal'nyy tsentr Gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004. 143 s. [in Russian]
9. Human Health Ambient Water Quality Criteria: 2015 Update. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/human-health-2015-update-factsheet.pdf>.
10. Polyakov, V.YU., Revutskaya, I.L., Krokhalova, S.I. (2018). Otsenka peroral'nogo postupleniya zheleza s pit'yevoy vodoy goroda Birobidzhana dlya razlichnykh vozrastnykh grupp naseleniya [Assessment of oral intake of iron with drinking water in the city of Birobidzhan for different age groups of the population]. *Ekologiya cheloveka*. № 1. P. 20–25. [in Russian]

УДК 502.211 (477.81-751)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-3>

Любомир ГУЛАЙ

доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025
ORCID: 0000-0003-3495-5027

Олена ДЖАМ

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, 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, Україна, 43025
ORCID: 0000-0002-1722-4110

Бібліографічний опис статті: Гулай, Л., Джам, О., Караїм, О. (2021). Екологічні аспекти моніторингу територій Рівненського природного заповідника. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 17–23, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-3>

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ РІВНЕНСЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА

Наукове дослідження структури природоохоронних територій та їхніх місця і ролі у природно-ресурсному потенціалі є важливим та походить з їх особливої цінності як середовища формуючих і природовідтворювальних природних комплексів із високим рівнем ландшафтного та біологічного різноманіття. У більшості випадків природоохоронний статус територій порушується землевласниками і землекористувачами, що призводить до зміни їхнього природного функціонування та властивостей.

Для забезпечення екологічного збалансованого розвитку і збереження популяцій видів рослин і тварин у Рівненській області створена мережа природно-заповідного фонду, до складу якої входить Рівненський природний заповідник. Через складну прохідність і доступність, а також через значну віддаленість від наукових центрів історія дослідження сучасної території заповідника та регіону загалом не вирізнялась особливою інтенсивністю і мала лише фрагментарний характер.

Розглянуто роль природно-заповідного фонду в житті біосфери та суспільства. Відповідно до мети створення природного заповідника визначені основні завдання його діяльності: збереження цінних природних та історико-культурних комплексів й об'єктів; сприяння розвитку організованого туризму, відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах; проведення наукових досліджень природних комплексів та екологічної освітньо-виховної роботи. У статті обґрунтовано важливість збереження та розширення мережі природно-заповідного фонду в Рівненській області. Наведено основні показники якісного та кількісного складу флори і фауни на території Рівненського природного заповідника. Проаналізовано динаміку чисельності флори і фауни визначеної території. На основі еколого-статистичного аналізу здійснено обробку досліджуваних показників діяльності Рівненського природного заповідника.

Ключові слова: природний заповідник, флора та фауна, екологічний стан.

Lubomir GULAY

Doctor of Chemistry, Professor, Head of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025
ORCID: 0000-0003-3495-5027

Olena DZHAM

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

Olha KARAIM

Candidate of Economics Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025
ORCID: 0000-0002-1722-4110

To cite this article: Gulay, L., Dzham, O., Karaim, O. (2021). Ekolohichni aspekty monitorynhu terytorii Rivnenskoho pryrodnoho zapovidnyka [Ecological aspects of the monitoring of the territories of Rivne nature reserve]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 17–23, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-3>

ECOLOGICAL ASPECTS OF THE MONITORING OF THE TERRITORIES OF RIVNE NATURE RESERVE

The scientific study of the structure of nature conservation areas and their place and role in the natural resource potential is important and follows from their special value as an environment for forming and naturally occurring natural complexes with a high level of biologic and biological diversity. In most cases, the environmental status of the territory is violated by landowners and land users, which leads to a violation of their natural functioning and changes in government.

To ensure the ecological balanced development and preservation of populations of plant and animal species in the Rivne region, a network of natural reserve fund has been established, which includes the Rivne nature reserve. Due to the difficult passage and accessibility, as well as the considerable distance from the scientific centers, the history of the study of the modern territory of the reserve and the region as a whole does not differ in particular intensity and had only a fragmentary character.

The role of nature reserves in the life of the biosphere and of the society is an extraordinarily important and diverse one. According to the goals of the establishment nature reserve, it is charged with the following tasks: preservation of valuable natural, historic-cultural complexes and objects; creation of the conditions for organized tourism, relaxation and other recreation activities in the nature; scientific studies of the nature complexes and their changes with the recreation activities and ecological educational activities. The article substantiates the importance of preserving and expanding the network of nature reserves in Rivne Oblast. The main indicators of qualitative and quantitative composition of flora and fauna in the territory of Rivne nature reserve over the last five years are given. The quantity dynamics of flora and fauna of the defined territory is analyzed. The processing of the studied indicators of main aspects of the activity of Rivne nature reserve is provided from ecologo-statistical analysis.

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

Актуальність проблеми. Останнім часом у світі основою для збереження біологічного різноманіття є мережа природоохоронних територій. Рівненський природний заповідник, який створений на базі чотирьох заказників загальнодержавного значення, охоплює унікальні та майже неторкані території Західного Полісся, які віддалені від населених пунктів і характеризуються значною заболоченістю та лісистістю. Узагальнення відомостей про дослідження основних аспектів діяльності на території Рівненського природного заповідника та аналіз його сучасного стану є наразі актуальним і важливим питанням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інформацію щодо методів отримання даних про різні компоненти довкілля, оцінювання рівня шкідливого впливу на них, прогнозування стану навколишнього середовища, розробку науково обґрунтованих рекомендацій стосовно проведення природоохоронних заходів подано у (Боголюбов, 2010). Основні засади організації природоохоронної діяльності, принципи формування екомережі викладені авторами у (Грищенко, 2000), (Гродзинський, 2003), (Стеценко, 1999). Поточний стан територій та складників Рівненського природ-

ного заповідника висвітлено у (Літопис природи Рівненського природного заповідника, 2014), (Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2015 р., 2016).

Метою статті є еколого-статистичне дослідження основних напрямів діяльності Рівненського природного заповідника.

Виклад основного матеріалу. Рівненський природний заповідник був створений відповідно до Указу Президента України від 3 квітня 1999 р. № 356/99, його площа становила 47046,8 га. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2003 р. № 1271 заповіднику надано в постійне користування 42288,7 га земель.

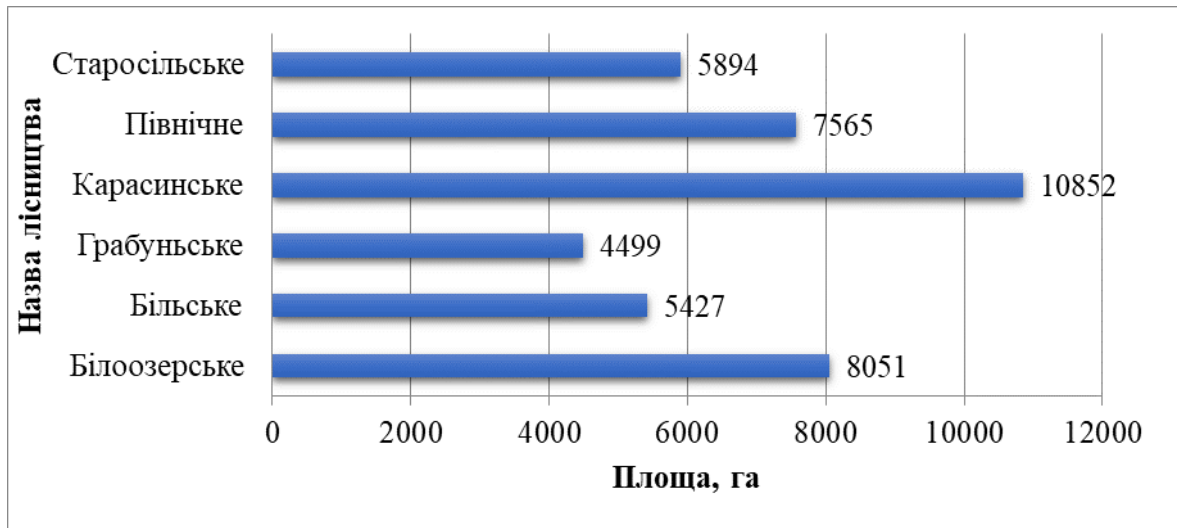
У 2016 р. працівниками заповідника було підготовлене наукове обґрунтування щодо збільшення його площі на 6295 га, та отримано погодження від одного з користувачів про передачу земель площею 5202 га.

Територіально заповідник розташований у чотирьох значно віддалених один від одного масивах, серед них: «Білоозерський», «Сомине», «Сира Погоня», «Переброди». Територія заповідника поділяється на шість лісництв (див. табл. 1 і рис. 1).

Таблиця 1

Характеристики складників Рівненського природного заповідника

№	Назва лісництва	Площа, га	Кількість природоохоронних обходів	Розташування садиби лісництва
1	Білоозерське	8051	12	Володимирецький р-н, с. Більська Воля
2	Більське	5427	7	Рокитнівський р-н, с. Більськ
3	Грабуньське	4499	6	Рокитнівський р-н, с. Грабунь
4	Карасинське	10852	11	м. Сарни, ур. Розвилка
5	Північне	7565	5	Дубровицький р-н, с. Переброди
6	Старосільське	5894	7	Рокитнівський р-н, с. Старе Село

**Рис. 1. Склад території Рівненського природного заповідника**

Територія заповідника розподілена за двома категоріями: лісові землі, площа яких сягає 21292,2 га, та нелісові землі площею 20996,5 га.

Лісові землі становлять 20388,6 га, вкритих лісовою рослинністю, та 903,6 га, не вкритих лісовою рослинністю, розподіл яких наведено на рис. 2.

Характеристика нелісових земель зображена на рис. 3.

За даними Літопису природи Рівненського природного заповідника інвентарний перелік флори заповідника у 2016 р. налічує 1245 видів, зокрема судинних рослин – 691 вид 53 порядки та 7 класів; найбільші родини: айстрові (75 видів, або 10,9% від загальної кількості видів), злакові (63 види, або 9,1%), осокові (54 види, або 7,8%), гвоздичні (36 видів, або 5,2%), бобові (34 види, або 4,9%), ранникові (30 видів, або 4,3%), губоцвіті (28 видів, або 4,1%) та розові (27 видів, або 3,9%), містять 50% всіх видів рослин. Флора мохоподібних налічує 150 видів, що належать до 45 родин 18 порядків

3 класів; флора лишайників містить 47 видів, що належать до 13 родин; флора водоростей налічує 54 види (28 родин 8 відділів), а флора грибів та грибоподібних організмів заповідника нараховує 303 види (рис. 4.) (Літопис природи Рівненського природного заповідника, 2014).

Відповідно до третього видання Червоної книги України на території Рівненського природного заповідника у 2016 р. було зареєстровано 49 видів рослин та 3 види грибів, занесених до Червоної книги. До Європейського червоного списку занесено 214 видів судинних рослин; до Додатка 1 Бернської конвенції – 4 види; 19 видів регіонально рідкісних рослин занесено до Переліку регіонально рідкісних і таких, що перебувають під загрозою зникнення, видів рослин на території Рівненської області, затвердженого рішенням Рівненської обласної ради від 27 березня 2009 р. № 1196.

Окрім того, у 2016 р. співробітниками заповідника було виявлено 12 нових місцезростань п'яти видів рідкісних рослин

та зареєстровано 46 видів адвентивних рослин, що становить 6,6% від загального списку судинних рослин заповідника (Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2015 р., 2016).

Зміна кількості видів хребетних представлена на рис. 5.

У 2016 р. на території Рівненського природного заповідника достовірно відзначено перебування 1349 видів тварин, із них 1043 види безхребетних та 306 видів хребетних тварин.

Виявлено 53 нових види тварин і птахів, з яких 6 занесені до Червоної книги України

(луць степовий, могильник, беркут, нічниця війчаста та нічниця Бранта, заєць білий).

Основну частину безхребетних у Рівненському природному заповіднику становлять Комахи (913 видів). Решта 130 видів належать до класів Коловертки (11 видів), Зяброногі ракоподібні (44 види), Максиподи (12 видів), Вищі ракоподібні (2 види), Ентогнати (46 видів), Павукоподібні (10 видів) та Червоногі молюски (4 види).

Розподіл хребетних тварин за класами виглядає таким чином: кісткових риб – 21 вид, земноводних – 11, плазунів – 7, птахів – 217, ссавців – 50 видів (див. рис. 6.).

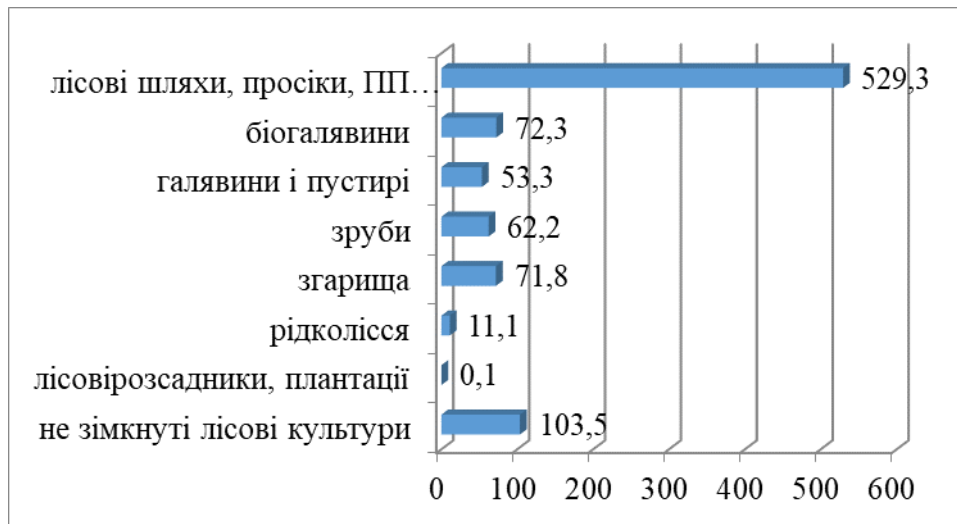


Рис. 2. Розподіл лісових земель, не вкритих лісовою рослинністю, га

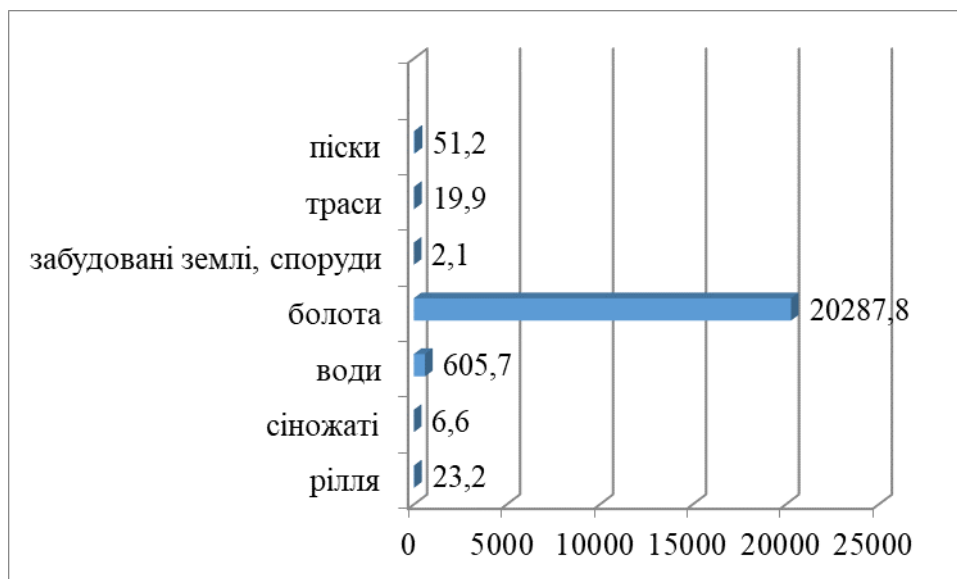


Рис. 3. Розподіл нелісових земель, га

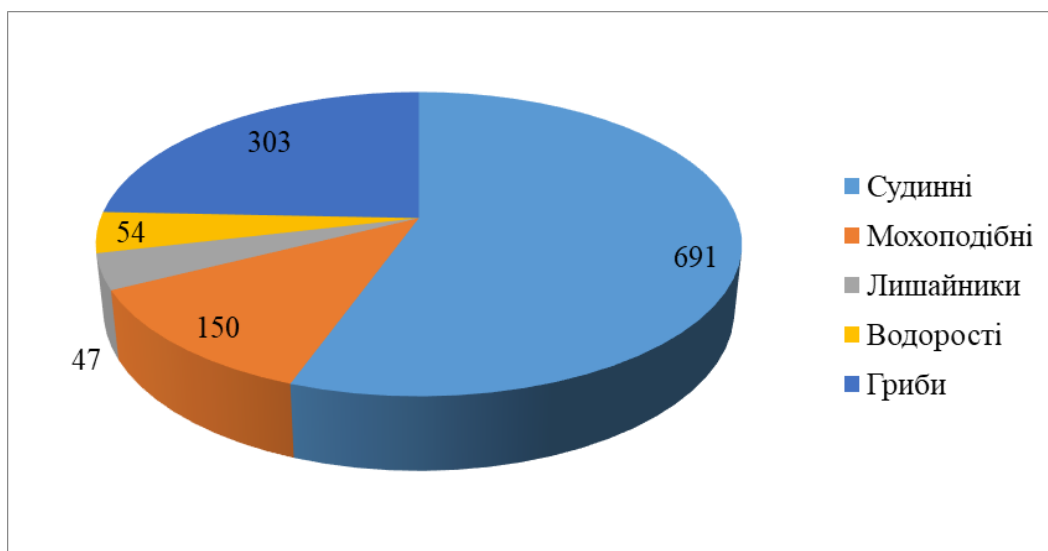


Рис. 4. Розподіл рослин Рівненського природного заповідника за групами

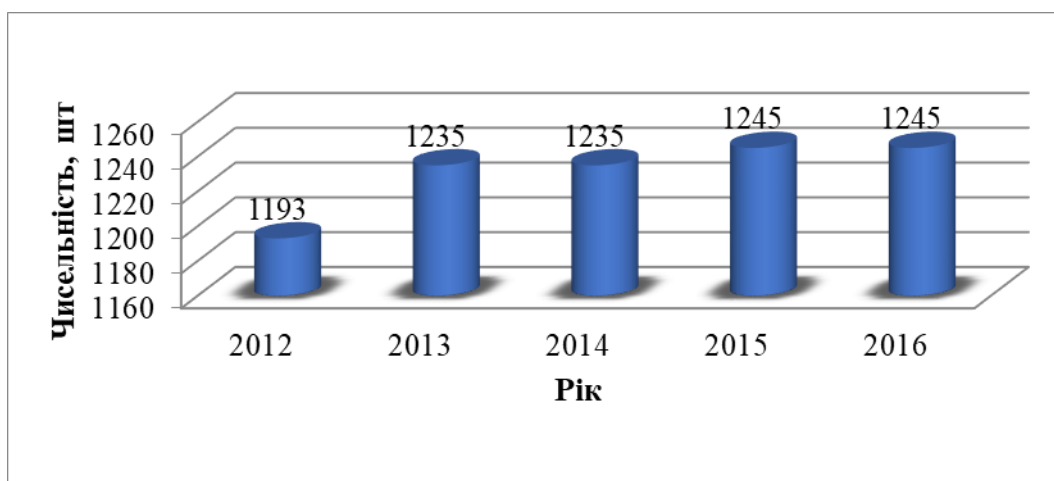


Рис. 5. Динаміка чисельності видів флори заповідника

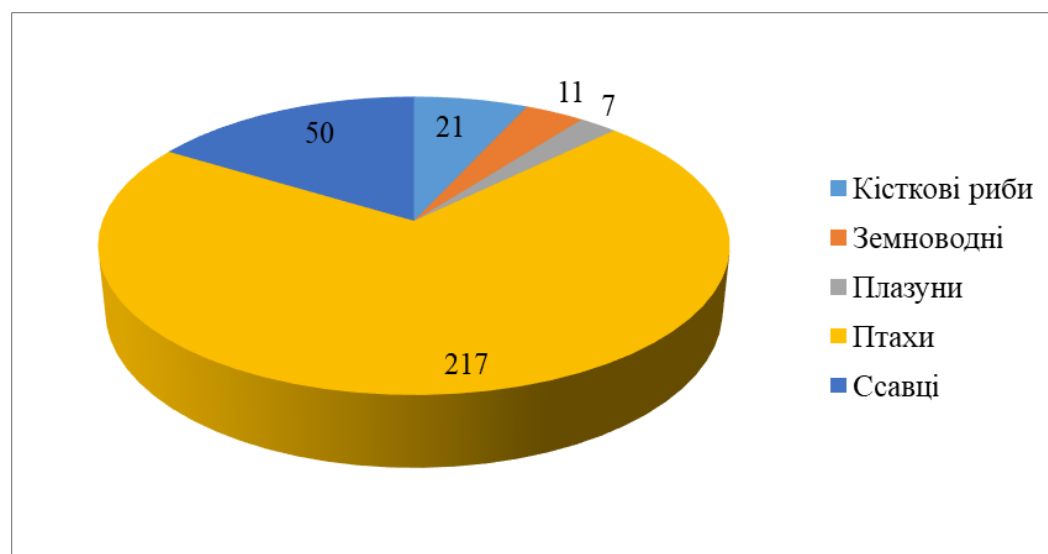


Рис. 6. Кількість видів хребетних на території заповідника

Зміна кількості видів хребетних представлена на рис. 7.

На території Рівненського природного заповідника знаходиться 72 види рослин та 250 видів тварин, що підлягають охороні, згідно з чинними для України міжнародними конвенціями. Всю територію заповідника віднесено до Смарагдової мережі.

Наприкінці 2016 р., згідно з Рамсарською конвенцією, два масиви були включені до офіційного переліку водно-болотних угідь міжнародного значення: UA-2274 «Болотний масив Сира Погоня» площею 9926 га та UA-2275 «Болотний масив Сомине» площею 10852 га. Отже, разом з уже наявним торф'яно-болотним масивом Переброди на території Рівненського природного заповідника функціонують три Рамсарські угіддя. Ще один масив («Біле озеро та болото Коза-Березина») також перебуває на стадії внесення.

По всій території Рівненського природного заповідника ведуться моніторингові дослідження, що відповідають вимогам міжнародного природоохоронного законодавства. На адміністрацію заповідника покладені охорона, раціональне використання та утворення біологічного й ландшафтного різноманіття водно-болотного угіддя «Торф'яно-болотний масив Переброди».

Висновки та перспективи подальших досліджень. Територіально Рівненський природний заповідник розташований у чотирьох значно

віддалених один від одного масивах. Територія заповідника розподілена за двома категоріями: лісові землі, площа яких сягає 21292,2 га, та нелісові землі площею 20996,5 га. Інвентарний перелік флори заповідника у 2016 р. налічує 1245 видів, зокрема судинних рослин – 691 вид, флора мохоподібних становить 150 видів, флора лишайників складає 47 видів, флора водоростей нараховує 54 види, а флора грибів та грибоподібних організмів – 303 види. У 2016 р. було виявлено 12 нових місцезростань п'яти видів рідкісних рослин та зареєстровано 46 видів адвентивних рослин, що становить 6,6% від загального списку судинних рослин заповідника.

У 2016 р. на території Рівненського природного заповідника достовірно відзначено перебування 1349 видів тварин, із них 1043 види безхребетних та 306 хребетних. Виявлено 53 нових види тварин, з яких 6 занесені до Червоної книги України.

Всю територію Рівненського природного заповідника віднесено до Смарагдової мережі. Наприкінці 2016 р. два масиви були включено до офіційного переліку водно-болотних угідь міжнародного значення, функціонують три Рамсарські угіддя. До структури Рівненського природного заповідника входять відділ пропаганди та екологічної освіти, еколого-просвітницький центр, музей природи.

З метою охорони та раціонального використання природних ресурсів заповідника необхідно проводити періодичний контроль їхнього стану.

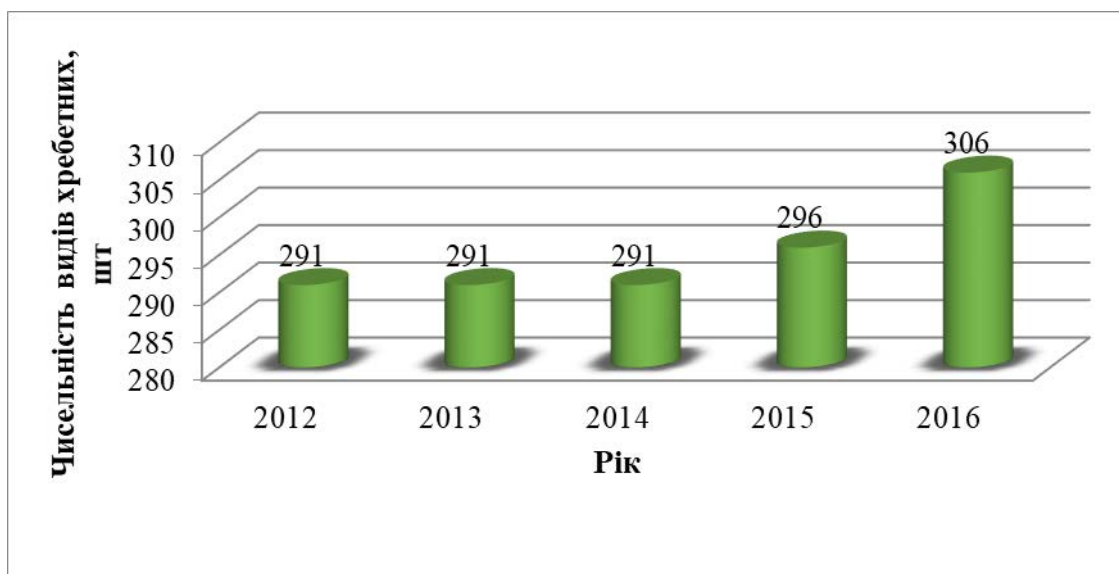


Рис. 7. Динаміка чисельності видів хребетних на території заповідника

ЛІТЕРАТУРА:

1. Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. Моніторинг довкілля. Вінниця : ВНТУ, 2010. 232 с.
2. Грищенко Ю.М. Основи заповідної справи. Рівне : РДГУ, 2000. 239 с.
3. Гродзинський М.Д., Стеценко М.П. Заповідна справа в Україні. Київ : Основа, 2003. 306 с.
4. Літопис природи Рівненського природного заповідника. Сарни, 2014. 191 с.
5. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2015 р. / Департамент екології та природних ресурсів. Рівне, 2016. 227 с.
6. Стеценко М.І., Жевчук В.В. Заповідники і національні парки України. Київ : Вища школа, 1999. 232 с.

REFERENCES:

1. Boholiubov, V.M., Klymenko, M.O., Mokin, V.B. (2013) Monitorynh dovkillia [Environmental monitoring]. Vinnytsia : VNTU. [in Ukrainian]
2. Hryshchenko, Yu.M. (2000) Osnovy zapovidnoi spravy [Fundamentals of the protected case]. Rivne : RDHU. [in Ukrainian]
3. Hrodzynskyi, M.D., Stetsenko, M.P. (2003) Zapovidna sprava v Ukraini [Reserved case in Ukraine]. Kyiv : Osnova. [in Ukrainian]
4. Litopys pryrody Rivnenskoho pryrodnoho zapovidnyka [Chronicle of nature of Rivne nature reserve]. (2014). Sarny. [in Ukrainian]
5. Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Rivnenskii oblasti u 2015 r. [Regional report on the state of the environment in Rivne region in 2015]. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv. (2016). Rivne. [in Ukrainian]
6. Stetsenko, M.I., Zhevchuk, V.V. (1999) Zapovidnyky i natsionalni parky Ukrainy [Reserves and national parks of Ukraine]. Kyiv : Vyshcha shkola. [in Ukrainian]

УДК 574.5:556.531.4

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-4>

Зоряна ЛАВРИНЮК

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

ORCID: 0000-0002-1906-3330

Ольга КАРАЇМ

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

ORCID: 0000-0002-1722-4110

Любомир ГУЛАЙ

доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID: 0000-0003-3495-5027

Бібліографічний опис статті: Лавринюк, З., Караїм, О., Гулай, Л. (2021). Гідрохімічний аналіз та особливості використання поверхневих вод річки Оконка. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 24–29, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-4>

ГІДРОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ОКОНКА

В умовах сьогодення спостерігається значне зростання антропогенного впливу на басейни малих річок, що призводить до стрімкого погіршення їхнього екологічного стану. Тому необхідними є постійний аналіз і спостереження за якістю поверхневих вод, а також за особливостями їх використання з метою виявлення відхилень та захисту від негативного впливу.

Дослідження проведено на основі методів збору й аналізу статистичної та картографічної інформації, матеріалів обстеження стану басейну річки Оконка, потенціометричного та фотометричного аналізів визначення вмісту сполук нітрогену в поверхневих водах, а також на основі вивчення особливостей водокористування.

Річка Оконка протікає територією Маневицького району Волинської області. Вона належить до басейну р. Стир та є її лівою притокою першого порядку. Довжина водойми становить 30,7 км. У басейні річки розташовані два природоохоронні об'єкти: Оконські джерела та озеро Глибоцьке.

Для проведення гідрохімічних досліджень були відібрані проби води із чотирьох створів у період 2016–2018 рр: 1 – річка Оконка, 15 км від витоку; 2 – річка Оконка, гирло; 3 – річка Підгородець, гирло; 4 – річка Чернявка, гирло.

Встановлено тенденцію до збільшення вмісту нітритів у пробах води в усіх досліджуваних періодах, окрім зими 2017 р. та 2018 р. Найвищі показники спостерігалися восени, а найнижчі – взимку, проте вони були в межах норми. Водні ресурси наразі використовуються помірно. Освоєння басейну річки невисоке. В його межах розташовано 16 населених пунктів. Переважно забір води здійснюється для господарсько-питного використання та рибного господарства. Сумарна потреба у воді становить 3,907 тис. м³ на рік, а безповоротне використання – 900 тис. м³. Перевищення норм гідрохімічних показників не зафіксовано.

Помітно підвищився вміст специфічних речовин токсичної дії, хоча їхні показники норми не перевищують. Загалом екологічний стан басейну річки Оконка є задовільним.

Ключові слова: річка Оконка, поверхневі води, екологічний стан, гідрохімічні показники, раціональне використання.

Zoryana LAVRYNYUK

PhD of Chemistry, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1906-3330

Olha KARAIM

PhD of Economics, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1722-4110

Lubomir GULAY

Doctor of Science in Chemistry, Professor, Head of the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-3495-5027

To cite this article: Lavrynyuk, Z., Karaim, O., Gulay, L. (2021). Hidrokhimichniy analiz ta osoblyvosti vykorystannia poverkhnevyykh vod richky Okonka [Hydrochemical analysis and features of the use of the surface waters of the Okonka River]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 24–29, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-4>

HYDROCHEMICAL ANALYSIS AND FEATURES OF THE USE OF THE SURFACE WATERS OF THE OKONKA RIVER

In modern conditions, there is a significant increase in anthropogenic impact on the basins of small rivers, which leads to a rapid deterioration of their ecological state. Therefore, it is necessary to constantly analyze and monitor of the quality of surface waters, as well as the peculiarities of their use in order to identify deviations and protect against negative impacts.

The study was carried out on the basis of methods of collecting and analyzing statistical and cartographic information, materials from a survey of the state of the Okonka River basin, potentiometric and photometric analysis of determining the content of nitrogen compounds in surface waters, as well as studying the peculiarities of water use.

The Okonka River flows through the territory of the Manevitsky district of the Volyn region. It belongs to the river basin. Stryk and its left tributary of the first order. The length of the river is 30,7 km. There are two nature protection objects in the river basin: Okonski Dzherela and Lake Glybotske.

For hydrochemical studies, water samples were taken at four locations in the period of 2016–2018: 1 – Okonka river 15 km from the source; 2 – the Okonka river mouth; 3 – river Pidgorodets estuary; 4 – river Chernyavka estuary.

A tendency to an increase in the content of nitrites in water samples was established in all studied periods, except for the winter of 2017 and 2018. The highest rates were observed in autumn, and the lowest in winter; but they were within the normal range. Water resources are currently used sparingly. The development of the river basin is not high. Within its framework, 16 settlements are located. Basically, water is taken for household and drinking use and for fisheries. The total demand for water is 3,907 thousand m³ per year, and the irretrievable use is 900 thousand m³. Exceeding the norms of hydrochemical indicators was not recorded.

The content of specific toxic substances has noticeably increased, although their indicators do not exceed the norm. In general, the ecological state of the Okonka River Basin is satisfactory.

Key words: Okonka river, surface waters, ecological condition, hydrochemical parameters, rational use.

Актуальність проблеми. Сучасна дійсність не може зупинити процеси антропогенного навантаження на басейни малих річок, які, навпаки, з часом постійно збільшуються (Яцик, Гопчак, 2006), саме тому аналіз екологічного стану басейну річки Оконка, показників якості її поверхневих вод та раціональності їхнього використання є актуальним і своєчасним.

Вивчення хімічного складу поверхневих вод річки Оконка, що є частиною загального екологічного аналізу стану води у водоймі, дає можливість оцінити результат сукупного впливу природних та антропогенних чинників упродовж тривалого періоду, а також контролювати можливий шкідливий вплив.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблемою якості поверхневих вод Волинської області та їхньої екологічної оцінки займалися автори (Яцик, Гопчак, 2006), (Гопчак, 2006), (Джам та ін., 2020), дослідження яких проведені у контексті порівняння результатів сучас-

ного стану якості води річок із екологічними нормативами. Раціональному використанню та збереженню водних ресурсів присвячені роботи науковців (Лавринюк, Караїм, 2015). Проте вивченню екологічного стану басейну річки Оконка та якості її поверхневих вод не було приділено достатньо уваги.

Метою роботи є проведення гідрохімічного аналізу та дослідження особливостей використання поверхневих вод річки Оконка.

Виклад основного матеріалу. Річка Оконка протікає територією Маневицького району Волинської області. Вона належить до басейну р. Стир та є її лівою притокою першого порядку. Басейн водойми розташований у межах лісової зони. Довжина річки – 30,7 км, площа водозбору – 288 км², заліснення – 54,5%, заболоченість – 6,3%, розораність – 8,6%. За витік річки взято точку земної поверхні з позначкою 20,0 м абс, розміщену поблизу с. Оконськ Маневицького району.

Водойма має дві притоки – це річки Підгородець та Чернявка, загальна довжина яких становить 33,5 км. Коефіцієнт густоти мережі (без врахування річок із довжиною менше 10 км) – 0,22 км/км².

Територія басейну річки Оконка розташована в межах Волинсько-Подільської плити, на західному схилі Українського кристалічного масиву.

У системі геоботанічного районування басейн річки Оконка належить до Середньодніпровської підпровінції Східноєвропейської провінції Європейської широколистяної області. До Зеленої книги занесені високобонітетні насадження дуба звичайного, сосни та сосново-дубові насадження. Із представників Червоної книги України на території басейну водойми ростуть зозулинець салеповий та зозулинець шоломоносний.

Також тут розташовані два природоохоронні об'єкти: Оконські джерела та озеро Глибоцьке, які мають статус природоохоронних об'єктів місцевого значення. Одним із найцінніших заповідних об'єктів місцевого значення на території Маневецького району є гідрологічна пам'ятка природи «Оконські джерела» (Гопчак, 2006).

Для проведення гідрохімічних досліджень нами були відібрані проби води із чотирьох створів у період 2016–2018 рр.: 1 – річка Оконка, 15 км від витоку; 2 – річка Оконка, гирло; 3 – річка Підгородець, гирло; 4 – річка Чернявка, гирло. Відбір проб здійснювався, відповідно до методик, описаних авторами (Алекин и др., 1973), (Величко, Зеркалов, 2002), (Лурье, 1984), (Петровська, 2005), (ДСанПін 22.4-171-

10, 2010), (КНД 211.1.4.023-95, 1995), (КНД 211.1.4.030, 1995). За результатами проведених досліджень можемо стверджувати, що показники перебувають в межах норми (ДСанПін 22.4-171-10, 2010), (КНД 211.1.4.023-95, 1995), (КНД 211.1.4.030, 1995).

Усереднені результати основних гідрохімічних показників якості води річки Оконка впродовж 2016–2018 рр. наведені у табл. 1.

Порівняльна діаграма вмісту нітритів у 2016–2018 рр. наведена на рис. 1.

Упродовж досліджуваного періоду спостерігаємо незначні зміни вмісту нітритів у поверхневих водах.

За результатами проведених досліджень можемо стверджувати, що зберігається тенденція до збільшення вмісту нітритів у пробах води в усіх досліджуваних періодах, окрім зими 2017 р. та 2018 р. Упродовж визначеного періоду найвищі показники вмісту нітритів спостерігалися восени, а найнижчі – взимку, проте вони були в межах норми. Сезонні коливання нітритів характеризуються зменшенням їх узимку і появою навесні, за розкладання неживої органічної речовини. Найбільша концентрація нітритів спостерігається наприкінці літа і зумовлена їхнім зв'язком із активністю фітопланктону (доведена здатність діатомових і зелених водоростей відновлювати нітрати до нітритів).

Сучасний стан використання водних ресурсів басейну річки Оконка. Освоєння басейну річки невисоке. В його межах розташовано 16 населених пунктів. На території

Таблиця 1

**Основні гідрохімічні та бактеріологічні показники якості води річки Оконка
на період обстеження**

Показники якості води	Розмірність	Створ 1	Створ 2	Створ 3	Створ 4
Мінералізація		272,82	292,93	257,6	297,06
Головні іони:					
HCO ₃ ⁻		141,35	163,75	143,45	170,96
SO ₄ ²⁻		46,40	40,00	27,20	27,20
Cl ⁻	мг/л	15,00	15,06	17,02	14,60
Ca ²⁺		48,10	46,09	42,08	56,11
Mg ²⁺		6,08	13,38	7,03	4,86
Na ⁺ , K ⁺		17,01	13,11	19,55	16,33
Загальна твердість	мг-екв/л	2,90	3,40	2,60	3,20
Завислі речовини	мг/л	46,60	24,80	45,04	44,00
Біогенні компоненти:					
Азот амонійний NH ₄ ⁺		1,30	1,03	1,70	1,60
Азот нітритний NO ₂ ⁻	мг/л	0,016	0,056	0,056	0,058
Азот нітратний NO ₃ ⁻		0,63	0,69	0,63	0,62
Залізо загальне Fe		0,3	0,3	0,3	0,3

басейну проживає близько 9 тис. осіб. Народного господарський комплекс представлений переважно лісовим і сільським господарством. Сільськогосподарське освоєння басейну невисоке і становить 22,8%, що відповідає площі 6557 га. Рілля займає 2480 га, що складає 37,9% від усіх сільськогосподарських угідь басейну.

Водні ресурси наразі використовуються помірно. Здебільшого забір води здійснюється для господарсько-питного використання та рибного господарства. Сумарна потреба у воді становить 3,907 тис. м³ на рік, а безповоротне використання – 900 тис. м³ (табл. 2).

Стан окремих факторів природного середовища і спрямованість процесів, які при цьому виникають, обумовлюють загальну екологічну ситуацію в басейні річки Оконка, яка наразі є задовільною.

Детальна характеристика окремих процесів і явищ, що впливають на екологічний стан, наведена у табл. 3, 4.

У результаті проведених досліджень визначені лімітувальні показники шкідливості води річки Оконка (табл. 5).

Виокремлено актуальні екологічні проблеми у басейні річки Оконка, які потребують негайного вирішення:

- на території басейну функціонує та постійно збільшується кількість багатовідхідних, екологічно небезпечних промислових, комунально-побутових і сільськогосподарських підприємств, які споживають велику кількість води, характеризуються низькою раціональністю й ефективністю сучасного водокористування, відсутністю орієнтації чинних технологій виробництва на економію та охорону водних ресурсів, що призводить до зниження самоочисних властивостей річки та її виснаження;

- недостатня взаємопов'язаність планових завдань з розмірами шкоди від забруднення водних ресурсів, незадовільна їх орієнтація на кінцеві водоохоронні результати, спрямованість водоохоронних заходів на будівництво очисних споруд, а не на впровадження водозбережувальних і безвідходних технологій у виробництві.

Висновки та перспективи подальших досліджень. З'ясовано, що гідрохімічні показники води річки Оконка за досліджуваний

Таблиця 2

Використання водних ресурсів басейну річки Оконка

Басейн	Забір води, тис. м ³ на рік (з річки, ставків, підземних джерел)	Скид води, тис. м ³ на рік (у річку, на поля фільтрації, у вигреби)			Безповоротне використання, тис. м ³ на рік
		у річку	на поля фільтрації	у вигреби	
Річка Оконка (15 км)	3646	2765	33	35	807
Річка Оконка (гирло)	261	-	-	78	183
Річка Підгородець	54	-	-	16	38
Річка Чорнявка	88	-	-	26	62

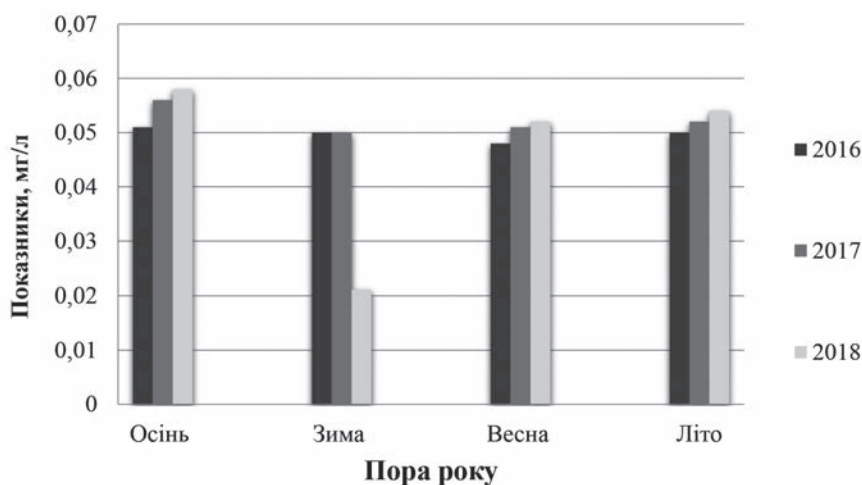


Рис. 1. Порівняльна діаграма вмісту нітритів у поверхневих водах річки Оконка за 2016–2018 рр.

Таблиця 3

Замулення русла річок і підтоплення території

Ділянка басейну	Замулення, м		Підтоплення, км	
	Кількість	Причини	Кількість	Причини
Річка Оконка (15 км від витоку)	0,1–0,3	Заростання трав'янистою рослинністю. Розораність заплави.	0,3–0,4	Підтоплення городів і низинних ділянок.
Річка Оконка (гирло)	0,1–0,3		0,3–0,4	
Річка Підгородець	0,1–0,3		0,2–0,3	
Річка Чорнявка	0,1–0,3		0,2–0,3	

Таблиця 4

Винос забруднювальних речовин із території населених пунктів, які розміщені у басейні річки Оконка

Ділянка басейну	Чисельність населення, тис. осіб	Річний об'єм поверхневого стоку, тис. м³	Винос забруднювальних речовин, г/с		
			Завислі речовини	БПК ₅	Нафтопродукти
Річка Оконка	8,7	395	9,4	0,048	0,025
Річка Підгородець	2,7	39	0,9	0,05	0,002
Річка Чорнявка	1,9	64	1,5	0,08	0,004

Таблиця 5

Лімітувальні показники шкідливості поверхневих вод річки Оконка

Ділянка басейну	Значення показників $\Sigma C/PDK$				
	Об'єкти рибогосподарського призначення		Об'єкти господарсько-питного та культурного призначення		
	Токсикологічний	Санітарно-токсикологічний	Загально-санітарний	Санітарно-токсикологічний	Органолептичний
Річка Оконка	2,28	1,05	0,57	0,089	1,13
Річка Підгородець	3,3	1,12	0,65	0,09	1,10
Річка Чорнявка	3,98	0,65	0,82	0,09	1,10

період перебувають у межах норми. Водні ресурси наразі використовуються помірно.

Таким чином, стан окремих проаналізованих нами факторів природного середовища і спрямованість процесів, що виникають при цьому, обумовлюють загальну екологічну ситуацію в басейні річки Оконка, яка сьогодні є цілком задовільною. За впливу антропогенних чинників відбувається незначне погіршення еко-

логічного стану водойми. Особливу увагу слід звернути на евтрофікацію поверхневих вод унаслідок збільшення концентрації біогенних речовин. Помітно підвищився вміст специфічних речовин токсичної дії, хоч їхні показники перебувають в межах норми.

З метою охорони та раціонального використання поверхневих вод річки Оконка контроль за їх якістю необхідно проводити періодично.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Яцик А.В., Гопчак І.В. Екологічна оцінка стану поверхневих вод Волинської області та нормування їх якості. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Київ : ВГЛ «Обрій», 2006. № 10. С. 129–135.
2. Гопчак І.В. Порівняння результатів екологічної оцінки сучасного стану якості води річок Волинської області з екологічними нормативами. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Київ : ВГЛ «Обрій», 2006. № 9. С. 148–156.
3. Джам О.А., Караїм О.А., Юхимнюк Н.О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод р. Пруднік. *Науковий вісник СНУ ім. Лесі Українки. Серія «Біологічні науки»*. 2020. № 2 (390). С. 31–37. URL: <http://www.journalbio.vnu.edu.ua/index.php/bio/article/view/499/404>.
4. Лавринюк З.В., Караїм О.А. Екологічний аудит та шляхи покращення якості води гідрологічної пам'ятки природи «Оконські джерела». *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. Харків, 2015. № 3–4 (24). С. 49–54. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5554>.

5. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопьянцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. 361 с.
6. Величко О.М., Зеркалов Д.В. Контроль забруднення довкілля. Київ : Основа, 2002. 258 с.
7. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. Москва : Химия, 1984. 448 с.
8. Петровська М.К. Охорона вод (санітарні норми і правила). Львів, 2005. 239 с.
9. ДСанПін 22.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ, 2010.
10. КНД 211.1.4.023-95. Методика визначення нітрит-іонів із реактивом Гріса в поверхневих та очищених стічних водах. Київ, 1995.
11. КНД 211.1.4.030. Методика визначення амоній-іонів із реактивом Неслера в стічних водах. Київ, 1995.

REFERENCES:

1. Jacik, A.V., Gopchak, I.V. Ecological assessment of the state of surface waters of Volyn region and standardization of their quality. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Kyiv : VGL Obrij, 2006. № 10. P. 129–135. [in Ukrainian]
2. Gopchak, I.V. Comparison of the results of ecological assessment of the current state of water quality of rivers of Volyn region with ecological standards. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Kyiv : VGL Obrij, 2006. № 9. P. 148–156. [in Ukrainian]
3. Dzham, O.A., Karaim, O.A., Yukhimnyuk, N.O. (2020) Environmental Assessment of the Surface Water Quality of the Prudnik River. *Lesia Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin Series: Biological Sciences*. No. 2 (390). P. 31–37. Retrieved from: <http://www.journalbio.vnu.edu.ua/index.php/bio/article/view/499/404>. [in Ukrainian]
4. Lavrynyuk, Z.V., Karaim, O.A. (2015) Ecological Audit and Ways of Improvement of Water Quality of Hydrological Monuments of Nature “Okonski Dzherela”. *Man and Environment. Issues of Neoecology*. Kharkiv. No. 3–4. P. 49–54. Retrieved from: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5554>. [in Ukrainian]
5. Alekin, O.A., Semenov, A.D., Skopyantsev, B.A. (2002). Manual of the chemical analysis of land waters. L. : Gidrometeoizdat, 1973. 361 p. [in Russian]
6. Velichko, O.M., Zerkalov, D.V. (2002). Pollution control. Kyiv : Osнова. 258 p. [in Ukrainian]
7. Lurie, Y.Y. (1984). Analytical chemistry of industrial waste water. M. : Khimia. 448 p. [in Russian]
8. Petrovska, M.K. (2005). Water protection (sanitary norms and rules). Lviv. 239 p. [in Ukrainian]
9. DСанPin 22.4-171-10. Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption. Kyiv, 2010. [in Ukrainian]
10. KND 211.1.4.023-95. Method of determination of nitrite-ions with Gris reagent in surface and treated waste water. Kyiv, 1995. [in Ukrainian]
11. KND 211.1.4.030. Method of determination of ammonium-ions with Nessler's reagent in waste water. Kyiv, 1995. [in Ukrainian]

УДК 541.64

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-5>

Галина МАРТИНЮК

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри екології, географії та туризму, Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Платова, 31-в, м. Рівне, Україна, 33000

ORCID: 0000-0001-6842-5601

Олена АКСІМЕНТЬЄВА

доктор хімічних наук, професор, професор кафедри фізичної та колоїдної хімії, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і Мефодія, 6/8, м. Львів, Україна, 79005

ORCID: 0000-0003-3836-9607

Микола ЯЦКОВ

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри хімії та фізики, Національний університет водного господарства і природокористування, директор, ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування», вул. Орлова, 35, м. Рівне, Україна, 33017

ORCID: 0000-0002-3854-7971

Оксана ГАКАЛО

кандидат сільськогосподарських наук, викладач, ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж Національного університету водного господарства і природокористування», вул. Орлова, 35, м. Рівне, 33017, Україна

ORCID: 0000-0001-8892-9786

Бібліографічний опис статті: Мартинюк, Г., Аксіментьєва, О., Яцков, М., Гакало, О. (2021). Кінетичні особливості синтезу й електричні властивості композитів на основі спряжених поліаміноаренів та поліакрилової або поліметакрилової кислот. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 30–38, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-5>

КІНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ Й ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІАМІНОАРЕНІВ ТА ПОЛІАКРИЛОВОЇ АБО ПОЛІМЕТАКРИЛОВОЇ КИСЛОТ

У статті наведені результати вивчення кінетичних закономірностей формування, структури, а також електричних властивостей полімерних композитів на основі поліаміноаренових сполук, синтезованих окисною полімеризацією аміноаренів (о-толуїдину або аніліну) у водних розчинах (гідрогелях) поліакрилової (ПАК) та поліметакрилової кислот (ПМАК), методом *in situ*; з'ясовано нові можливості застосування таких систем.

Досліджено вплив водорозчинних матриць поліакрилової або поліметакрилової кислот на кінетику окисної полімеризації аніліну, о-толуїдину.

За допомогою методу ІЧ-спектроскопії вивчено будову та молекулярну структуру полімерних композитів ПАН–ПАК.

На підставі вивчення електричних властивостей отриманих композитів з'ясовано, що концентраційна залежність питомої електропровідності від вмісту наповнювачів має перколяційний характер із «порогом перколяції», який залежить від природи полімерної матриці та поліаміноарену і становить 2,3–2,5% для композита ПоТІ–ПАК, 3–4% – для ПоТІ–ПМАК, 1,8% – для ПАН–ПАК і близько 2% – для ПАН–ПМАК.

З'ясовано, що наявність іон-провідних матриць поліакрилової та поліметакрилової кислот суттєво змінює кінетику полімеризації аніліну та о-толуїдину, проте не впливає на напівпровідниковий характер електропровідності та оптичного поглинання, спряжених поліаміноаренів, що дозволяє використовувати утворені композити для виготовлення нових електропровідних полімерних матеріалів.

Ключові слова: полімерні електроліти, о-толуїдин, поліанілін, поліакрилова та поліметакрилова кислоти, кінетика полімеризації, електропровідність.

Galyna MARTYNIUK

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology, Geography and Tourism, Rivne State University of the Humanities, 31 Plastova str., Rivne, Ukraine, 33000
ORCID: 0000-0001-6842-5601

Olena AKSIMENTYEVA

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor at the Department of Physical and Colloid Chemistry, Ivan Franko National University of Lviv, 6 Kyryla and Mefodia str., Lviv, Ukraine, 79005
ORCID: 0000-0003-3836-9607

Mykola YATSKOV

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor at the Department of Chemistry and Physics, National University of Water and Environmental Engineering, Director, VSP "Rivne Technical Vocational College of the National University of Water Management and Nature Management", 35 Orlova str., Rivne, Ukraine, 33017
ORCID: 0000-0002-3854-7971

Oksana GAKALO

Candidate of Agricultural Sciences, Lecturer of VSP "Rivne Technical Vocational College of the National University of Water Management and Nature Management", 35 Orlova str., Rivne, Ukraine, 33017
ORCID: 0000-0001-8892-9786

To cite this article: Martyniuk, G., Aksimentyeva, O., Yatskov, M., Gakalo, O. (2021). Kinetychni osoblyvosti syntezu y elektrychni vlastyvoli kompozytiv na osnovi spriazhenykh poliaminoareniv ta poliakrylovoi abo polimetakrylovoi kyslot [Kinetic features of synthesis and electrical properties of electrical properties of composites based on conjugated polyaminoarenes and polyacrylic or polymethacrylic acids]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 30–38, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-5>

**KINETIC FEATURES OF SYNTHESIS AND ELECTRICAL PROPERTIES
OF ELECTRICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON CONJUGATED
POLYAMINOARENES AND POLYACRYLIC OR POLYMETHACRYLIC ACIDS**

In this paper presents the results of studying the kinetic regularities of formation, structure, and electrical properties of polymer composites based on polyaminoarene compounds synthesized by oxidative polymerization of aminoarenes (o-toluidine or aniline) in aqueous solutions (hydrogels) of polyacrylic (PAA) and polymethacrylic acids (PMAA) by the in "situ" method; new possibilities of application of such systems are found out.

The influence of water-soluble PAA or PMAA matrices on the kinetics of oxidative polymerization of aniline and o-toluidine has been studied.

The structure and molecular structure of PANI–PAA polymer composites were studied by IR spectroscopy.

It is established that the kinetics of oxidative polymerization of aminoarenes (aniline, o-toluidine, etc.) in the presence of a PAA or PMAA matrix differs significantly from the polymerization of pure aminoarenes and has a complex character. The structure and structure of PANI–PAK polymer composites were studied by IR spectroscopy.

Based on the study of the electrical properties of the obtained composites, it was found that the concentration dependence of the specific electrical conductivity on the filler content has a percolation character with "percolation threshold", which depends on the nature of the polymer matrix and polyaminoarene and is 2.3–2.5% for PoT–PAA composite, 3–4% for PoT–PMAA, 1.8% for PANI–PAA and about 2% for PANI–PMAA.

The presence of ion-conducting matrices of polyacrylic and polymethacrylic acids significantly changes the polymerization kinetics of o-toluidine or aniline, but does not affect the semiconductor nature of electrical conductivity and optical absorption of conjugated polyaminoarenes, which allows the use of formed composites for the manufacture of new conductive polymeric materials.

Key words: polymer electrolytes, o-toluidine, aniline, polyacrylic and polymethacrylic acids, kinetics of polymerization, electrical conductivity, optical spectra.

Упродовж останнього десятиліття органічні провідники широко застосовуються в різних галузях науки та техніки (Аксіментьєва, 2011). На їх основі розробляють високоефективні пристрої нового типу: суперконденсатори, біосенсори, актуатори, органічні транзистори й елементи пам'яті, штучні м'язи, засоби захисту об'єктів довкілля, принцип дії яких базується на окисно-відновних властивостях електропровідних полімерів (Аксіментьєва 2011), (Feron, 2018), (Pandey, 2016). Особливу увагу сконцентровано на одержанні нових плівкових композиційних матеріалів із електропровідними, оптичними та іншими властивостями.

Відомі електропровідні полімери: поліанілін (далі – ПАН), поліортотолуїдин (далі – ПоТІ), поліортоанзідін (далі – ПоА), що мають систему спряжених зв'язків, у вільному стані не утворюють плівку, демонструють обмежену розчинність, мають низьку міцність і відсутність еластичності. З таких матеріалів важко формувати механічно стійкі, еластичні плівки, а також електродні матеріали з дуже розвинутою поверхнею контакту полімеру з електролітом. Регулювати фізико-хімічні властивості струмопровідних полімерних композитів можна за допомогою створення нових композиційних матеріалів на основі електропровідного полімерного наповнювача і водорозчинного матричного полімеру (Євчук, 2012).

Поліанілін та його похідні завдяки хімічній стабільності, простоті синтезу можуть бути використані як електропровідні полімерні наповнювачі (Аксіментьєва, 1998).

Серед великої кількості полімерних матриць для електропровідних зв'язуючих особливе місце займають іонні гідрогельні полімерні сполуки: поліакрилова (далі – ПАК) та поліметакрилова (далі – ПМАК) кислоти, завдяки своїй тривимірній сітчасто-зшитій структурі з цікавими плівкоутворювальними властивостями, здатності утворювати з аміноаренами досить стійкі молекулярні комплекси, відігравати роль легувальних агентів спряженого полімерного ланцюга (Євчук, 2012), (Ноа, 2008), (Ahn, 2014), (Nomma, 2012).

Проте інформації про механізм та кінетичні особливості утворення композитів поліаміноарен – водорозчинна полімерна матриця в літературі не досить.

У роботі вивчено кінетичні закономірності формування, структуру, а також електричні властивості полімерних композитів на основі поліаренових сполук і водорозчинних полімерних матриць-гідрогелів (ПАК, ПМАК); з'ясовано нові можливості застосування таких систем.

Синтез полімерних композитів поліаміноарен – поліакрилова або поліметакрилова кислоти здійснювали за допомогою окисної полімеризації *in situ*, згідно з відомою методикою (Ноа, 2008), (Мамуня, 2013), за умови, коли спряжений електропровідний полімер синтезується безпосередньо в розчині полімерної матриці, що зумовлює рівномірну взаємодію полімерної матриці та наповнювача. Однак шар полімеру, що утворюється навколо поверхні наповнювача, перешкоджає виникненню контактів між ними, знижуючи провідність композитів.

Поліакрилову і поліметакрилову кислоти синтезували радикальною полімеризацією відповідних мономерів у водному розчині або в органічних розчинниках за присутності радикальних ініціаторів.

Реакційна суміш містила поліметакрилову або поліакрилову кислоту, мономерну сполуку (анілін, *o*-толуїдин), окисник – амоній пероксодисульфат, які розчиняли в 0,5 М розчині сульфатної кислоти і витримували за 293 К впродовж 2 годин. У результаті утворювалися забарвлені полімерні дисперсії, стабільні до осідання впродовж кількох місяців, колір яких залежав від концентрації мономера. За невеликого вмісту ПАН утворювалося темно-зелене забарвлення, властиве електропровідній формі поліаміноарену (емеральдину), а за великих концентрацій мономера – зелено-синє забарвлення. Плівкові композити виливали на поверхню скла або тефлону, витримували за температури 323–333 К і спостерігали утворення полімер-полімерних композитів у вигляді гнучких, прозорих плівок, які зумовлені наявністю матриць ПАК і ПМАК (Ноа, 2008), (Аксіментьєва, 2017).

Вивчення кінетики окисної полімеризації аніліну та *o*-толуїдину в розчинах ПАК і ПМАК різної концентрації проводили за інтервалу температур 323–333 К, використовуючи спектрофотометр СФ-46, фіксуючи зміну оптичної густини реакційної системи за довжини хвилі 760 нм. Утворені кінетичні криві зображено на рис. 1, 2.

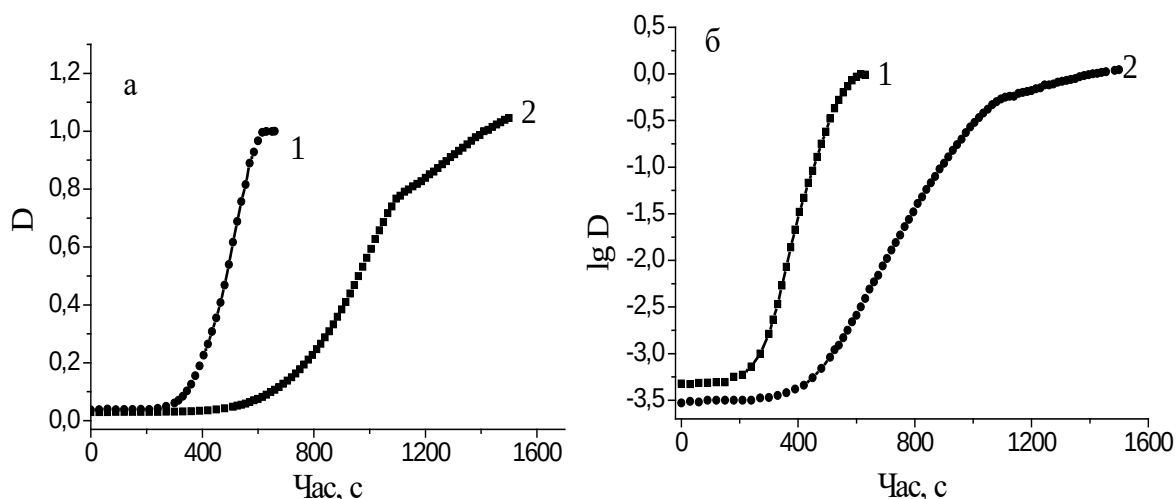


Рис. 1. Залежність оптичної густини (а) та логарифма оптичної густини (б) реакційної суміші від часу. Концентрація аніліну та окисника – $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/екв.л, розчинник – 0,5 М H_2SO_4 (1); за окиснення аніліну в матриці ПАК (2)

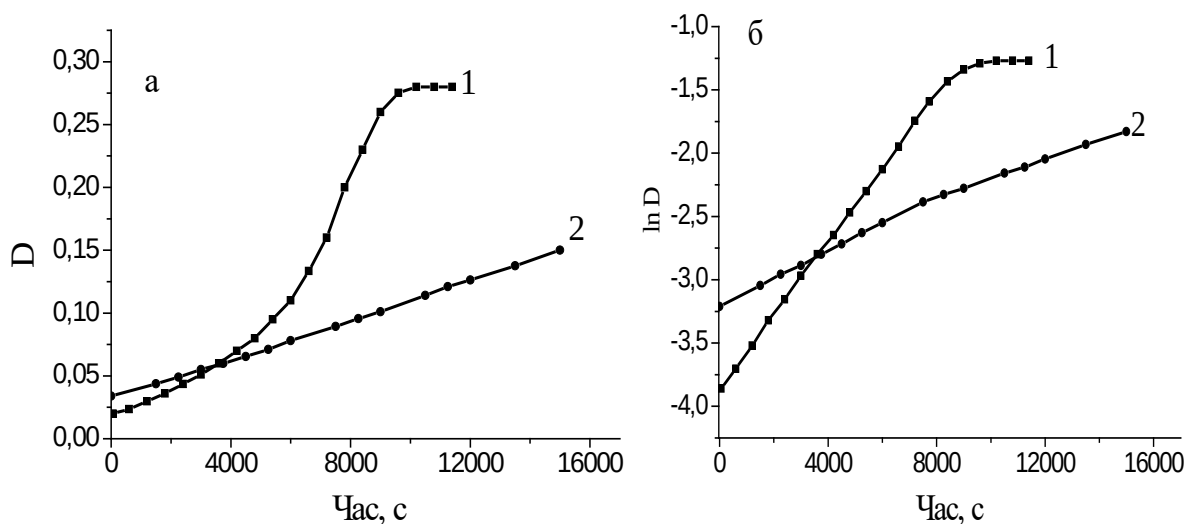


Рис. 2. Залежність оптичної густини (а) та логарифма оптичної густини (б) реакційної суміші від часу полімеризації 0,1 М розчину *o*-толуїдину під дією еквімолярної кількості окисника $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ в 0,5 М розчині H_2SO_4 (1); за окиснення *o*-толуїдину за наявності 0,07% розчину ПАК (2)

Кінетика окисної полімеризації аміноаренів (аніліну, *o*-толуїдину тощо) за наявності матриці ПАК або ПМАК суттєво відрізняється від полімеризації чистих аміноаренів і має складний характер.

За наявності ПАК у реакційному розчині ПАН–ПАК можна відзначити більш полого зміну нахилу і чітко виділити три ділянки кривої (див. рис. 1 а). На першій – чітко відстежується збільшення індукційного періоду з 300 до 650 секунд та, відповідно, й оптичної густини.

Потім йде перехідна ділянка, а далі оптична густина різко зростає (кінцева ділянка кривої). Полімеризація аніліну має ознаки автокаталітичного процесу, зокрема після порівняно повільної зміни оптичної густини (D) впродовж 60–70 хвилин відбувається різке її збільшення внаслідок перебігу реакції полімеризації з великим прискоренням (Аксіментьєва, 2011).

Згідно з рис. 2 а (крива 2) введення навіть невеликих кількостей ПАК до реакційної суміші суттєво змінює кінетику полімеризації

o-толуїдину. Спостерігається рівномірне накопичення ПоТІ, що виражається у майже лінійній залежності зміни оптичної густини від часу (див. рис. 2 а). Представлення початкових ділянок кінетичних кривих у координатах рівняння першого порядку $\ln D-t$ (див. рис. 2 б) дає змогу оцінити константи швидкості полімеризації ПоТІ за різних умов. Виявлено, що константа швидкості на початковій ділянці окиснення *o*-толуїдину становить $(2,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, тоді як за наявності 0,07% ПАК зменшується до $(1,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$.

Для пояснення ефекту гальмування швидкості реакції окисного сполучення *o*-толуїдину в матриці ПАК запропоновано кілька версій. Так, полімерна матриця ПАК може зумовити зростання в'язкості системи. В результаті дифузії молекул зменшується, тому і швидкість реакції ініціювання знижується. Однак для досить повільних процесів, про що свідчить значення константи швидкості порядку 10^{-4} c^{-1} , таке припущення малоімовірне. З іншого боку, можливо, спостерігається взаємодія мономера з кислотними групами макроланцюгів ПАК. Це зумовить зміну просторової орієнтації молекул, а також спричинить їх закріплення на поверхні фібрил, зменшуючи їхню окисну здатність.

Для вивчення морфології композитів, отриманих у результаті окиснення *o*-толуїдину та аніліну в розчині ПАК або ПМАК, формували плівкові зразки товщиною до 0,5 мм на поверхні предметного скла за допомогою поливу поліме-

ризаційної суміші та її монолітизації впродовж 48 годин на повітрі та 4–6 годин у термостаті за 323–333 К. Утворені полімерні композитні плівки (рис. 3) з різним вмістом аміноарену та окисника досліджували, використовуючи оптичну мікроскопію – мікроскоп «Micromed» і цифрову фотокамеру «Nicon-2500» (збільшення в 600 і 1200 разів).

Сформовані композиційні плівки ПоТІ–ПАК мають світло-зелене забарвлення, властиве електропровідній формі поліаміноарену (емеральдину), та певну прозорість, зумовлену наявністю матриці ПАК. Під час дослідження морфології плівки в оптичному мікроскопі можна спостерігати доволі рівномірний розподіл ПоТІ в матриці ПАК.

Структуру композита ПАН–ПАК досліджували за допомогою методу ІЧ-спектроскопії (Мартинюк, 2021). Встановлено, що в спектрі гідрогелю композита ПАН–ПАК присутні смуги поглинання в ділянці $1080\text{--}1100 \text{ cm}^{-1}$, що вказує на наявність ПАН у гідрогелі ПАК у провідній (сольовій) формі. Наявність у спектрі досліджуваних зразків смуг поглинання в ділянці $1540\text{--}1550 \text{ cm}^{-1}$ і 1490 cm^{-1} свідчить про присутність хіноїдних і бензенових кілець, відповідно. А збережена смуга поглинання карбоксильної групи ПАК в ділянці 1700 cm^{-1} означає, що ПАН в отриманому гідрогелі перебуває у вигляді солі хлоридної кислоти, яка в цьому випадку і є допантом. Ці результати добре узгоджуються з результатами інших досліджень

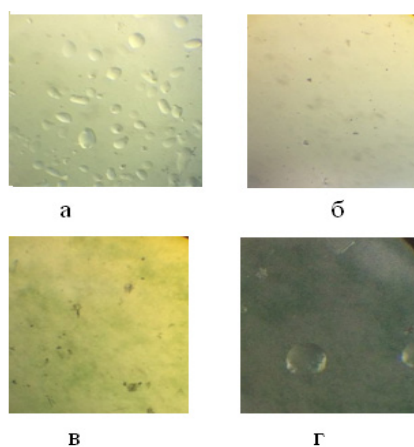


Рис. 3. Морфологія отриманих плівкових композитів ПАН–ПМАК методом оптичної мікроскопії за вмісту ПАН: а) 18,75%; б) 14,3%; в) 8,3%; г) розчин ПМАК

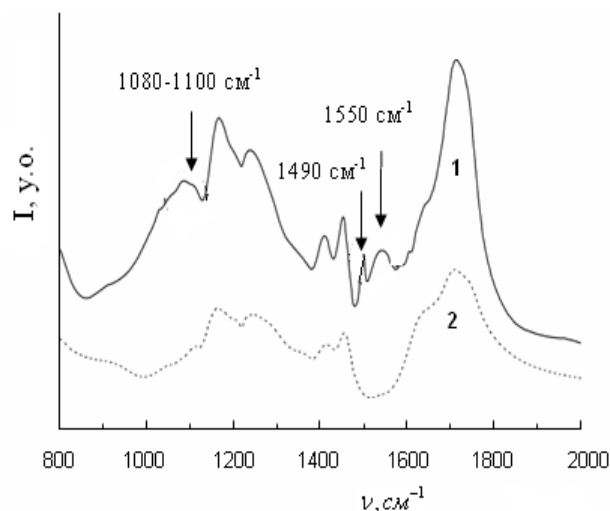


Рис. 4. ІЧ-спектри композита ПАН–ПАК (1) і ПАК (2) (Мартинюк, 2021)

(Власов, 2012), (Ельяшевич, 2016), вказуючи на утворення емеральдинової форми ПАН. Відсутність плато провідності в ІЧ-спектрі зразків ПАН-ПАК свідчить про невелику довжину ланцюга спряження синтезованого електропровідного полімеру. Отже, гідрогель ПАК впливає на процес полімеризації полімерного наповнювача ПАН, зумовлюючи зростання розгалужень, які порушують компланарність кілець поліанілінового ланцюга (Власов, 2016).

Вивчено вплив іонних полімерних матриць – поліакрилової та поліметакрилової кислот – на електричні властивості їхніх композитів із поліаніліном або поліортотолуїдином (Євчук, 2012), (Mazrouaа, 2011), (Лисенко, 2011).

Питома електропровідність досліджуваних зразків у вигляді спресованих таблеток вимірювали в спеціально сконструйованій комірці за допомогою двохелектродного методу (Мартинюк, 2008).

Встановлено, що електропровідність полімер-полімерних композитів за однакового наповнення залежатиме від розміру частинок, однорідного розподілу електропровідного наповнювача в полімерній матриці, характеру взаємодії компонентів провідної і непровідної фаз.

Питомий опір чистих матриць ПАК та ПМАК є досить високим і становить $\rho = 10^{14} - 10^{15}$ Ом·м, а за наявності малих концентрацій поліаміноарену – різко зменшується. В результаті питома провідність зростає, відповідно, на 8–10 порядків. Зі збільшенням концентрації поліаміноарену питома провідність ($\sigma = 1/\rho$) спочатку зростає, досягаючи максимуму за вмісту ПоТІ: 1) 5,5–6,0% ПоТІ-ПАК; 2) 7–8% ПоТІ-ПМАК (рис. 5), після чого зменшується.

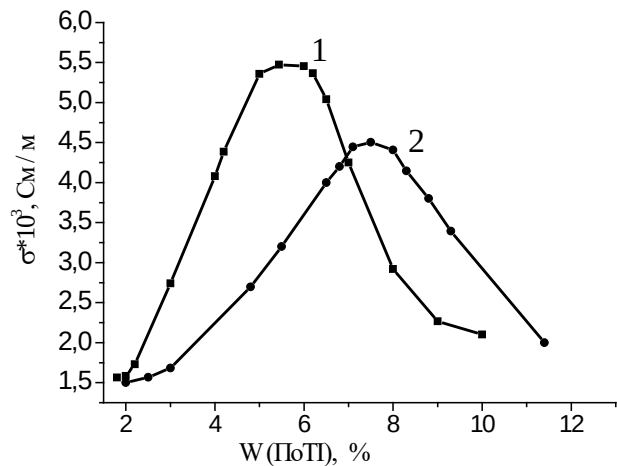


Рис. 5. Залежність питомої електропровідності композита ПоТІ-ПАК (1) та ПоТІ-ПМАК (2) від вмісту ПоТІ

Імовірно, що за такого вмісту електропровідного компонента в композиті забезпечена належна взаємодія між частинками. Зменшення провідності в разі зростання вмісту полімерного наповнювача пов'язане з погіршенням механічних властивостей композита, оскільки спряжений полімер чинить розпушувальну дію, зумовлюючи розрихлення структури композита аж до втрати монолітності.

Вигляд залежності логарифма питомої провідності плівок утворених композитів від вмісту полімерного наповнювача (див. рис. 6) свідчить про перколяційний характер провідності в досліджуваних композитах уже за вмісту спряженого полімеру в 2,3–2,5% для композита ПоТІ-ПАК, 3–4% – для ПоТІ-ПМАК, 1,8% – для ПАН-ПАК і близько 2% – для

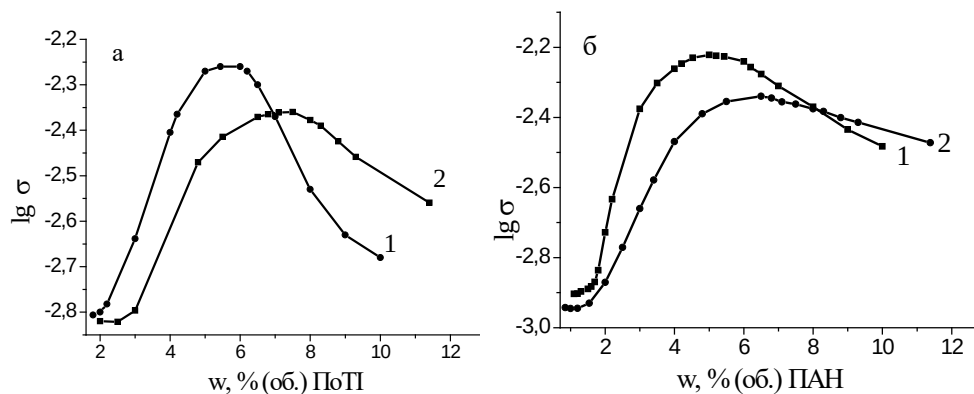


Рис. 6. Залежність логарифма питомої електропровідності для композита: (а) ПоТІ-ПАК (1), ПоТІ-ПМАК (2) від вмісту ПоТІ; (б) для ПАН-ПАК (1), ПАН-ПМАК (2) від вмісту ПАН

ПАН–ПМАК, причому провідність зростає на кілька (6–8) десяткових порядків.

Такі низькі значення порога перколяції характерні для композитів із електропровідною полімерною фазою. Можна припустити, що при цьому утворюється неперервна електропровідна полімерна матриця з рівномірним її розподілом в об'ємі полімерного композита (Аксіментьєва, 2004). Формування полімер-полімерних композитів ПАН та ПоТІ з іон-провідними матрицями ПАК або ПМАК у деяких випадках призводить до зростання питомої провідності у 1,5–2 рази, порівняно з полімером, синтезованим без ПАК або ПМАК. Отже,

полімерні електроліти є додатковими легувальними агентами спряжених поліаміноаренів (ПАН, ПоТІ) (Aksimentyeva, 2010).

Отримані результати підтверджують думку інших авторів (Власов, 2016), (Bhadra, 2019), що наявність іон-провідних (водорозчинних полімерних) матриць не призводить до зміни напівпровідникового характеру електропровідності, властивого електропровідним композитам на основі спряжених поліаміноаренів, а забезпечується значення питомої провідності на рівні 10^{-3} см/м, яке дозволяє розширити сферу використання утворених полімерних композитів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І., Ціж Б.Р. Гнучкі елементи оптичних сенсорів на основі спряжених полімерних систем. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2011. № 2. С. 39–44.
2. Feron K., Lim R., Sherwood C. et al. Organic Bioelectronics: Materials and Biocompatibility. *J Mol. Sci.* 2018. No. 19 (8). P. 2382. DOI: 10.3390/ijms19082382.
3. Pandey S. Highly sensitive and selective chemiresistor gas/vapor sensors based n polyaniline nanocomposite: A comprehensive review. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2016. Vol. 1. Issue 4. P. 431–453. DOI: 10.1016/j.jsamd.2016.10.005.
4. Євчук О.В., Аксіментьєва О.І., Горбенко Ю.Ю. Оптичні та електричні властивості композитів спряжених поліаміноаренів із полімерними електролітами. *Вісник Львівського університету. Серія хімічна*. 2012. Вип. 53. С. 352–356.
5. Аксіментьєва О.І. Електрохімічні методи синтезу та провідність спряжених полімерів. Львів : Світ, 1998. 153 с.
6. Hoa C.H., Liub C.D., Hsieh C.H. et al. High dielectric constant polyaniline/poly(acrylic acid) composites prepared by in situ polymerization. *Synthetic Metals*. 2008. Vol. 158. P. 630–637.
7. Ahn S.Y., An J.Lee. Review. Recent application developments of water-soluble synthetic polymers. *J. Ind. Eng. Chem.* 2014. № 20 (6). P. 3913–3918. DOI: 10.1016/j.jiec.2014.01.006.
8. Homma T., Kondo M., Kawahara T. et al. Electrochemical polymerization of aniline in the presence of poly(acrylic acid) and characterization of the resulting films. *Polymer*. 2012. Vol. 53. P. 223–228. DOI: 10.1016/j.polymer.2011.11.038.
9. Мамуна Є.П., Юрженко М.В., Лебедев Є.В. та ін. Електроактивні полімерні матеріали. Київ : Альфа Реклама, 2013. 402 с.
10. Аксіментьєва О.І., Ціж Б.Р., Чохань М.І. Сенсори контролю газових середовищ у харчовій промисловості та довікільі : монографія. Львів : Піраміда, 2017. 284 с
11. Мартинюк Г.В., Аксіментьєва О.І. Дослідження структури полімерних плівок на основі полімерних гідрогелів та поліаніліну методом ІЧ-спектроскопії : збірник наук. праць XVIII наук. конф. «Львівські хімічні читання-2021», м. Львів, 31 травня – 2 червня 2021 р. Львів : Видавництво від А до Я, 2021. Ф 1.
12. Власов П.В., Смирнов М.А., Боброва Н.В. и др. Синтез композиционных систем на основе сшитой полиакриловой кислоты и изучение их химической структуры методом ИК-спектроскопии. *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. 2012. Т. 17. № 3. С. 11–14.
13. Ельяшевич Г.К., Дмитриев И.Ю., Власов П.В. и др. Электроактивные гидрогели на основе сшитых полиакрилатов и проводящих полимеров : сборник трудов VI Всероссийской конференции «Физикохимия процессов переработки полимеров», 3–7 октября 2016 г. Иваново, 2016. С. 48.
14. Власов П.В. Электроактивные композиционные системы на основе полианилина и гидрогелей полиакриламида и полиакриловой кислоты : автореф. ... дисс. канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2016. 124 с.
15. Mazrouaa A.M., Abed M.Y., Mansour N.A. et al. Synthesis and Characterization of Poly-o-Anisidine Nanoparticles and their Nanocomposite. *J. Mat. Sci. Eng.* 2011. № 01 (01). DOI: 10.4172/2169-0022.1000103.
16. Лисенко Е.А., Клепко В.В. Нанокompозитні полімерні електроліти: структура та властивості. *Полімерний журнал*. 2011. Т. 33. № 4. С. 307–315.
17. Мартинюк Г.В. Фізико-хімічні властивості композитів спряжених поліаміноаренів із діелектричними полімерними матрицями : дис. ... канд. хім. наук : 02.00.04. Львів, 2008. 139 с.

18. Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І., Українець А.М. та ін. Анізотропія провідності та перколяційні явища в плівкових композитах спряжених поліаміноаренів із полівініловим спиртом. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2004. Т. 5. № 1. С. 142–146.

19. Aksimentyeva O.I., Konopelnyk O.I. et al. Interaction of component and congaivity polyaniline-polymethylmethacrylate nanocomposites. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2010. Vol. 23. P. 30–34.

20. Bhadra J., Al-Thani N. Advances in blends preparation based on electrically conducting polymer. *Emergent Materials*. 2019. Vol. 2. P. 67–77.

REFERENCES:

1. Aksimentyeva, O.I., Konopelnyk, O.I., Tsizh, B.R. et al. (2011) Hnuchki elementy optychnykh sensoriv na osnovi spriazhenykh polimernykh system [Flexible elements of optical sensors based on conjugate polymer systems]. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. No. 2. P. 39–44.

2. Feron, K., Lim, R., Sherwood, C. et al. Organic Bioelectronics: Materials and Biocompatibility. *J Mol. Sci.* 2018. No. 19 (8). P. 2382. DOI: 10.3390/ijms19082382.

3. Pandey, S. Highly sensitive and selective chemiresistor gas/vapor sensors based n polyaniline nanocomposite: A comprehensive review. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2016. Vol. 1. Issue 4. P. 431–453. DOI: 10.1016/j.jsamd.2016.10.005.

4. Yevchuk, O.V., Aksimentyeva, O.I., Horbenko, Yu.Yu. (2012) Optychni ta elektrychni vlastyvoli kompozytiv spriazhenykh poliaminoareniv z polimernymy elektrolitamy [Optical and electrical properties of composites of conjugated polyaminoarenes with polymer electrolytes]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya khimichna. [Bulletin of Lviv University. Chemical series]*. No. 53. P. 352–356. [in Ukrainian]

5. Aksimentyeva O.I. (1998) Elektrokhimichni metody syntezu ta providnist spriazhenykh polimeriv [Electrochemical methods of synthesis and conductivity of conjugated polymers]. Lviv : Svit. 153 p. [in Ukrainian]

6 Hoa, C.H., Liub, C.D., Hsieha, C.H. et al. High dielectric constant polyaniline/poly(acrylic acid) composites prepared by in situ polymerization. *Synthetic Metals*. 2008. Vol. 158. P. 630–637.

7. Ahn, S.Y., An, J.Lee. Review. Recent application developments of water-soluble synthetic polymers. *J. Ind. Eng. Chem.* 2014. No. 20 (6). P. 3913–3918. DOI: 10.1016/j.jiec.2014.01.006.

8. Homma, T., Kondo, M., Kawahara, T. et al. Electrochemical polymerization of aniline in the presence of poly(acrylic acid) and characterization of the resulting films. *Polymer*. 2012. Vol. 53. P. 223–228. DOI: 10.1016/j.polymer.2011.11.038.

9. Mamunia, Ye.P., Yurzhenko, M.V., Lebediev, Ye.V. ta in. (2013) Elektroaktyvni polimerni materialy [Electroactive polymeric materials]. Kiyv : Alfa Reklama. 402 p. [in Ukrainian]

10. Aksimentyeva, O.I., Tsizh, B.R., Chokhan, M.I. (2017) Sensory kontroliu hazovykh seredovyshch u kharchovii promyslovosti ta dovkilli : monohrafiia. [Sensors for control of gaseous media in the food industry and the environment : a monograph]. Lviv : Pyramida. 284 p. [in Ukrainian]

11. Martyniuk G.V., Aksimentyeva O.I. (2021) Doslidzhennia struktury polimernykh plivok na osnovi polimernykh hidroheliv ta polianilinu metodom ICh-spektroskopii : zbirnyk nauk. prats XVIII nauk. konf. “Lvivski khimichni chytannia-2021”. [Investigation of the structure of polymer films based on polymer hydrogels and polyaniline by IR spectroscopy]. Collection of scientific works: XVIII scientific conference “Lviv chemical readings-2021”. Lviv : Vydavnytstvo vid A do Ya. F 1. [in Ukrainian]

12. Vlasov, P.V., Smirnov, M.A., Bobrova, N.V. et al. (2012) Sintez kompozitsionnykh sistem na osnove sshitoy poliakrilovoy kisloty i izuchenie ih himicheskoy struktury metodom IK-spektroskopii. [Synthesis of composite systems based on crosslinked polyacrylic acid and study of their chemical structure by IR spectroscopy]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tehnologiya legkoy promyshlennosti [Proceedings of higher educational institutions. Light industry technology]*. No. 17 (3). P. 11–14. [in Russian]

13. Elyashevich, G.K., Dmitriev, I.Yu., Vlasov, P.V. (2016) Elektroaktivnyie gidrogeli na osnove sshitykh poliakrilatov i provodyaschih polimerov : sbornik trudov VI Vserossiyskoy konferentsii “Fizikohimiya protsessov pererabotki polimerov” [Electroactive hydrogels based on crosslinked polyacrylates and conductive polymers. Proceedings of the VI All-Russian Conference “Physico-chemistry of Polymer Processing Processes”]. Ivanovo. 48 p. [in Russian]

14. Vlasov, P.V. (2016) Elektroaktivnyie kompozitsionnyie sistemy na osnove polianilina i gidrogeley poliakrilamida i poliakrilovoy kisloty [Electroactive composite systems based on polyaniline and polyacrylamide and polyacrylic acid hydrogels]. *Ph.D. Thesis*. Sankt-Peterburg. [in Russian]

15. Mazrouaa, A.M., Abed, M.Y., Mansour, N.A. et al. Synthesis and Characterization of Poly-o-Anisidine Nanoparticles and their Nanocomposite. *J. Mat. Sci. Eng.* 2011. No. 01 (01). DOI: 10.4172/2169-0022.1000103.

16. Lysenko, E.A., Klepko, V.V. (2011) Nanokompozytni polimerni elektrolity: struktura ta vlastyvoli [Nanocomposite polymer electrolytes: structure and properties]. *Polimernyi zhurnal*. No. 33 (4). P. 307–315. [in Ukrainian]

17. Martyniuk, G.V. (2008) Fizyko-khimichni vlastyvoli kompozytiv spriazhenykh poliaminoareniv z dielektrychnymy polimernymy matrytsiamy [Physico-chemical properties of composites of conjugated polyaminoarenes with dielectric polymer matrices]. *Ph.D. of chemical sciences*. Lviv National University, Lviv. [in Ukrainian]
18. Aksimentyeva, O.I., Konopelnyk, O.I., Ukrainets, A.M. ta in. (2004) Anizotropiia providnosti ta perkoliatsiini yavlyshcha v plivkovykh kompozytakh spriazhenykh poliaminoareniv z polivinilovym spyrtom [Conduction anisotropy and percolation phenomena in film composites of conjugated polyaminoarenes with polyvinyl alcohol]. *Fizyka i khimiia tverdoho tila*. No. 5 (1). P. 142–146. [in Ukrainian]
19. Aksimentyeva, O.I., Konopelnyk, O.I. et al. Interaction of component and conductivity polyaniline-polymethylmethacrylate nanocomposites. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2010. Vol. 23. P. 30–34.
20. Bhadra, J., Al-Thani, N. Advances in blends preparation based on electrically conducting polymer. *Emergent Materials*. 2019. Vol. 2. P. 67–77.

УДК 664.34:678.048

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-6>

Лариса МАРУШКО

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Елла КАДИКАЛО

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

ORCID: 0000-0002-5613-1662

Микола ЛУКАЩУК

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

ORCID: 0000-0001-9177-7808

Бібліографічний опис статті: Марушко, Л., Кадикало, Е., Лукащук, М. (2021). Антиоксидантна дія екстрактів із лікарських рослин родини *Ericaceae* на стабільність харчових олій та олійних емульсій у процесі їх зберігання. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 39–44, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-6>

**АНТИОКСИДАНТНА ДІЯ ЕКСТРАКТІВ ІЗ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН РОДИНИ
ERICACEAE НА СТАБІЛЬНІСТЬ ХАРЧОВИХ ОЛІЙ ТА ОЛІЙНИХ ЕМУЛЬСІЙ
У ПРОЦЕСІ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ**

Метою роботи було виявлення антиоксидантного ефекту екстрактів із лікарських рослин родини *Ericaceae*: брусниці звичайної (*Vaccinium vitis-idaea* L.), буяхів (*Vaccinium uliginosum* L.), журавлини болотної (*Oxycoccus* Hill L.), чорниці звичайної (*Vaccinium myrtillus* L.), на окиснювальну стабільність харчових олій та олійних емульсій (основи майонезів).

Об'єктом дослідження стала олія соняшникова та емульсія на основі цієї олії. Для їхньої стабілізації використовували олійні, водні та водно-спиртові екстракти із пагонів брусниці, буяхів, журавлини і чорниці. Для визначення антиоксидантного ефекту обраховували пероксидне число екстрактів і контрольного зразка. Такі дослідження є актуальними, оскільки антиоксидантна дія фітоекстрактів брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної, чорниці звичайної є маловивченою, порівняно з іншими представниками родини Вересових.

Визначення ступенів інгібування процесу окиснення олії соняшникової за додавання олійних екстрактів показало, що екстракти чорниці та журавлини мають сильний антиоксидантний ефект (ступені інгібування 57% і 51%, відповідно), екстракт брусниці володіє середнім антиоксидантним ефектом (35%), екстракт буяхів виявляє слабкий антиоксидантний ефект (21%).

Обрахувавши відсоток інгібування процесу окиснення емульсії на основі олії соняшникової за додавання водних фітоекстрактів, встановлено, що водні екстракти чорниці та журавлини виявляють середній антиоксидантний ефект (41% та 37%, відповідно), водні екстракти брусниці та буяхів мають слабкий антиоксидантний ефект (24% і 15%, відповідно).

За використання водно-спиртових фітоекстрактів для приготування емульсії на основі олії соняшникової встановлено, що ступінь інгібування процесу окиснення в усіх випадках є децю вищим, ніж за використання водних фітоекстрактів, а саме: водно-спиртовий екстракт чорниці виявляє сильний антиоксидантний ефект (53%), водно-спиртові екстракти журавлини та брусниці мають середній антиоксидантний ефект (46% і 32%, відповідно), водно-спиртовий екстракт буяхів чинить слабкий антиоксидантний ефект (19%).

Ключові слова: природні антиоксиданти, пероксидне число жиру, зберігання олій.

Larysa MARUSHKO

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

ORCID: 0000-0002-8373-6747

Ella KADYKALO

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

ORCID: 0000-0002-5613-1662

Mykola LUKASHCHUK

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

ORCID: 0000-0001-9177-7808

To cite this article: Marushko, L., Kadykalo, E., Lukashchuk, M. (2021). Antyoksydantna diia ekstraktiv z likarskykh roslyn rodyny Ericaceae na stabilnist kharchovykh olii ta oliynykh emulsii u protsesi yikh zberihannia [Antioxidant effect of extracts from medicinal plants of the family *Ericaceae* on the stability of food oils and oil emulsions during storage]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 39–44, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-6>

**ANTIOXIDANT EFFECT OF EXTRACTS FROM MEDICINAL PLANTS
OF THE FAMILY ERICACEAE ON THE STABILITY OF FOOD OILS
AND OIL EMULSIONS DURING STORAGE**

*The aim of the study was to identify the antioxidant effect (AE) of extracts from medicinal plants of the family Ericaceae: lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.), buoy (*Vaccinium uliginosum* L.), cranberry (*Oxycoccus* Hill L.), blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) on the oxidative stability of food oils and oil emulsions (mayonnaise base).*

The object of the study was sunflower oil and an emulsion based on this oil. Oil, water and water-alcohol extracts from shoots of lingonberries, buoys, cranberries and blueberries were used to stabilize them. Peroxide number of extracts and control sample were determined to establish AE. Such studies are relevant because the antioxidant effect of phytoextracts of lingonberry, buoys, cranberry, blueberry is little studied in comparison with other members of the Ericaceae family.

Determination of the degree of oxidation inhibition of sunflower oil with the addition of oil extracts showed that the extracts of blueberries and cranberries show strong AE (inhibition degree of 57% and 51%, respectively), lingonberry extract has medium AE (35%), buoy extract shows a weak AE (21%).

After calculating the inhibition degree of the oxidation process of the emulsion based on sunflower oil with the addition of aqueous phytoextracts, it was found that aqueous extracts of blueberries and cranberries show average AE (41% and 36%, respectively), aqueous extracts of lingonberry and buoys have weak AE (24% and 15%, respectively).

Using water-alcohol phytoextracts in sunflower oil emulsions, it was found that the inhibition degree of the oxidation process in all cases is slightly higher than when using aqueous phytoextracts, namely blueberry extract shows strong AE (53%), extracts of cranberries and lingonberry have average AE (46% and 32%, respectively), extract of buoys has weak AE (19%).

Key words: natural antioxidants, peroxide number of fat, storage of oils.

Актуальність проблеми. Важливим питанням, яке виникає під час розробки будь-якого харчового продукту з сировини, що містить велику кількість поліненасичених жирних кислот (далі – ПНЖК), є його стабілізація, захист лабільних сполук від окиснення. Одним із таких продуктів і водночас сировиною для виробництва інших харчових продуктів є рослинні олії, які відіграють надзвичайно важливу роль у щоденному харчуванні людини, забезпечуючи її організм 50–60% добової потреби жирів

та енергії. Відомо, що ω -3 і ω -6 ПНЖК, які містяться в рослинних оліях, нестійкі і мають високий ступінь окиснення та деградації в умовах виробництва і зберігання рослинних олій. Окиснення ПНЖК погіршує якість продуктів: з'являються неприємні запах і смак, знижується біологічна цінність через зменшення вмісту ω -3 жирних кислот. Для запобігання окиснювальному псуванню харчових жирів пропонують використовувати різноманітні антиоксиданти (синтетичні або натуральні).

До них належать речовини фенольної природи: бутилгідроксианізол (далі – БОА), бутилгідрокситолуол (далі – БОТ), дигідрокверцетин, різні форми токоферолів (α -, γ -, δ -токоферол), а також аскорбінова, лимонна, молочна, галова, ортофосфатна кислоти та їх солі.

Однак навіть із застосуванням антиоксидантів термін придатності продуктів не може бути збільшений на тривалий період, оскільки кількість внесених антиокисних домішок обмежена з міркувань безпеки. Використання перевищеної рекомендованої дози антиоксидантів (0,02% для БОА, БОТ) становить небезпеку для здоров'я людини. Деякі штучні антиоксиданти є алергенами. Ортофосфатна кислота може бути причиною порушення кальцієво-фосфорного балансу в організмі, негативно впливати на травлення, викликати захворювання шлунково-кишкового тракту. Цитрати також не рекомендовані людям із алергією. Тому існує необхідність розробки нових способів стабілізації харчових олій і продуктів на їх основі, а також поліпшення їхніх споживчих властивостей.

Речовинами, що виявляють значну антиоксидантну дію, є екстракти рослин. Вони знаходять застосування у виробництві харчових продуктів, виконуючи одночасно роль смакових й ароматичних добавок. Екстракти рослин із антиоксидантними властивостями є екологічно чистими домішками, не мають негативних побічних реакцій і забезпечують необхідний ефект уже за внесення невеликих кількостей.

Отже, вибір природних інгібіторів для підвищення окиснювальної стабільності харчових олій та олійних емульсій (основи майонезів), а також вивчення їхнього впливу на органолептичні характеристики і збереження ненасичених жирних кислот є нагальними питаннями.

Антиоксидантна дія екстрактів рослин брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної, чорниці звичайної є маловивченою, порівняно з іншими представниками родини Вересових, а отже, такі дослідження є актуальними і дозволяють оцінити ступінь ефективності цих екстрактів для запобігання окиснювальному псуванню олій соняшникової та продуктів, виготовлених на її основі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Через хімічну нестабільність ω -3 і ω -6 ПНЖК у процесі виробництва та зберігання олій утворюються речовини, які погіршують якісні

характеристики й можуть завдати шкоди здоров'ю людини. З огляду на це постала проблема збереження якості харчових олій, що полягає у захисті ліпідів від окиснення.

Численні дослідження довели перспективне використання рослинних антиоксидантів із високим ефектом стабілізації. Переважно це олійні, водні і спиртові екстракти листя та/або квітів базиліку, календули, коров'яку, модрини, софори японської, амаранта фіолетового, звіробою, розмарину, м'яти перцевої, меліси, чебрецю, горіха, шавлії, зеленого чаю, кави. Доцільно також використовувати шипшину, горобину, кісточки винограду, квасоллю, ефірні олії апельсина, лимона, гвоздики, кориці, шкірки граната тощо.

Наприклад, у роботі (Máriássyová, 2006), де об'єктами дослідження були соняшникова та ріпакова олії, рекомендується використовувати антиоксидантні концентрати з календули, базиліку, суховершків звичайних, коров'яку в кількості 2 мг/кг.

Дослідження кукурудзяної олії показало, що екстракти з трави чебрецю, шавлії, м'яти перцевої пригнічують окиснення жиру в процесі зберігання (Baştürk et al., 2018). Щодо антиоксидантної активності чебрецю та м'яти перцевої, було зроблено висновок про їхню найвищу здатність до інгібування і доцільність їх використання у харчовій промисловості. Істотним недоліком використання вищезазначених екстрактів пряних та ароматичних трав є їхній інтенсивний смак й ароматичні властивості, які можуть негативно вплинути на органолептичні характеристики олій.

Антиоксидантну активність ефірних олій, спиртових та водних екстрактів меліси на прикладі соняшникової олії порівняно в (Kamkar et al, 2010). Ефірна олія меліси не має значного антиоксидантного ефекту (далі – АЕ). Також доведено антиоксидантну дію ефірних олій розмарину, гвоздики та кориці на горіховій і маковій олії (Özcan, Arslan, 2011).

Вплив природних антиоксидантів (екстрактів розмарину, чаю, бамбука) на якість соєвої та пальмової олій було досліджено в (Gong et al., 2018). Виявлено, що екстракти ефективно знижують кислотне та пероксидне числа жиру. Найбільше інгібування виявляють екстракти бамбука. В роботі (Bodoira et al., 2017) підкреслено порівняний ефект процесу інгібування

екстракту розмарину на окиснювальну стабільність олії насіння чіа. Сильний вплив спиртового розмаринового екстракту на збереження ω -3 жирних кислот лляної олії експериментально доведено в (Wang et al., 2018).

У (Dubinina et al., 2014) досліджено антиоксидантний комплекс листя чорної смородини. До його складу входять речовини фенольної та тіолової природи.

Результати, отримані під час вивчення впливу пектину цитрусових на окиснення жирів змішаної соняшникової та лляної олій упродовж двох тижнів зберігання за температури 35° С, представлені в (Celus et al., 2018). Встановлено, що низькомолекулярний пектин виявляє вищу антиоксидантну здатність, ніж високомолекулярний пектин. Ці результати показують потенціал структурно модифікованого пектину цитрусових як природного антиоксиданту в олійних емульсіях.

Таким чином, для підвищення стійкості рослинних олій до окиснення було запропоновано використовувати численні рослинні сировини. Рекомендувалося застосовувати природні антиоксиданти в кількості від 0,05% до 10% для забезпечення достатньої стабілізуючої дії на окиснювальні та гідролітичні процеси у рослинних оліях. Це дає можливість отримувати продукти стабільної якості та подовжувати термін їхнього зберігання. Однак універсального інгібітора для всіх видів рослинних олій немає. Це пояснюється різним хімічним складом сировини, вмістом ненасичених жирних кислот, параметрами виробництва й умовами зберігання продуктів. Тому доцільно обирати природний антиоксидант спеціально для тієї чи іншої рослинної олії.

Метою дослідження було виявлення антиоксидантного ефекту екстрактів біологічно активних речовин із лікарських рослин родини *Ericaceae* (пагонів брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної і чорниці звичайної) на стабільність харчових олій та олійних емульсій (основи майонезів).

Для досягнення цієї мети були вирішені такі завдання:

- одержання олійних/водних/водно-спиртових екстрактів із пагонів брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної та чорниці звичайної;
- визначення впливу фітоантиоксидантів, що містяться в отриманих екстрактах, на зміну

пероксидного числа харчових олій та олійних емульсій в процесі їхнього зберігання;

– оцінка антиоксидантного потенціалу екстрактів рослин родини *Ericaceae* за величиною ступенів інгібування системи «жир – антиоксидант».

Виклад основного матеріалу. Для визначення антиоксидантної дії екстрактів із лікарських рослин родини *Ericaceae* на стабільність харчових олій у процесі їхнього зберігання готували олійні екстракти, використовуючи пагони брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної і чорниці звичайної та олію соняшникову рафіновану дезодоровану (ТМ «Щедрий Дар»). Кількості сухої подрібненої рослинної сировини для екстракції становили 2, 4 і 6% від маси олії. Екстракцію проводили за 25–30° С упродовж 24 годин (із періодичним струшуванням). Далі екстракт відфільтрували. Зразок олії для порівняння (контроль) був витриманий в аналогічних умовах, що й екстракти (25–30° С, 24 години). Екстракти та контрольний зразок зберігали в темному місці впродовж 10 місяців за позитивної нерегульованої температури.

Для з'ясування антиоксидантного ефекту щомісяця визначали пероксидне число (далі – ПЧ) олійних фітоекстрактів та контрольного зразка олії соняшникової, згідно з ДСТУ 4570:2006 «Жири рослинні та олії. Метод визначання пероксидного числа».

Дослідження показало, що збільшення концентрацій олійних екстрактів на понад 4% вже не сприяє зростанню антиоксидантного ефекту. Тому далі наведено експериментальні дані лише для екстрактів із концентрацією 4%. Динаміка зміни ПЧ досліджуваних олійних екстрактів та контрольного зразка наведена в табл. 1.

На другому етапі дослідження готували два зразки екстрактів із пагонів брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної і чорниці звичайної: водні та водно-спиртові. До 4,0 г сухої подрібненої рослинної сировини додали 15 мл дистильованої води (водні екстракти) або 15 мл 10% розчину етилового спирту (водно-спиртові екстракти). Екстракцію проводили на водяній бані за температури 60° С упродовж 1 години. Отримані екстракти фільтрували та використовували як водну фазу для приготування емульсії (основи майонезу).

Для приготування емульсії брали олію соняшкову – 100 мл, водний або водно-спиртовий

фітоекстракт – 10 мл, жовток курячого яйця (емульгатор) – 1 шт. Для водної фази контрольного зразка емульсії використовували дистильовану воду чи 10% розчин етанолу. Далі отримували хлороформний екстракт жирової фази з емульсії: пробу емульсії змішували з хлороформом у співвідношенні 1:6 і проводили екстракцію за температури 25° С упродовж 40 хви-

лин. Для отриманих хлороформних екстрактів визначали пероксидне число (табл. 2).

Кількісну оцінку антиоксидантної дії олійних/водних/водно-спиртових екстрактів на стабільність харчових олій та олійних емульсій у процесі їхнього зберігання здійснено за значенням максимального ступеня інгібування (Jacobsen et al., 2008), який розраховували за формулою:

$$\% \text{ інгібування} = \frac{П.Ч.(контроль) - П.Ч.(антиоксидантний зразок)}{П.Ч.(контроль)} \times 100\%$$

Визначення ступенів інгібування процесу окиснення олії соняшникової за додавання олійних екстрактів показало, що екстракти чорниці та журавлини виявляють сильний АЕ (ступені інгібування – 57% і 51%, відповідно), екстракт брусниці володіє середнім АЕ (35%), екстракт буяхів має слабкий АЕ (21%).

Обрахувавши відсоток інгібування процесу окиснення емульсії на основі олії соняшникової за додавання водних фітоекстрактів, встановлено, що водні екстракти чорниці та журавлини виявляють середній АЕ (41% та 37%,

відповідно), а водні екстракти брусниці і буяхів мають слабкий АЕ (24% і 15%, відповідно).

Під час використання водно-спиртових фітоекстрактів для приготування емульсії на основі олії соняшникової з'ясовано, що ступінь інгібування процесу окиснення в усіх випадках є дещо вищим, ніж за використання водних фітоекстрактів, а саме: водно-спиртовий екстракт чорниці виявляє сильний АЕ (53%), водно-спиртові екстракти журавлини та брусниці володіють середнім АЕ (46% і 32%, відповідно), водно-спиртовий екстракт буяхів чинить слабкий АЕ (19%).

Таблиця 1

**Динаміка зміни пероксидного числа олійних екстрактів (4%)
із рослин родини *Ericaceae* та контрольного зразка**

	Термін зберігання, місяці									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Пероксидне число, ½О ммоль/кг									
Олія соняшникова (контроль)	2,1	2,4	2,9	3,4	4,0	4,8	5,7	6,8	7,9	9,1
Екстракт чорниці звичайної	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,4	3,9
Екстракт журавлини болотної	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5
Екстракт брусниці звичайної	1,9	2,1	2,4	2,7	3,1	3,5	4,0	4,6	5,2	5,9
Екстракт буяхів	1,9	2,2	2,6	3,0	3,4	4,0	4,6	5,4	6,2	7,2

Таблиця 2

Динаміка зміни пероксидного числа жирової фракції емульсій, отриманих із додаванням водних/водно-спиртових екстрактів із рослин родини *Ericaceae*, та контрольного зразка

	Термін зберігання, місяці									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Пероксидне число, ½О ммоль/кг									
Контрольний зразок	2,2	2,5	3	3,5	4,2	5	5,9	7,1	8,3	9,9
Водні екстракти										
Екстракт чорниці звичайної	2,0	2,1	2,4	2,7	3,1	3,5	4,0	4,5	5,1	5,8
Екстракт журавлини болотної	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,7	4,2	4,8	5,5	6,2
Екстракт брусниці звичайної	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,2	4,8	5,6	6,5	7,5
Екстракт буяхів	2,1	2,4	2,9	3,4	3,9	4,6	5,4	6,3	7,4	8,4
Водно-спиртові екстракти										
Екстракт чорниці звичайної	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,4	3,8	4,2	4,7
Екстракт журавлини болотної	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,4	3,8	4,2	4,8	5,3
Екстракт брусниці звичайної	2,1	2,3	2,7	3,0	3,5	3,9	4,5	5,2	5,9	6,7
Екстракт буяхів	2,1	2,4	2,8	3,3	3,9	4,5	5,2	6,0	7,0	8,0

Висновки і перспективи подальших досліджень. Доведено, що використання природних антиоксидантів уповільнює процеси гідролізу та окиснення олії соняшникової й емульсії на її основі.

Можна констатувати, що олійні екстракти пагонів брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної і чорниці звичайної мають інгібувальну дію. Наприклад, їх введення у кількості 4% сприяло збільшенню окислювальної стабільності олії соняшникової в 1,2–1,6 рази, а отже, вплинуло і на збереження вмісту поліненасичених жирних кислот в її складі.

Використання водних і водно-спиртових фітоекстрактів із пагонів брусниці звичайної, буяхів, журавлини болотної і чорниці звичайної для приготування на основі олії соняшникової

емульсії, яка є основою майонезів, забезпечує збереження споживних властивостей таких жировмісних харчових продуктів упродовж терміну їх зберігання, а також дозволяє подовжити термін їхньої придатності завдяки уповільненню процесу окислювального псування жирової фази. Причому водно-спиртові фітоекстракти мають вираженішу антиоксидантну дію, порівняно з водними екстрактами, що можна пояснити більш повним вилученням із рослинної сировини біологічно активних речовин, які здатні інгібувати процеси окиснення.

У подальшому планується провести дослідження оптимальних умов екстракції та складу отриманих фітоекстрактів для обґрунтування їхнього використання у виробництві харчових жирових систем.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Máriássyová M. Antioxidant activity of some herbal extracts in rapeseed and sunflower oils. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2006. No. 3. P. 104–109.
2. Baştürk A., Ceylan M.M., Çavuş M., Boran G., Javidipour I. Effects of some herbal extracts on oxidative stability of corn oil under accelerated oxidation conditions in comparison with some commonly used antioxidants. *LWT*. 2018. Vol. 89. P. 358–364.
3. Kamkar A., Javan A.J., Asadi F., Kamalinejad M. The antioxidative effect of Iranian *Mentha pulegium* extracts and essential oil in sunflower oil. *Food and Chemical Toxicology*. 2010. Vol. 48, No. 7. P. 1796–1800.
4. Özcan M.M., Arslan D. Antioxidant effect of essential oils of rosemary, clove and cinnamon on hazelnut and poppy oils. *Food Chemistry*. 2011. Vol. 129. No. 1. P. 171–174.
5. Gong G., Zhao X., Wu S. Effect of natural antioxidants on inhibition of parent and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in Chinese fried bread youtiao. *Food Control*. 2018. Vol. 87. P. 117–125.
6. Bodoira R.M., Penci M.C., Ribotta P.D., Martínez M.L. Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants. *LWT*. 2017. Vol. 75. P. 107–113.
7. Wang Y.-Z., Fu S.-G., Wang S.-Y., Yang D.-J., Wu Y.-H.S., Chen Y.-C. Effects of a natural antioxidant, polyphenol-rich rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, on lipid stability of plant-derived omega-3 fatty-acid rich oil. *LWT*. 2018. Vol. 89. P. 210–216.
8. Dubinina A.A., Lenert S.O., Khomenko O.O. Oxidation stabilization of peanut-linen blend lipids. *Technology audit and production reserves*. 2014. Vol. 4. No. 2 (18). P. 10–14.
9. Celus M., Salvia-Trujillo L., Kyomugasho C., Maes I., Van Loey A. M., Grauwet T., Hendrickx M.E. Structurally modified pectin for targeted lipid antioxidant capacity in linseed/sunflower oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 241. P. 86–96.
10. Jacobsen Ch., Bruni Let M., Skall Nielsen N., Meyer A.S. Antioxidant strategies for preventing oxidative flavour deterioration of foods enriched with n-3 polyunsaturated lipids: a comparative evaluation. *Trends in Food Science & Technology*. 2008. V. 19. P. 76–93.

УДК 504.453

DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-7>

Людмила РОМАН

кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, Україна, 88000

ORCID: 0000-0002-4780-8336

Степан ЧУНДАК

доктор хімічних наук, професор, професор кафедри екології та охорони навколишнього середовища, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», вул. Підгірна, 46, м. Ужгород, Україна, 88000

ORCID: 0000-0002-7064-1976

Бібліографічний опис статті: Роман, Л., Чундак, С. (2021). Моніторинг якості води деяких малих річок рекреаційних зон Закарпаття. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 45–50, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-7>

МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ВОДИ ДЕЯКИХ МАЛИХ РІЧОК РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН ЗАКАРПАТТЯ

Мета дослідження полягає в моніторингу якості води малих гірських річок Брадолець, Сухар, Синявка, Вишка, Велика Уголька, Бронька, Репинка, Матекова за деякими гідрофізичними та гідрохімічними показниками.

Особливістю цих річок є те, що вони протікають вздовж рекреаційних зон Закарпаття, які мають особливий охоронний статус: національних природних парків «Синевир», «Зачарований край», «Ужанський», регіонального природного парку «Синяк», Угольсько-Широколужанського заповідного масиву, іхтіологічного заказника «Річанський», гірськолижного курорту «Пилипець». На берегах досліджуваних малих річок функціонують різні рекреаційні комплекси (готелі, ресторани, приватні садиби, форелеві господарства, бази відпочинку, гостинні двори), діяльність яких може негативно вплинути на якість води у водотоках. Останні, як відомо, є вразливими до будь-яких антропогенних впливів на водозбірну площу та виступають індикаторами змін екологічного стану територій.

Методологія. Посезонний моніторинг якості води зазначених річок рекреаційних зон Закарпаття проведено за деякими гідрофізичними (прозорість, запах, кольоровість) та гідрохімічними (біохімічне споживання кисню, лужність, вміст розчиненого кисню, перманганатна окиснюваність, амоній-іони, аніони (нітрати, нітрити, сульфати, хлориди, фосфати), залізо загальне та катіони деяких металів) показниками.

Оцінку антропогенного впливу на якість води зазначених поверхневих водотоків проведено в просторі і часі, тобто по всій протяжності річок у двох вибраних точках (1 – витік річки, 2 – місце впадіння в іншу водойму) впродовж 2019–2021 рр., включаючи всі пори року.

Наукова новизна. Результати моніторингових експериментальних досліджень гідрофізичних параметрів води малих річок Брадолець, Сухар, Синявка, Вишка, Велика Уголька, Бронька, Репинка та Матекова демонструють позитивну динаміку щодо якості їхньої води впродовж 2019–2021 рр. Варто зазначити, що такі показники води, як прозорість, запах та кольоровість, не перевищують нормованих значень, а їхні величини істотно не змінювалися посезонно та впродовж відліку часу, що свідчить про мінімальний антропогенний вплив та природне самовідновлення води цих річок. Показник прозорості коливається в межах 30–27 см, запах – менше 2, кольоровість – 5–15 градусів.

Аналіз даних моніторингу екологічного стану природної води малих річок рекреаційних територій Закарпаття показує, що якість води істотно не коливається в різні фази водного режиму та не залежить від пори року. Нормовані показники, які характеризують якість поверхневих вод, не перевищують гранично допустимих концентрацій для вод рибогосподарського призначення, що вказує на I клас та 1–2 категорію якості води. Перевищення нормованих значень спостерігається тільки за показником заліза загального (у 2–4 рази) та марганцю (у 5 разів), що пов'язано з особливістю геологічної провінції Закарпаття.

Висновки. Моніторинг якості води деяких гірських водотоків Закарпаття довів позитивну динаміку їхнього функціонування, належну якість води гірських річок рекреаційних зон області, а також дозволяє зробити припущення про високу здатність води річок до самоочищення та низький антропогенний вплив на них.

Ключові слова: рекреаційні зони, Закарпаття, моніторинг, якість води, малі річки.

Liudmyla ROMAN

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Ecology and Environmental Protection, Uzhhorod National University, 46 Pidhirna str., Uzhhorod, Ukraine, 88000

ORCID: 0000-0002-4780-8336

Stepan Chundak

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor at the Department of Ecology and Environmental Protection, Uzhhorod National University, 46 Pidhirna str., Uzhhorod, Ukraine, 88000

ORCID: 0000-0002-7064-1976

To cite this article: Roman, L., Chundak, S. (2021). Monitorynh yakosti vody deiakykh malykh richok rekreatsiynykh zon Zakarpattia [Water quality monitoring of some small rivers of recreational zones of Transcarpathia]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 45–50, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-7>

WATER QUALITY MONITORING OF SOME SMALL RIVERS OF RECREATIONAL ZONES OF TRANSCARPATHIA

The aim of the study. Water quality of small mountain rivers Bradolets, Sukhar, Synyavka, Vyshka, Velyka Uholka, Bronka, Repinka, Matekova was monitored.

One of the features of these rivers is that they flow along the recreational areas of Transcarpathia with a special protection status: national nature parks “Synevyr”, “Enchanted Land”, “Uzhansky”, regional nature park “Sinyak”, Ugolsko-Shirokoluzhansky reserve massif, ichthyological reserve “Rich”, ski resort Pylypets. On the banks of the small rivers that are researched there are various recreational complexes (hotels, restaurants, private estates, trout farms, recreation centers, guest houses), the activities of which can negatively affect the quality of water in watercourses. The latter are known to be vulnerable to any anthropogenic impacts on the catchment area and act as indicators of changes in the ecological condition of the territories.

Methodology. Post-seasonal monitoring of water quality of these rivers in the recreational zones of Transcarpathia was carried out according to some hydrophysical (transparency, odor, color) and hydrochemical (biochemical oxygen consumption, alkalinity, dissolved oxygen content, permanganate oxidation, ammonium nitrons, nitrons, ions phosphates), total iron and cations of some metals) indicators.

The assessment of anthropogenic impact of these surface watercourses on water quality was carried out in space and time – ie along the entire length of rivers at two selected points (1 – river source, 2 – place of confluence with another river) during 2019–2021, including all Periods of the year.

Scientific novelty. The results of monitoring experimental researches of hydrophysical parameters of water of small rivers Bradolets, Suhar, Synyavka, Vyshka, Velyka Uholka, Bronka, Repinka and Matekova show positive dynamics in terms of water quality of the latter during 2019–2021. It should be noted that the defined indicators of water transparency, odor and color do not exceed the normalized values, and their values did not change significantly seasonally and over time, which indicates minimal anthropogenic impact and natural self-recovery of water in these rivers. Transparency ranges from 30–27 cm, odor – less than 2, color – 5–15 degrees.

Analysis of monitoring data on the ecological status of natural water of small rivers in the recreational areas of Transcarpathia shows that the water quality of the latter does not fluctuate significantly in different phases of the water regime and periods of the year. The normalized indicators that characterize the quality of surface waters do not exceed the maximum allowable concentrations for fishery waters, which indicates the first class and 1–2 category of water quality. Exceedance of the normalized values is observed only for the indicator of total iron (2–4 times) and manganese (5 times), because of the peculiarity of the geological province of Transcarpathia.

Conclusions. Monitoring of water quality of some mountain streams of Transcarpathia proved the positive dynamics of their functioning, proper water quality of mountain rivers in recreational areas of the region. Furthermore it allows to make assumption about the ability of river to self-purification and about the low anthropogenic impact on this water.

Key words: recreational zones, Transcarpathia, monitoring, water quality, small rivers.

Актуальність проблеми. Закарпаття – одна з найменших областей Карпатського регіону України (Департамент екології природних ресурсів, 2019: 158). Ця область насамперед славиться своїм багатонаціональним населенням, а також унікальними зеленими курорт-

ними територіями. Багатство рослинного і тваринного світів цього регіону, гориста територія, мальовничі ландшафти у поєднанні з густою гідрологічною сіткою області дають можливість створювати і розвивати нові рекреаційні зони для відпочинку й оздоровлення.

Надмірна антропогенна діяльність (туристична, лісгосподарська чи сільськогосподарська) може негативно впливати як на екологічний стан рекреаційних територій, так і на якість води малих гірських річок. Останні, як відомо, формують поверхневі водні ресурси, їхній гідрохімічний режим та є індикаторами стану довкілля, оскільки вразливі до будь-яких сторонніх впливів на водозбірну площу. Тому контроль за якістю води малих річок є актуальним завданням сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Одним із нагальних питань сучасності в напрямі охорони природних ресурсів є проблема охорони і відновлення невеликих поверхневих водойм та водотоків. Цей факт підтверджують численні наукові дослідження останнього десятиліття, зокрема, моніторинг: малих річок (Нестерова та ін., 2019: 257–258); малих річок Черкаської області (Хоменко, Гайдар, 2010: 39–42); якості вод басейну Дніпра (Cybriwsky, 2018), (Krelshyteyn, Dubnytska, 2017); екологічного стану малих річок Західного Полісся України (Яцик та ін., 2020: 75–80); якості води річок Волинської області (Нетробчук, 2010: 65–71); якості вод малих річок НПП «Сколівські Бескиди» (Вовкунович та ін., 2020: 86–91), тощо.

Мета дослідження – моніторинг якості води малих гірських річок рекреаційних зон Закарпаття (зокрема, річок Репинка, Бронька, Матекова, Синявка, Велика Уголька, Вишка, Сухар

і Брадолець) за деякими гідрофізичними та гідрохімічними показниками.

Виклад основного матеріалу. Гірська система Закарпаття пронизана численними малими річками, які становлять основу гідромережі краю. Природа Закарпатської області сприяє швидкому темпу розвитку екотуризму чи агротуризму, що призводить до розвитку інфраструктури рекреаційних зон регіону (табл. 1).

Надмірне антропогенне навантаження на природні системи Карпат може призвести до погіршення екологічного стану територій рекреаційних зон краю, а також до забруднення поверхневих водойм, води яких використовують для різних потреб: культурно-побутових, сільськогосподарських чи рибогосподарських.

Варто зазначити, що режим досліджуваних малих річок формується за умов неоднорідних ґрунтів і різного рельєфу, місцевих відмінностей клімату та рослинності. Для цих поверхневих водотоків характерна значна мінливість гідрологічних характеристик у часі. Зокрема, досить чітко виражені паводковий режим із різкими коливаннями як стоку води, так і наносів; інтенсивність руслових процесів; льодостав на річках нетривалий і нестійкий.

Водний режим досліджуваних гірських річок тісно пов'язаний із кількістю атмосферних опадів. Їхнє живлення має мішаний характер: дощовими, ґрунтовими і талими водами. У періоди рясних дощів, у весняно-літній чи

Таблиця 1

Досліджувані малі річки деяких рекреаційних зон Закарпаття

Річка	Довжина річки, км	Рекреаційна зона	Комплекси відпочинку
Брадолець	12	НПП «Синевир»	Садоби «Шепіт Карпат», «У Радівілова», хостел «Колочава», база відпочинку «Коло гір» тощо.
Сухар	14	НПП «Синевир»	Садоби «Під горбом», «Сухар», «Гусяшки» тощо.
Синявка	20	НПП «Зачарований край»	Готель-спа «Срібне джерело», садиба «У Петровці», бази відпочинку «Зелена дача», «Зачарована долина».
Велика Уголька	21	Угольсько-Широколужанський заповідний масив	Туристичний комплекс «Срібний рай».
Вишка	9	НПП «Ужанський»	Бази відпочинку «У Марічки», «Крокус», «Новий сезон», садоби «Золота модрина», «Біля струмка», ресторан «Кандагар».
Репинка	29	Гірськолижний курорт «Пилипець»	Садоби «Мисливська», «Буковець», бази відпочинку «Волоський потік», «Над ставом», «Анастасія», «Чотири сезони» тощо.
Матекова	15	РПП «Синяк»	Приватна садиба «Кришталева вода», гостинний двір «Пролісок», бази відпочинку «Синяк Вілюкс», «Перлинка в Синяку» тощо.
Бронька	20	Іхтіологічний заказник «Річанський»	Форелеве господарство «Стара вага», приватні садоби, альтанки для відпочинку.

Примітка: НПП – національний природний парк; РПП – регіональний природний парк.

Таблиця 2

Результати гідрохімічних досліджень води річок Репинка, Бронька, Матекова і Синявка за літній період 2021 р.

Назва показника	Точки відбору проб води річки								Нормована величина (10)
	Репинка		Бронька		Синявка		Матекова		
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	
Завислі речовини, мг/дм³	3,2	3,3	3,1	3,4	3,1	3,1	3,2	3,5	<15,0
pН	7,7	7,8	7,7	7,9	7,0	7,3	7,7	7,8	6,5–8,5
Перманганатна окиснюваність, мгО/дм³	1,0	1,1	1,0	1,2	1,1	1,3	1,0	1,3	<5,0
ХСК, мгО₂/дм³	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<15,0
Розчинений кисень, мгО₂/дм³	12,4	12,0	12,4	12,1	12,1	12,0	12,4	12,1	≥6,0
Залізо загальне, мг/дм³	0,2	0,17	0,19	0,20	0,2	0,18	0,21	0,22	<0,05
Сухий залишок, мг/дм³	160,0	162,0	155,0	162,0	155,0	158,0	154,0	158,0	<1000,0
Лужність, мг-екв/дм³	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	–
Жорсткість загальна, мг-екв/дм³	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	<7,0
Кальцій, мг/дм³	30,0	29,4	30,1	30,0	26,3	26,5	28,5	28,4	180,0
Магній, мг/дм³	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1	5,9	6,1	6,0	50,0
Марганець, мг/дм³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	<0,01
Мідь, мг/дм³	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004
Цинк, мг/дм³	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,01
Амоній-іони, мг/дм³	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
Нітрит-іони, мг/дм³	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	<0,08
Нітрат-іони, мг/дм³	4,0	4,2	4,0	4,1	4,0	4,3	4,2	4,3	<40,0
Фосфат-іони, мг/дм³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	–
Сульфат-іони, мг/дм³	10,0	10,0	10,0	10,3	10,0	10,3	10,1	10,2	<100,0
Хлорид-іони, мг/дм³	6,1	6,5	6,1	6,7	6,1	6,8	6,3	6,5	<300,0

Таблиця 3

Результати гідрохімічних досліджень води річок Велика Уголька, Вишка, Сухар і Брадолець за літній період 2021 р.

Назва показника	Точки відбору проб води річки								Нормована величина (10)
	Велика Уголька		Сухар		Вишка		Брадолець		
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	
Завислі речовини, мг/дм³	3,0	3,1	3,0	3,3	3,1	3,2	3,1	3,4	<15,0
pН	7,5	7,8	7,3	7,7	7,1	7,4	7,1	7,5	6,5–8,5
Перманганатна окиснюваність, мґО/дм³	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,2	1,0	1,2	<5,0
ХСК, мґО₂/дм³	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<15,0
Розчинений кисень, мґО₂/дм³	12,5	12,2	12,4	12,3	12,2	12,1	12,3	12,2	≥6,0
Залізо загальне, мг/дм³	0,21	0,19	0,22	0,17	0,20	0,21	0,21	0,22	<0,05
Сухий залишок, мг/дм³	163,0	165,0	158,0	160,0	162,0	164,0	157,0	160,0	<1000,0
Лужність, мг-екв/дм³	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	–
Жорсткість загальна, мг-екв/дм³	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	<7,0
Кальцій, мг/дм³	28,3	28,4	29,4	30,1	27,9	28,3	28,1	28,4	180,0
Магній, мг/дм³	6,0	6,2	6,1	6,4	6,0	6,5	6,0	6,2	50,0
Марганець, мг/дм³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	<0,01
Мідь, мг/дм³	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004
Цинк, мг/дм³	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,01
Амоній-іони, мг/дм³	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5
Нітрит-іони, мг/дм³	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	<0,08
Нітрат-іони, мг/дм³	4,1	4,2	4,0	4,2	4,1	4,1	4,2	4,0	<40,0
Фосфат-іони, мг/дм³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	–
Сульфат-іони, мг/дм³	10,0	10,2	10,0	10,1	10,1	10,2	10,1	10,3	<100,0
Хлорид-іони, мг/дм³	6,5	6,7	6,0	6,5	6,1	6,6	6,2	6,7	<300,0

осінній сезони, рівень води у водотоках може піднятися і до 2 метрів.

Моніторинг якості води вищезгаданих малих річок деяких рекреаційних зон Закарпаття проводився впродовж 2019–2021 рр. посезонно (у період, коли якісний та кількісний склад води був найбільш стабільним для певної пори року). Для виявлення антропогенного впливу на екологічний стан гірських малих річок Закарпаття відбір проб води було зроблено у двох місцях їхньої протяжності: 1) біля витоку річки; 2) у гирлі річки.

Дослідження деяких гідрохімічних і гідрофізичних показників якості води проводилися відповідно до наукових праць (Набиванець та ін., 2006: 456).

Для проведення експериментальних робіт використовували такі прилади: спектрофотометр атомно-абсорбційний ContrAA 300; фотометр фотоелектричний КФК-3-01; аналізатор рідини «Флюорат» 02-3М; рН-метр; кондуктометр ОК 117.

Результати моніторингових аналітичних досліджень гідрофізичних параметрів води досліджуваних малих гірських річок Закарпаття демонструють позитивну динаміку щодо якості води впродовж трирічного періоду. Визначувані показники води, а саме прозорість, запах та кольоровість, не перевищують встановлених норм, а їхні значення неістотно змінювалися посезонно та впродовж відліку часу. Зазначимо, що показник прозорості коливається в межах від 24 до 30 см, запах має значення <2, кольоровість – від 5 до 15 градусів.

З'ясовано, що хімічний склад води карпатських водотоків істотно не змінювався ні посезонно, ані впродовж трирічного періоду. В таблицях 2 і 3 представлено результати гідрохімічних досліджень води зазначених річок за літній період 2021 р. (за найменшої їх водності).

Аналізуючи дані таблиць 2 і 3, можемо відзначити, що майже всі досліджувані гідрохімічні показники якості поверхневих вод не перевищують нормованих значень. Виняток становлять лише два параметри: вміст заліза загального та марганцю.

Концентрація заліза загального коливається в межах від 0,17 до 0,22 мг/дм³, що майже у 2–4 рази перевищує норму (ГДК_{пр} (Fe_{заг.}) менше 0,05 мг/дм³), а вміст марганцю у водах досліджуваних малих річок перевищує нормовані значення у 5 разів, його середня величина становить близько 0,05 мг/дм³ (ГДК_{пр} (Mn²⁺) менше 0,01 мг/дм³). Імовіріше, це пов'язано з особливістю геологічної провінції Закарпаття (Департамент екології природних ресурсів, 2019: 158).

Висновки. Результати моніторингових експериментальних досліджень гідрофізичних та гідрохімічних параметрів води малих річок Бродолець, Сухар, Синявка, Вишка, Велика Уголька, Бронька, Репинка та Матекова демонструють позитивну динаміку щодо якості води цих водойм упродовж 2019–2021 рр. Нормовані показники, які характеризують якість поверхневих вод, не перевищують гранично допустимих концентрацій для вод рибогосподарського призначення, що вказує на I клас та 1–2 категорію якості води. Перевищення нормованих значень спостерігається тільки за показником заліза загального (у 2–4 рази) та марганцю (у 5 разів), що пов'язано з особливістю геологічної провінції Закарпаття. Якість води малих річок істотно не коливається в різні фази водного режиму та не залежить від пор року.

Одержані дані вказують на мінімальний антропогенний вплив, а також на природне самовідновлення води досліджуваних малих гірських річок деяких рекреаційних зон Закарпаття.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Доповідь про стан навколишнього середовища Закарпатської області за 2018 р. / Департамент екології природних ресурсів. Ужгород, 2019. С. 158.
2. Проблеми басейнів малих річок / О. Нестерова та ін. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 5. С. 257–258. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.68.524.
3. Хоменко О., Гайдар І. Аналіз екологічного стану малих річок Черкаської області (на прикладі р. Золотоношка). *Екологічна безпека*. 2010. № 2 (10). С. 39–42.
4. Cybriwsky R. *Along Ukraine's River: A Social and Environmental History of the Dnipro*. Budapest : Central European University Press, 2018. P. 280.

5. Krelshteyn P., Dubnytska M. Kyiv small Rivers in Metropolis Water Objects System. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017. No. IV–5 (1). P. 23–27. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-23-2017.

6. Оцінка екологічного стану поверхневих вод малих річок басейну р. Західний Буг за рівнем забрудненості (на прикладі р. Гапа) / А. Яцик та ін. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 1 (802). С. 75–80. DOI: 10.31073/agrovisnyk202001-11.

7. Нетробчук І. Прогноз якості води в річках Волинської області. *Географія*. 2010. № 7. С. 65–71.

8. Вовкунович М., Роман Л., Чундак С. Антропогенна діяльність на території НПП «Сколівські Бескиди» та її вплив на екологічний стан гідромережі. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Хімія»*. 2020. № 1 (43). С. 86–91. DOI: 10.24144/2414-0260.2020.1.86-91.

9. Аналітична хімія поверхневих вод / Б. Набиванець та ін. Київ : Наукова думка, 2006. С. 456.

10. Гранично допустимі концентрації показників якості води для рибогосподарських водойм. Загальний перелік ГДК і ОБР шкідливих речовин для вод рибогосподарських водойм : список № 12-04-11. Київ : Міністерство рибного господарства СРСР, 1990. С. 45.

REFERENCES:

1. Dopovid pro stan navkolyshnoho seredovyshcha Zakarpatskoi oblasti za 2018 rik (2019) / Departament ekolohii pryrodnykh resursiv. Uzhhorod. [in Ukrainian]

2. Nesterova, O. et al. (2019) Problemy basiniv malykh richok [Problems of small river basins]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. No. 5. P. 257–258. [in Ukrainian]

3. Khomenko, O., Haidar, I. (2010) Analiz ekolohichnoho stanu malykh richok Cherkaskoi oblasti (na prykladi r. Zolotonoshka) [Analysis of the ecological condition of small rivers of Cherkasy region (on the example of Zolotonosha)]. *Ekolohichna bezpeka*. No. 2 (10). P. 39–42. [in Ukrainian]

4. Cybriwsky, R. (2018) Along Ukraine's River: A Social and Environmental History of the Dnipro. Budapest : Central European University Press.

5. Krelshteyn, P., Dubnytska, M. (2017) Kyiv small Rivers in Metropolis Water Objects System. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. No. IV–5 (1). P. 23–27.

6. Yatsyk, A. et al. (2020) Otsinka ekolohichnoho stanu poverkhnevyykh vod malykh richok baseinu r. Zakhidnyi Buh za rivnem zabrudnenosti (na prykladi r. Hapa) [Assessment of the ecological condition of surface waters of small rivers of the Western Bug river basin by the level of pollution (on the example of the Gapa river)]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. No. 1 (802). P. 75–80. [in Ukrainian]

7. Netrobchuk, I. (2010) Prohnoz yakosti vody v richkakh Volynskoi oblasti [Water quality forecast in the rivers of Volyn region]. *Heohrafiia*. No. 7. P. 65–71. [in Ukrainian]

8. Vovkunovych, M., Roman, L., Chundak, S. (2020) Antropohenna diialnist na terytorii NPP “Skolivski Beskydy” ta yii vplyv na ekolohichniy stan hidromerezhi [Antropogenic activities on the territory of the Skole Beskids National park and its effect on the ecological state of the hydraulic network]. *Nauk. visnyk Uzhhorodskoho un-tu. Serii: Khimiia*. No. 1 (43). P. 86–91. [in Ukrainian]

9. Nabyvanets, B. et al. (2006) Analitychna khimiia poverkhnevyykh vod [Analytical chemistry of surface waters]. Kyiv : Naukova dumka. P. 456. [in Ukrainian].

10. Hranychno dopustymi kontsentratsii pokaznykiv yakosti vody dlia rybohospodarskykh vodoim. Zahalnyi perelik HDK i OBR shkidlyvykh rehovyn dlia vod rybohospodarskykh vodoim : spysok № 12-04-11 (1990) [Maximum permissible concentrations of water quality indicators for fishery reservoirs. The general list of maximum concentration limits and OBR of harmful substances for waters of fishery reservoirs]. Kyiv : Ministerstvo rybnogo hospodarstva SRSR. [in Ukrainian]

УДК 547.78+547.789

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-8>

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 БОБК

доктор хімічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук України, завідувач відділу механізмів органічних реакцій, директор Інституту органічної хімії Національної академії наук України, вул. Мурманська, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

Бібліографічний опис статті: Салієва, Л., Сливка, Н., Вовк, М. (2021). Аміноліз 6-заміщених 2-метил-2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*]тіазолів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 51–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-8>

АМІНОЛІЗ 6-ЗАМІЩЕНИХ 2-МЕТИЛ-2,3-ДИГІДРОІМІДАЗО[2,1-*b*]ТІАЗОЛІВ

Робота присвячена вивченню закономірностей перебігу реакції амінолізу фармакологічно перспективного типу імідазотіазольних систем – 6,6-дизаміщених та 6-арилідензаміщених 2-метил-2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазол-5(6H)-онів. Хімічну поведінку останніх досліджували за взаємодії з вторинними амінами (піролідином та морфоліном) за кімнатної температури, а також із бензиламіном за 10-годинного кип'ятіння в толуені. В результаті експериментів встановлено, що 6,6-диметил-, 6,6-дифеніл- та 6-(пропан-2-іліден)заміщені імідазотіазолони є стійкими до дії амінів як за кімнатної температури, так і за високотемпературної обробки. Натомість 6-ариліден-2-метил-2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазол-5(6H)-они виявилися лабільними до дії N-нуклеofilів вже за кімнатної температури та зазнають розщеплення тіазолідинового ядра з утворенням відповідних 1,1'-[дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]біс-4-(бензиліден-, 4-бромобензиліден-, 4-метилбензиліден)-2-(піролідин-1-іл)-1H-імідазол-5(4H)-онів та 1,1'-[дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]біс-4-(бензиліден-, 4-метилбензиліден)-2-морфоліно-1H-імідазол-5(4H)-онів із виходами 28–39%. Імовірно, дисульфід утворюється з відповідних меркаптопохідних як первинних продуктів амінолізу, які в умовах проведення процесу окиснюються киснем повітря. Склад та будова одержаних продуктів однозначно підтверджені комплексним фізико-хімічним аналізом, зокрема методами ІЧ, ЯМР ¹H та ¹³C спектроскопії, хроматомас-спектрометрії, а також даними елементного аналізу.

Варто відзначити, що сполуки з імідазол-5(4H)-оновим циклом, який входить до складу синтезованих дисульфідів, характеризуються широким спектром біологічної активності. Відкриття в ряду гетероциклів такого типу речовини з антибактеріальною та протираковою дією, антагоністів рецепторів ангіотензину II, а також створення хемосенсорів на основі флуоресцентних білків є важливою передумовою для подальших біомедичних досліджень синтезованих сполук.

Ключові слова: 2-метилімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазолони, аміноліз, N-нуклеофіли, 1,1'-[дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]біс-4-ариліден-2-(піролідин-1-іл)-1H-імідазол-5(4H)-они, 1,1'-[дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]біс-4-ариліден-2-морфоліно-1H-імідазол-5(4H)-они.

Lesya SALIYEVA

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Nataliia SLIVKA

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Mykhailo VOVK

Doctor of Chemistry, Professor, Corresponding Member of National Academy of Sciences of Ukraine, Head of the Department of Mechanisms of Organic Reactions, Director of Institute of Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Murmanska str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

To cite this article: Saliyeva, L., Slyvka, N., Vovk, M. (2021). Aminoliz 6-zamishchenykh 2-metyl-2,3-dihydroimidazo[2,1-b]thiazoliv [Aminolysis of 6-substituted 2-methyl-2,3-dihydroimidazo[2,1-b]thiazoles]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 51–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-8>

AMINOLYSIS OF 6-SUBSTITUTED 2-METHYL-2,3-DIHYDROIMIDAZO[2,1-b]THIAZOLES

The work is devoted to the study of the regularities of the aminolysis reaction of pharmacologically promising type of imidazothiazole systems – 6,6-disubstituted and 6-arylidenesubstituted 2-methyl-2,3-dihydroimidazo[2,1-b][1,3]thiazol-5(6H)-ones. The chemical behavior of the latter was studied by interaction with secondary amines (pyrrolidine and morpholine) at room temperature, as well as with benzylamine at 10 hours boiling in toluene. As a result of the performed experiments it was found that 6,6-dimethyl-, 6,6-diphenyl- and 6-(propan-2-ylidene) substituted imidazothiazolones are resistant to amines both at room temperature and at high temperature treatment. Instead, 6-arylidene-2-methyl-2,3-dihydroimidazo[2,1-b][1,3]thiazol-5(6H)-ones were found to be labile to the action of N-nucleophiles at room temperature and undergo opening of the thiazolidine ring, with the formation of the corresponding 1,1'-[disufanediylbis(propane-2,1-diyl)]bis-4-(benzylidene-, 4-bromobenzylidene-, 4-methylbenzylidene)-2-(pyrrolidin-1-yl)-1H-imidazol-5(4H)-ones and 1,1'-[disufanediylbis(propane-2,1-diyl)]bis-4-(benzylidene-, 4-methylbenzylidene)-2-morpholino-1H-imidazol-5(4H)-ones with yields of 28–39%. Most likely, disulfides are formed from the corresponding mercaptoderivatives as primary products of aminolysis, which are oxidized by oxygen in the process. The composition and structure of the obtained products are unambiguously confirmed by complex physicochemical analysis, in particular by IR, ¹H and ¹³C NMR spectroscopy, mass spectra, as well as elemental analysis data.

It should be noted that compounds with the imidazol-5(4H)-one ring, which is part of the synthesized disulfides, are characterized by a widely range of biological activity. The discovery in a number of heterocycles of this type of compounds with antibacterial and anticancer activity, angiotensin II receptor antagonists, as well as the creation of chemosensors based on fluorescent proteins, is an important prerequisite for further biomedical studies of synthesized compounds.

Key words: 2-methylimidazo[2,1-b][1,3]thiazolones, aminolysis, N-nucleophiles, 1,1'-[disufanediylbis(propane-2,1-diyl)]bis[4-arylidene-2-(pyrrolidin-1-yl)-1H-imidazol-5(4H)-ones], 1,1'-(disufanediylbis(propane-2,1-diyl))bis(4-arylidene-2-morpholino-1H-imidazol-5(4H)-ones).

Відкриття серед гідрованих аналогів імідазо[2,1-b][1,3]тіазолу ефективного протигельмінтного та імуностимулювального препарату «Левамізол» (Amarouch et al., 1987) стало вагомою підставою для детального вивчення цього типу гетероциклічних сполук, зокрема для проведення їхньої структурної модифікації та з'ясування впливу дії різноманітних реагентів.

Раніше нами було виявлено неочікуване регіоселективне розкриття імідазольного ядра 2-метил-2,3-дигідроімідазо[2,1-b][1,3]тіазол-5(6H)-ону за дії на нього N-нуклеофілів, яке призводило до утворення невідомих похідних (4,5-дигідро-1,3-тіазол-2-іл)ацетамідів (Салієва та ін., 2017), (Салиева и др., 2018). Водночас аналіз літературних джерел засвідчив, що внутрішньоциклічний ізотіоуреїдний фрагмент тіазолідиноанельованих азинів й азолів також є лабільним відносно кислотних й основних реагентів, що призводить до розриву вузлового

зв'язку Карбон-Сульфур (Gütschow, Leistner, 1995), (Gütschow et al., 1995). Зокрема, під час дослідження взаємодії 2,3-дигідро-6,6-дифенілімідазо[2,1-b][1,3]тіазол-5(6H)-ону із бензил- та γ-піколіламінами в киплячому толуені виявлено розщеплення тіазолідинового ядра та утворення 2-аміно-3-(2-меркаптоетил)-5,5-дифенілгідантоїну (Karolak-Wojciechowska et al., 1985). Враховуючи ці результати, доцільним є детальне дослідження реакції амінолізу 6-заміщених 2-метил-2,3-дигідроімідазо[2,1-b][1,3]тіазолонів.

Для реалізації зазначеного завдання була обрана низка 6-заміщених 2-метилімідазо[2,1-b][1,3]тіазолонів: диметил- **1a**, дифеніл- **1b**, (пропан-2-іліден)- **1в**, бензиліден- **1г**, 4-метилбензиліден **1д**, 4-бромобензиліден **1е** (Салиева и др., 2018), (Салієва та ін., 2018), які вводили у взаємодію з вторинними амінами за кімнатної температури та первинними амінами за кип'ятіння в толуені.

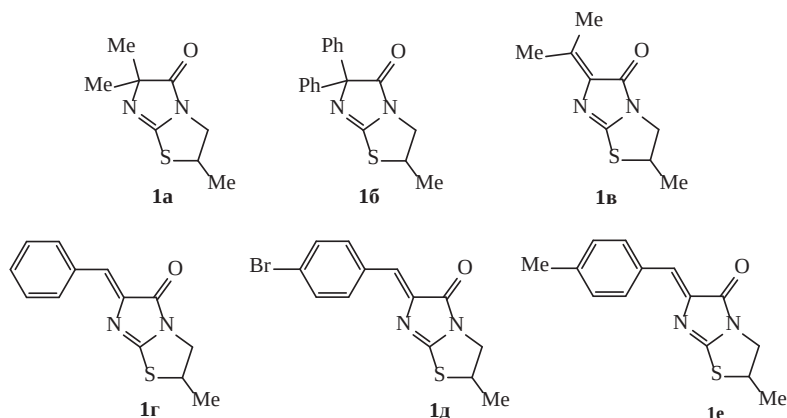
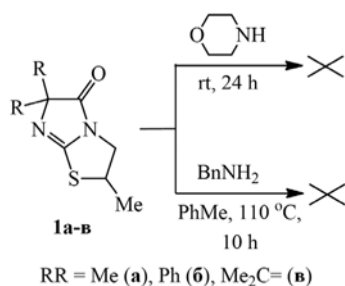


Рис. 1. Приклади 6-заміщених 2-метилімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазолонів **1a–e**

Експериментально встановлено, що 2-метил-6-заміщені дигідроімідазотіазолони **1a–в** не піддаються амінолізу в умовах, наведених на схемі 1, за дії морфоліну та бензиламіну.

Схема 1



Однак встановлено, що характер заміщення у положенні 6 імідазотіазольного циклу суттєво впливає на його поведінку відносно *N*-нуклеofilів.

Так, під час оброблення 6-ариліденімідазотіазолонів **1г–e** піролідином та морфоліном вже за кімнатної температури відбувається розкриття тіазольного циклу з утворенням відповідних дисульфідів **3a–д** з виходами 28–39%. Імовірно, сполуки **3a–д** є продуктами окиснення киснем повітря за умов реакції відповідних первинних продуктів реакції – меркаптопохідних **2a–д** (схема 2).

Варто відзначити, що синтезовані дисульфіди **3a–д** належать до похідних імідазол-5(4*H*)-онів, серед яких знайдено сполуки з антибактеріальною (Farghaly et al., 2013) та протираковою (Gomha et al., 2016) дією, антагоністи рецепторів ангіотензину II (Farghaly et al., 2013), аналоги хромофорів, подібних до зеленого флуоресцентного білка (GFP) (Gutierrez et al., 2015), та хемосенсиори для Zn²⁺ на основі хромофора синього флуоресцентного білка (BFP) (Fang et al., 2013).

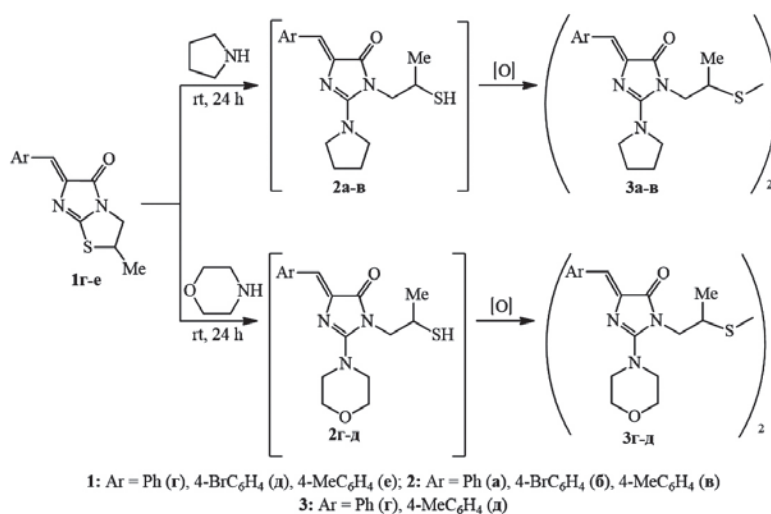


Схема 2

Структура синтезованих продуктів однозначно підтверджена комплексним фізико-хімічним аналізом, зокрема методами ІЧ, ЯМР ^1H та ^{13}C спектроскопій, хроматомас-спектрометрії, а також даними елементного аналізу.

Таким чином, на прикладі 6-заміщених 2-метил-2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазол-5(6*H*)-онів досліджено реакцію амінолізу та з'ясовано, що регіоселективному розкриттю тіазольного ядра піддаються лише 6-ариліденімідазотіазолони. Результатом знайденої реакції є утворення відповідних 1,1'-[дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]-біс-4-ариліден-2-(піролідин-1-іл)-1*H*-імідазол-5(4*H*)-онів та 1,1'-[дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]біс-4-ариліден-2-морфоліно-1*H*-імідазол-5(4*H*)-онів.

Експериментальна частина

ІЧ-спектри зареєстровані на приладі Bruker Vertex 70 в таблетках KBr. Спектри ЯМР ^1H і ^{13}C записані на спектрометрі Varian VXR-400 (400 і 126 МГц відповідно) в імпульсному Фур'є-режимі в CDCl_3 та CF_3COOD , внутрішній стандарт TMS. Мас-спектри записані на приладі Agilent LC/MSD SL, колонка Zorbax SB-C18, $4,6 \times 15$ мм, 1.8 мкм (PN 82(c)75-932), розчинник CDCl_3 , іонізація електророзпиленням за атмосферного тиску. Елементний аналіз виконаний на приладі PerkinElmer CHN Analyzer серії 2400 в аналітичній лабораторії Інституту органічної хімії НАН України. Температури топлення всіх синтезованих речовин визначалися на столику Кофлера і не коригувалися.

1,1'-[Дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]-біс-4-ариліден-2-(піролідин-1-іл)-1*H*-імідазол-5(4*H*)-они 3а–в. До 2 ммоль відповідного 6-ариліденімідазотіазолону **1г–е** додавали 2 мл піролідину та перемішували за кімнатної температури впродовж 24 годин. Надлишок аміну упарювали, залишок перекристалізовували з хлороформу.

1,1'-[Дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]біс[4-бензиліден-2-(піролідин-1-іл)-1*H*-імідазол-5(4*H*)-он] 3а. Вихід 39%, $T_{\text{топл}}$ 238–240°C. ІЧ спектр KBr, ν , cm^{-1} : 1642 (Ar), 1709 (C=O). ЯМР ^1H спектр, CDCl_3 , δ , м.ч. (KCCB, J , Гц): 1.25 д (3H, $^3J = 7.2$, CH_3), 1.93–1.96 м (4H_{пірол}), 1.15–1.20 м (1H, CH), 3.64–3.77 м (4H_{пірол}), 3.89 д. д (1H, $^2J = 14.8$, $^3J = 8.4$, CH_2), 3.99 д. д (1H, $^2J = 14.6$, $^3J = 7.0$, CH_2), 6.66 с (1H, CH=), 7.23–7.25 м (1H_{аром}), 7.36 т (2H_{аром}, $^3J = 7.6$), 8.07 д (2H_{аром}, $^3J = 7.6$). Спектр ЯМР ^{13}C ,

CF_3COOD , δ , м.ч.: 16.32 (CH_3), 23.21 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 25.61 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 45.06 (CH), 47.82 (CH_2), 51.19 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 52.06 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 122.02 (C^5), 124.16 (CH=), 129.20 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 129.66 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 130.29 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 131.79 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 152.06 (C^2), 164.70 (C^4). Мас-спектр m/z : 629 [M+H]⁺. Знайдено, %: C 65.23; H 6.36; N 13.27. $\text{C}_{34}\text{H}_{40}\text{N}_6\text{O}_2\text{S}_2$. Вирахувано, %: C 64.94; H 6.41; N 13.36.

1,1'-[Дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]-біс[4-(4-бромобензиліден)-2-(піролідин-1-іл)-1*H*-імідазол-5(4*H*)-он] 3б. Вихід 33%, $T_{\text{топл}}$ 264–266°C. ІЧ спектр KBr, ν , cm^{-1} : 1643 (Ar), 1713 (C=O). ЯМР ^1H спектр, CDCl_3 , δ , м.ч. (KCCB, J , Гц): 1.25 д (3H, $^3J = 6.8$, CH_3), 1.91–2.05 м (4H_{пірол}), 3.13–3.18 м (1H, CH), 3.64–3.74 м (4H_{пірол}), 3.88 д. д (1H, $^2J = 14.6$, $^3J = 8.2$, CH_2), 3.98 д. д (1H, $^2J = 15.0$, $^3J = 7.8$, CH_2), 6.56 с (1H, CH=), 7.47 д (2H_{аром}, $^3J = 8.4$), 7.94 д (2H_{аром}, $^3J = 8.0$). Спектр ЯМР ^{13}C , CF_3COOD , δ , м.ч.: 16.31 (CH_3), 23.17 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 25.54 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 45.08 (CH), 47.74 (CH_2), 51.23 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 52.14 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 122.31 (C^5), 122.36 (CH=), 126.58 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 129.05 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 130.81 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 132.57 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 152.14 (C^2), 164.48 (C^4). Мас-спектр m/z : 787 [M+H]⁺. Знайдено, %: C 52.12; H 4.82; N 10.79. $\text{C}_{34}\text{H}_{38}\text{Br}_2\text{N}_6\text{O}_2\text{S}_2$. Вирахувано, %: C 51.91; H 4.87; N 10.68.

1,1'-[Дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]-біс[4-(4-метилбензиліден)-2-(піролідин-1-іл)-1*H*-імідазол-5(4*H*)-он] 3в. Вихід 28%, $T_{\text{топл}}$ 213–215°C. ІЧ спектр KBr, ν , cm^{-1} : 1636 (Ar), 1717 (C=O). ЯМР ^1H спектр, CDCl_3 , δ , м.ч. (KCCB, J , Гц): 1.23 д (3H, $^3J = 7.2$, CH_3), 1.93–1.96 м (4H_{пірол}), 2.35 с (3H, CH_3), 3.15–3.22 м (1H, CH), 3.63–3.73 м (4H_{пірол}), 3.88 д. д (1H, $^2J = 14.8$, $^3J = 8.4$, CH_2), 3.98 д. д (1H, $^2J = 14.6$, $^3J = 6.6$, CH_2), 6.66 с (1H, CH=), 7.16 д (2H_{аром}, $^3J = 8.0$), 7.96 д (2H_{аром}, $^3J = 8.0$). Спектр ЯМР ^{13}C , CF_3COOD , δ , м.ч.: 16.29 (CH_3), 19.72 (CH_3), 23.32 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 25.65 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 45.10 (CH), 47.76 (CH_2), 51.16 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 51.95 ($\text{C}_{\text{пірол}}$), 122.19 (C^5), 124.74 (CH=), 127.45 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 129.88 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 129.93 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 144.04 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 151.89 (C^2), 164.87 (C^4). Мас-спектр m/z : 657 [M+H]⁺. Знайдено, %: C 66.04; H 6.69; N 12.68. $\text{C}_{36}\text{H}_{44}\text{N}_6\text{O}_2\text{S}_2$. Вирахувано, %: C 65.82; H 6.75; N 12.79.

1,1'-[Дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]-біс-4-ариліден-2-морфоліно-1*H*-імідазол-5(4*H*)-они 3г–д. До 2 ммоль відповідного 6-ариліденімідазотіазолону **1г–д** додавали 2 мл морфоліну та перемішували за кімнатної температури впродовж 24 годин. Надлишок

аміну упарювали, залишок перекристалізовували з хлороформу.

1,1'-[Дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]-біс(4-бензиліден-2-морфоліно-1H-імідазол-5(4H)-он) 3г. Вихід 29%, $T_{\text{топл}}$ 190–192°C. ІЧ спектр KBr, ν , cm^{-1} : 1639 (Ar), 1704 (C=O). ЯМР ^1H спектр, CDCl_3 , δ , м.ч. (KCCB, J , Гц): 1.29 д (3H, $^3J = 6.4$, CH_3), 3.34–3.38 м (1H, CH), 3.50–3.58 м (4H_{морф}), 3.77–3.87 м (6H, CH_2 _{морф} + CH_2), 6.86 с (CH=), 7.30–7.41 м (3H_{аром}), 8.07 д (2H_{аром}, $^3J = 7.2$). Спектр ЯМР ^{13}C , CDCl_3 , δ , м.ч.: 18.00 (CH_3), 44.03 (CH), 47.68 (CH_2), 48.36 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 48.42 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 66.08 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 66.15 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 121.18 (CH=), 128.58 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 129.02 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 131.40 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 134.96 (C^5), 137.93 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 160.78 (C^2), 171.95 (C^4). Мас-спектр m/z : 661 $[\text{M}+\text{H}]^+$. Знайдено, %: C 61.93; H 6.06; N 12.81. $\text{C}_{34}\text{H}_{40}\text{N}_6\text{O}_4\text{S}_2$. Вирахувано, %: C 61.79; H 6.10; N 12.72.

1,1'-[Дисуфанедіілбіс(пропан-2,1-дііл)]-біс[4-(4-метилбензиліден)-2-морфоліно-1H-імідазол-5(4H)-он] 3д. Вихід 31%, $T_{\text{топл}}$ 173–175°C. ІЧ спектр KBr, ν , cm^{-1} : 1640 (Ar), 1711 (C=O). ЯМР ^1H спектр, CDCl_3 , δ , м.ч. (KCCB, J , Гц): 1.26 д (3H, $^3J = 6.8$, CH_3), 2.37 с (3H, CH_3), 3.38–3.49 м (5H, CH + CH_2 _{морф}), 3.75–3.85 м (6H, CH_2 _{морф} + CH_2), 6.84 с (CH=), 7.19 д (2H_{аром}, $^3J = 7.2$), 7.97 д (2H_{аром}, $^3J = 6.4$). Спектр ЯМР ^{13}C , CDCl_3 , δ , м.ч.: 17.49 (CH_3), 21.14 (CH_3), 43.53 (CH), 47.16 (CH_2), 47.91 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 47.98 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 65.57 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 65.65 ($\text{C}_{\text{морф}}$), 121.15 (CH=), 128.88 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 130.93 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 131.69 (C^5), 136.71 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 138.91 ($\text{C}_{\text{аром}}$), 160.03 (C^2), 171.43 (C^4). Мас-спектр m/z : 689 $[\text{M}+\text{H}]^+$. Знайдено, %: C 62.98; H 6.40; N 12.08. $\text{C}_{36}\text{H}_{44}\text{N}_6\text{O}_4\text{S}_2$. Вирахувано, %: C 62.76; H 6.44; N 12.20.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Amarouch H. et al. Imidazo[2,1-*b*]thiazoles: analogues du levamisole. *Eur. J. Med. Chem.* 1987. No. 22. P. 463–466.
2. Синтез, протигрибкова та антибактеріальна активність N^1 -заміщених N^2 -(4,5-дигідро-1,3-тіазол-2-іл)гліцинамідів / Л.М. Салієва та ін. *Журн. орг. фарм. хім.* 2017. № 15 (3). С. 55–60.
3. Неожиданная реакция аминолиза 2-метил-2,3-дигидроимидазо[2,1-*b*][1,3]тиазол-5(6H)-она / Л.Н. Салиева и др. *Химия гетероцикл. соед.* 2018. № 54 (9). С. 902–904.
4. Gütschow M., Leistner S. A Simple Conversion of Thiazolo- and [1,3]Thiazino[2,3-*b*]quinazolinones and Analogous Fused Thieno[2,3-*d*]Pyrimidinones into Heterocyclic Alkyl Disulfides. *Synthesis*. 1995. P. 1488–1490.
5. Gütschow M., Dröbler K., Leistner S. 3-Mercaptoalkylthieno[2,3-*d*]Pyrimidin-2,4(1H,3H)-Dione: Synthese Und Prüfung Auf Immunstimulatorische Wirksamkeit. *Arch. Pharm.* 1995. № 328. P. 231–234.
6. Karolak-Wojciechowska J. et al. Reaction of 5,5-Diphenyl-2-Thiohydantoin with 1,2-Dibromoethane. Crystal and Molecular Structures of 2,3-Dihydro-6,6-Diphenylimidazo[2,1-*b*]Thiazol-5(6H)-one and 2,3-Dihydro-5,5-Diphenylimidazo[2,1-*b*]Thiazol-6(5H)-one and Their Reactivity. *Tetrahedron*. 1985. No. 41 (20). P. 4593–4602.
7. Синтез производных спиро[имидазо[2,1-*b*][1,3]тиазол-6,3'-пирролидина] / Л.Н. Салиева. *Химия гетероцикл. соед.* 2018. № 54 (2). С. 130–137.
8. Синтез і структурна функціоналізація 6-заміщених 2,3-дигідроімідазо[2,1-*b*][1,3]тіазол-5-онів / Л.М. Салієва. *Журн. орг. фарм. хім.* 2018. № 16 (2). С. 31–41.
9. Farghaly T.A., Gomha S.M., Abdalla M.M. Synthesis of a new series of angiotensin II receptor antagonists and antibacterial agents. *Arch. Pharm. Res.* 2013. № 37 (3). P. 306–314.
10. Gomha S.M., Abdel-aziz H.M., Khalil K.D. Synthesis and SAR Study of the Novel Thiadiazole-Imidazole Derivatives as a New Anticancer Agents. *Chem. Pharm. Bull.* 2016. № 64 (9). P. 1356–1363.
11. Gutierrez S. et al. Highly Fluorescent Green Fluorescent Protein Chromophore Analogues Made by Decorating the Imidazolone Ring. *Chem. Eur. J.* 2015. № 21 (51). P. 18758–18763.
12. Fang X. et al. Blue fluorescent protein analogs as chemosensors for Zn^{2+} . *Biosensors and Bioelectronics*. 2013. No. 42. P. 308–313.

REFERENCES:

1. Amarouch, H. et al. (1987) Imidazo[2,1-*b*]thiazoles: analogues du levamisole. *Eur. J. Med. Chem.* No. 22. P. 463–466. [in English]
2. Saliyeva, L.M. et al. (2017) Synthesis, the antifungal and antibacterial activity of N^1 -substituted N^2 -(4,5-dihydro-1,3-thiazol-2-yl)glycineamides. *J. Org. Pharm. Chem.* No. 15 (3). P. 55–60. [in Ukrainian]
3. Saliyeva, L.M. et al. (2018) Unexpected aminolysis reaction of 2-methyl-2,3-dihydroimidazo[2,1-*b*][1,3]thiazol-5(6H)-one. *Chem. Heterocycl. Comp.* No. 54 (9). P. 902–904. [in English]
4. Gütschow, M., Leistner, S. (1995) A Simple Conversion of Thiazolo- and [1,3]Thiazino[2,3-*b*]quinazolinones and Analogous Fused Thieno[2,3-*d*]Pyrimidinones into Heterocyclic Alkyl Disulfides. *Synthesis*. 1995. P. 1488–1490. [in English]

5. Gütschow, M., Dröbber, K., Leistner, S. (1995) 3-Mercaptoalkylthieno[2,3-*d*]Pyrimidin-2,4(1*H*,3*H*)-Dione: Synthese Und Prüfung Auf Immunstimulatorische Wirksamkeit. *Arch. Pharm.* No. 328. P. 231–234. [in English]
6. Karolak-Wojciechowska J. et al. (1985) Reaction of 5,5-Diphenyl-2-Thiohydantoin with 1,2-Dibromoethane. Crystal and Molecular Structures of 2,3-Dihydro-6,6-Diphenylimidazo[2,1-*b*]Thiazol-5(6*H*)-one and 2,3-Dihydro-5,5-Diphenylimidazo[2,1-*b*]Thiazol-6(5*H*)-one and Their Reactivity. *Tetrahedron.* No. 41 (20). P. 4593–4602. [in English]
7. Saliyeva, L.M. et al. (2018) Synthesis of spiro[imidazo[2,1-*b*][1,3]thiazole-6,3'-pyrrolidine]derivatives. *Chem. Heterocycl. Comp.* No. 54 (2). P. 130–137. [in English]
8. Saliyeva, L.M. et al. (2018) The synthesis and structural functionalization of 6-substituted 2,3-dihydroimidazo[2,1-*b*][1,3]thiazol-5-ones. *J. Org. Pharm. Chem.* № 16 (2). P. 31–41. [in Ukrainian]
9. Farghaly, T.A., Gomha, S.M., Abdalla, M.M. (2013) Synthesis of a new series of angiotensin II receptor antagonists and antibacterial agents. *Arch. Pharm. Res.* No. 37 (3). P. 306–314. [in English]
10. Gomha, S.M., Abdel-aziz, H.M., Khalil, K.D. (2016) Synthesis and SAR Study of the Novel Thiadiazole-Imidazole Derivatives as a New Anticancer Agents. *Chem. Pharm. Bull.* No. 64 (9). P. 1356–1363. [in English]
11. Gutierrez, S. et al. (2015) Highly Fluorescent Green Fluorescent Protein Chromophore Analogues Made by Decorating the Imidazolone Ring. *Chem. Eur. J.* No. 21 (51). P. 18758–18763. [in English]
12. Fang, X. et al. (2013) Blue fluorescent protein analogs as chemosensors for Zn²⁺. *Biosensors and Bioelectronics.* No. 42. P. 308–313. [in English]

УДК 712.4.01: 635.925: 625.77

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-9>

Вероніка СТАДНИК

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

ORCID: 0000-0001-6758-4483

Бібліографічний опис статті: Стадник, В. (2021). Ефективність використання квіткових трав'янистих рослин для озеленення дитячих майданчиків урбанізованих територій. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 57–62, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-9>

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КВІТКОВИХ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН
ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ ДИТЯЧИХ МАЙДАНЧИКІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ**

Хаотичне розміщення дитячих ігрових майданчиків призвело до того, що значна їх кількість не відповідає нормам. Ускладнює ситуацію той факт, що майданчики перебувають на балансі різних установ. Особливо гостро постала проблема озеленення їх території, адже наразі відсутній єдиний документ, що регламентує вимоги до озеленення дитячих ігрових майданчиків, та відсутній перелік рослин, які рекомендовано використовувати для створення захисних смуг зелених насаджень. Мета статті – оцінити ефективність використання квіткових трав'янистих рослин для створення захисних смуг зелених насаджень на дитячих ігрових майданчиках великих міст України. Вперше проведено дослідження ефективності використання високорослих квіткових трав'янистих рослин та лян для озеленення території дитячих майданчиків, що підтверджує наукову новизну роботи. У статті проаналізовано переваги та недоліки використання високорослих квіткових трав'янистих рослин і лян для озеленення дитячих майданчиків урбанізованих територій та наведено результати дослідження пилофільтрувальної функції таких рослин. Методологія базується на результатах фундаментальних досліджень ефективності захисних смуг зелених насаджень. За допомогою промірів та нанесення контурів на міліметровий папір були визначені площі листових пластин квіткових рослин. У подальшому на експериментальній ділянці було визначено кількість пилу, осадженого на листі рослин. Застосовуючи метод «пилової бурі», було проведено оцінку здатності листя зелених насаджень утримувати пил. За результатами досліджень можна дійти висновку, що деякі види рослин здатні утримати до 1,1 мг пилу на см², такий результат збігається з ефективністю деяких видів дерев і чагарників, які використовують для створення смуг зелених насаджень. Результати дослідження були впроваджені на контрольній ділянці – території дитячого майданчика у м. Харків, що підтверджує практичну значущість цієї роботи. Таким чином, дослідження зазначеної теми допоможе удосконалити сферу озеленення та благоустрою прибудинкових територій. Окреслена тема може зацікавити спеціалістів галузі охорони навколишнього середовища, урбаністики та містобудування.

Ключові слова: озеленення, зелені насадження, пилофільтрувальна функція, дитячі майданчики.

Veronika STADNIK

Postgraduate Student at the Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2 Kyrpychova str., Kharkiv, Ukraine, 61002

ORCID: 0000-0001-6758-4483

To cite this article: Stadnik, V. (2021). Efektyvnist vykorystannya kvitkovykh travyanystykh roslin dlya ozelenennya dytiachykh maydanchykyv urbanizovanykh terytoriy [Efficiency of using flowering herbaceous plants for landscaping children's playgrounds in urban areas]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 57–62, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-9>

**EFFICIENCY OF USING FLOWERING HERBACEOUS PLANTS
FOR LANDSCAPING CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN URBAN AREAS**

The chaotic placement of children's playgrounds has led to the fact that a significant number of them do not meet the standards. Complicating the situation is the fact that playgrounds are on the balance of different institutions. The problem of landscaping is particularly acute, as there is currently no single document regulating the requirements for landscaping of children's playgrounds and there is no list of plants that are recommended for use to create protective strips of greenery. The aim of the work is to assess the efficiency of using floral herbaceous plants to create protective

zones of green spaces at children's playgrounds in large cities of Ukraine. For the first time, a study of the effectiveness of using tall floral herbaceous plants and lianas for landscaping the territories of playgrounds was carried out, confirming the scientific novelty of the work. The article presents an analysis of the advantages and disadvantages of using tall flowering herbaceous plants for landscaping playgrounds of urbanised areas and the results of dust-filtering research of such plants. The methodology is based on the results of fundamental research on the efficacy of protective green spaces. The leaf areas of the flowering plants were determined by measuring and contouring on millimetre paper. Subsequently, the amount of dust deposited on the leaves of the plants was determined on the experimental site. Using the "dust storm" method, the ability of the leaves of the greenery to retain dust was assessed. According to the research results, it can be concluded that some plant species are capable of retaining up to 1.1 mg of dust per cm², this result coincides with the effectiveness of some types of trees and shrubs that are used to create strips of green spaces. The results of the study were implemented in a control area – the territory of the children's playground in Kharkiv, which confirms the practical relevance of this research. Thus, the research on this theme can improve the greening and landscaping of neighbourhoods. The article may be of interest to experts in ecology, urbanism and urban planning.

Key words: landscaping, greenery, dust-filtering function, playgrounds.

Дитячий майданчик є одним із найпопулярніших місць для проведення ігор дітей віком від 1,5 до 10 років та невід'ємним об'єктом для розвитку і соціалізації малечі. На ігрових майданчиках діти досліджують світ, спілкуються з однолітками, формують та розвивають навички ігрової діяльності, яка є фундаментальною у дитинстві, що підтверджується численними роботами педагогів і психологів (Кубата, Айзенбарт, 2018), (Выготский, 1966), (Стаєнна, 2018).

Облаштування дитячих ігрових майданчиків регламентується Наказом Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Правил будови і безпечної експлуатації атракціонної техніки», ДБН Б.2.2-5:2011 (зі змінами) та Наказом Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів».

Під час облаштування дитячого ігрового майданчика має враховуватися не лише безпека обладнання, але й екологічна безпека навколишнього середовища. Основні фактори екологічної безпеки дитячих майданчиків визначені у роботі (Стаднік, 2021), де зазначено, що наявність зелених насаджень та їх кількість належать до суттєво значущих факторів. Зелені насадження утворюють захисний бар'єр від пилового забруднення та шуму, що особливо важливо в сучасних великих містах.

Варто звернути увагу на те, що сьогодні відсутній єдиний перелік зелених насаджень, що рекомендовані для озеленення прибудинкових територій, зокрема територій ігрових майданчиків. У нормативних документах визначено дані щодо необхідності обсадження майданчиків смугами зелених насаджень (кущів та дерев) шириною не

менше 3 м. Слід зазначити, що у жодному документі висота смуги зелених насаджень не регламентується.

Швидкість росту кущів і дерев порівняно невелика, отже, виконувати свої захисні функції вони зможуть лише через 2–5 років, тому альтернативним способом є використання високорослих квіткових трав'янистих рослин, зокрема ліан, для вертикального озеленення. Наразі ефективність використання високорослих квіткових рослин не досить досліджена, що підтверджує актуальність цієї роботи.

На сьогоднішній день облаштуванням дитячих ігрових майданчиків займаються не тільки комунальні підприємства, а й громадські організації, представники політичних партій тощо. Таке неупорядковане розташування ігрових зон призводить до того, що деякі з них із часом стають занедбаними (Стаднік, 2021).

Було визначено переваги та недоліки використання високорослих квіткових насаджень та трав'янистих ліан для створення захисної смуги (рис. 1).



Рис. 1. Переваги та недоліки використання високорослих квіткових трав'янистих рослин

Однією з головних переваг є швидкість росту, адже високорослі квіткові рослини починають виконувати свої функції через 1–1,5 місяці після посадки, порівняно з кущами та деревами. Крім того, вартість насіння квіткових рослин набагато нижча за вартість саджанців дерев і кущів.

Неможливо не звернути увагу на декоративні функції високорослих квіткових трав'янистих рослин. Використовуючи їх комбінації, можна створювати цікаві ландшафтно-архітектурні композиції, які зроблять простір більш привабливим для прогулянок дітей. Адже те, що яскраві кольори привертають увагу малечі, є науково підтвердженим фактом (Семенюк, 2019).

Крім того, квіткові рослини є менш вибагливими, ніж кущі та дерева, адже при посадці останніх необхідно чітко дотримуватися відстаней між рослинами та вимог щодо глибини і ширини ями.

Якщо говорити про недоліки, то основним є відсутність досліджень захисних функцій зелених насаджень (пило-, шумо- та газозахисних). В якості додаткових конструкцій для ліан можна використовувати плетені паркани з гілок дерев, що також створить додатковий захисний бар'єр.

Для проведення дослідження було обрано 10 видів високорослих квіткових трав'янистих рослин (табл. 1) та 6 видів ліан (див. табл. 2). Під час вибору рослин враховувалися такі параметри:

Таблиця 1

Перелік обраних для дослідження високорослих квіткових трав'янистих рослин

Рід	Біноміальна назва	Родина	Класифікація за тривалістю життя	Висота, м
Арктотис (<i>Arctotis</i>)	<i>A. stoechadifolia</i> P.J.Bergius	Айстрові (<i>Asteraceae</i>)	Багаторічні	≤1
Кореопсис (<i>Coreopsis</i>)	<i>C. grandiflora</i> Hogg ex Sweet	Айстрові (<i>Asteraceae</i>)	Багаторічні	до 1
Ехінацея (<i>Echinacea</i>)	<i>E. angustifolia</i> DC.	Айстрові (<i>Asteraceae</i>)	Багаторічні	до 1,5
Геліотроп (<i>Heliotropium</i>)	<i>H. arborescens</i> L.	Шорстколисті (<i>Boraginaceae</i>)	Багаторічні	до 1,2
Кларкія (<i>Clarkia</i>)	<i>C. unguiculata</i> Lindl.	Онагрові (<i>Onagraceae</i>)	Однорічні	≤1
Скабіоза (<i>Scabiosa</i>)	<i>S. columbaria</i> L.	Жимолостеві (<i>Caprifoliaceae</i>)	Багаторічні	1,2
Астильба (<i>Astilbe</i>)	<i>A. chinensis</i> (Maxim.) Franch. & Sav.	Ломикаменеві (<i>Saxifragaceae</i>)	Багаторічні	1–1,5
Вербозілля (<i>Lysimachia</i>)	<i>L. vulgaris</i> L.	Мирсінові (<i>Myrsinaceae</i>)	Багаторічні	до 2
Дельфіній (<i>Delphinium</i>)	<i>D. elatum</i> L.	Жовтцеві (<i>Ranunculaceae</i>)	Багаторічні	до 1,5
Сідач (<i>Eupatorium</i>)	<i>E. cannabinum</i> L.	Айстрові (<i>Asteraceae</i>)	Багаторічні	до 2

Таблиця 2

Перелік обраних для дослідження квіткових трав'янистих ліан

Рід	Біноміальна назва	Родина	Класифікація за тривалістю життя	Висота, м
Атрагена (<i>Atragene</i>)	<i>A. alpina</i> L.	Жовтцеві (<i>Ranunculaceae</i>)	Багаторічні	3
Іпомея (<i>Ipomoea</i>)	<i>I. purpurea</i> (L.) Roth	Берізкові (<i>Convolvulaceae</i>)	Багаторічні	2–3
Кобея (<i>Cobaea</i>)	<i>Cobaea scandens</i> Cav.	Синюхові (<i>Polemoniaceae</i>)	Однорічні	до 4
Красоля (<i>Tropaeolum</i>)	<i>Tropaeolum majus</i> L.	Красолеві (<i>Tropaeolaceae</i>)	Багаторічні	до 2,5
В'юнок (<i>Convolvulus</i>)	<i>Convolvulus tricolor</i> L.	Берізка (<i>Convolvulus</i>)	Однорічні	до 0,5
Кампсис (<i>Campsis</i>)	<i>Campsis radicans</i> Seem.	Бігнонієві (<i>Bignoniaceae</i>)	Багаторічні	до 15

безпечність (відсутність колючок, отруйних плодів), висота, примхливість, швидкість росту, площа листової поверхні (або розгалуженість стебла), декоративні функції. Безпечність визначалася за додатком 1 до Санітарного регламенту для закладів загальної середньої освіти (пункт 3 розділу II) «Перелік рослин, дерев, кущів із колючками, отруйними плодами», який було затверджено Міністерством охорони здоров'я України.

Із таблиці зрозуміло, що більшість рослин є багаторічними та сягають висоти понад 1 метр, а деякі виростають навіть до 2-х метрів.

Як і у випадку з високорослими квітковими рослинами, більшість з наведених видів ліан є багаторічними. Максимальним за висотою є *Campsis radicans* Seem. (до 15 м). У середньому висота наведених рослин сягає 2–3 м.

У травні 2019 р. на експериментальній ділянці – дитячому майданчику у м. Харків, розташованому на відстані 10 м від автодороги, – були висаджені обрані для дослідження рослини. Щороку (з 2019 р. по 2021 р. включно) у серпні відбиралися проби листя за уніфікованою технікою: листя зрізалося ножицями та пакувалося в пакети з попередньо нанесеним маркуванням. Після того, як листя було доставлено до лабораторії, проводився змив пилових частинок: для цього у склянки наливали по 40 мл 0,1% розчину ОП-10 й опускали туди листя. Для повного видалення пилових частинок із листя вміст склянок обережно перемішували, не травмуючи рослини, витягували листя, розправляли на рівній поверхні і залишали для вимірювання площі. Розчин ОП-10, що містив

змитий пил, фільтрували через попередньо зважений сухий беззольний фільтр (синю стрічку), потім висушували фільтр до постійної ваги. Різниця мас фільтра після і до фільтрування розчину відповідала кількості нерозчинних пилових частинок.

Для визначення кількості розчиненого пилу профільтрований розчин виливали у заздалегідь зважену випарювальну чашку і нагрівали на водяній бані до повного випаровування води, після чого зважували чашку повторно. Різниця мас чашки після і до випаровування відповідала кількості розчиненого пилу, що перейшов у розчин. У подальшому було розраховано площу листової поверхні. Для рослин з лінійною формулою листя площа листової поверхні визначалася методом промірів, в інших – за допомогою нанесення контурів листа на міліметровий папір. Після розрахунку отримана площа листка подвоювалась, адже змив відбувався з обох сторін, так було розраховано кількість пилу на одиниці площі листя кожного виду рослин.

Для методу «пилової бурі» було окремо відібрано по 10 листків кожного виду. Промите та висушене природним шляхом листя зважили на аналітичних вагах, зв'язали за черешки та помістили у банку з придорожнім пилом, потрусили впродовж 30 секунд, після чого дістали листя та зважили повторно. Розрахувавши різницю мас, обчислили середнє арифметичне, щоб визначити середню масу пилу, яку здатен утримати 1 лист.

Результати обох досліджень представлені у таблицях 3 та 4.

Таблиця 3

**Результати дослідження пилофільтрувальної здатності
високорослих квіткових трав'янистих рослин**

Біноміальна назва	Маса розчинених частинок пилу на 1 см ² , мг/см ²			Маса нерозчинених частинок пилу на 1 см ² , мг/см ²			Середня маса утриманого пилу листом, мг/1 лист
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	
<i>A. stoechadifolia</i> P.J.Bergius	0,8	0,7	0,9	0,1	0,2	0,2	26
<i>C. grandiflora</i> Hogg ex Sweet	0,6	0,7	0,6	0,3	0,2	0,3	25
<i>E. angustifolia</i> DC.	0,4	0,6	0,5	0,2	0,2	0,2	55
<i>H. arborescens</i> L.	0,6	0,8	0,8	0,2	0,3	0,2	30
<i>C. unguiculata</i> Lindl.	0,9	0,9	1,0	0,2	0,2	0,3	65
<i>S. columbaria</i> L.	0,5	0,5	0,7	0,3	0,3	0,2	22
<i>A. chinensis</i> Fr. & Sav.	1,0	1,1	1,1	0,3	0,2	0,3	75
<i>L. vulgaris</i> L.	1,1	1,1	1,1	0,4	0,3	0,4	62
<i>D. elatum</i> L.	0,7	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	32
<i>E. cannabinum</i> L.	0,9	0,9	1,0	0,1	0,1	0,2	24

Таблиця 4

Результати дослідження пилофільтрувальної здатності квіткових трав'янистих ліан

Біноміальна назва	Маса розчинених частинок пилу на 1 см ² , мг/см ²			Маса нерозчинених частинок пилу на 1 см ² , мг/см ²			Середня маса утриманого пилу листом, мг/1 лист
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	
<i>A. alpina</i> L.	0,6	0,6	0,8	0,2	0,2	0,2	55
<i>I. purpurea</i> (L.) Roth	0,4	0,6	0,6	0,1	0,2	0,3	38
<i>Cobaea scandens</i> Cav.	0,6	0,5	0,6	0,3	0,2	0,3	42
<i>Tropaeolum majus</i> L.,	0,6	0,8	0,5	0,2	0,3	0,3	26
<i>Convolvulus tricolor</i> L.,	0,5	0,7	0,7	0,3	0,3	0,2	16
<i>Campsis radicans</i> Seem.	0,9	1,1	1,3	0,2	0,2	0,3	28

Маса розчинених пилових частинок, що були утримані листовою поверхнею зелених насаджень, досягала 1,1 мг/см², а нерозчинених – 0,4 мг/см². Середня маса пилу, яку здатен утримувати 1 лист, варіюється від 12 до 75 мг, залежно від виду.

Маса розчинених пилових частинок, що були утримані листовою поверхнею ліан, досягала 1,3 мг/см², а нерозчинених – 0,3 мг/см². Середня маса пилу, яку здатен утримувати 1 лист, варіюється від 16 до 55 мг, залежно від виду.

Якщо порівнювати з деревами та кущами, які використовують для озеленення прибудинкових територій і дитячих майданчиків, то можна стверджувати, що пилофільтрувальна здатність досліджуваних у роботі зелених насаджень знаходиться на рівні бузку звичайного (*Syringa vulgaris* L.) з масою пилу, яку здатен утримати 1 лист, у межах від 29 до 76 мг; тополі бальзамічної (*Populus balsamifera* Torr. & A.Gray) – 32–54 мг/1 лист; берези повислої (*Betula pendula* Roth.) – 20–52 мг/1 лист; липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) – 12–52 мг/1 лист; кизиль-

ника чорноплідного (*Cotoneaster melanocarpus* (Ledeb.) Lodd.) – 21–61 мг/1 лист (Жумадилова, 2014).

Отримані результати досліджень підтверджують ефективність використання високорослих квіткових трав'янистих рослин та ліан у створенні захисних смуг зелених насаджень. Крім того, пилофільтрувальну функцію виконує не тільки листя, але й самі квіти та стебла.

Висновки та пропозиції. За результатами дослідження дійшли висновку, що високорослі трав'янисті квіткові рослини мають високий рівень пилофільтрувальних властивостей, тому їх можна використовувати як альтернативу з метою озеленення територій дитячих майданчиків або як тимчасову захисну смугу зелених насаджень, яка буде замінена кущами та деревами.

Окрім пилофільтрувальної здатності, до переваг високорослих квіткових рослин відносяться також декоративні функції, адже в процесі формування смуги зелених насаджень можна закласти основи ландшафтного дизайну, що зробить територію майданчика більш привабливою для дітей.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кубата Н.П., Айзенбарт М.М. Гра як засіб формування соціальної компетенції у дітей старшого дошкільного віку. *Молодий вчений*. 2018. № 5. С. 53–57.
2. Выготский Л.С. Игра и ее роль в психическом развитии ребенка. *Вопросы психологии*. 1966. № 6. С. 62–68.
3. Стаєнна О.О. Ігрова діяльність дошкільників: сучасний формат. *Вихователь-методист дошкільного закладу*. 2018. № 10. С. 38–42.
4. Про затвердження Правил будови і безпечної експлуатації атракціонної техніки : Наказ України / Міністерство охорони здоров'я України. 2009. № 653.
5. Державні будівельні норми Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. Планування та забудова міст, селищ і функціональних територій. Київ : Мінрегіон, 2012. 61 с.
6. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів : Наказ України / Міністерство охорони здоров'я України. 2018. № 952.
7. Стаднік В.Ю. Оцінка факторів екологічної безпеки дитячих майданчиків методом рангової кореляції. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2021. № 2. С. 49–57.

8. Стаднік В.Ю. Оцінка якості озеленення дитячих майданчиків в умовах урбанізованого середовища. *Інноваційні технології в архітектурі і дизайні* : матеріали V міжнар. наук.-практ. конф., 20–21 травня 2021 р. Харків : ХНУБА, 2021. С. 474–475.
9. Семенюк О.М. Особливості впливу кольору на дітей дошкільного віку. *Дошкільна освіта у сучасному соціо-культурному просторі* : зб. наук. праць / за ред. О.А. Гнізділової. Полтава : ФОП Цьома, 2019. Вип. 3. С. 174–177.
10. Про затвердження санітарного регламенту для закладів загальної середньої освіти : Наказ України / Міністерство охорони здоров'я України. 2020. № 2205.
11. Жумадилова А.Ж. Пылеудерживающая способность древесных и кустарниковых растений. *Новости науки Казахстана*. 2014. № 2. С. 38–48.

REFERENCES:

1. Kubata, N.P., Aizenbart, M.M. (2018) Hra yak zasib formuvannia sotsialnoi kompetentsii u ditei starshoho doshkilnogo viku [Play as a means of social competence formation in older preschool children]. *Molodyi vchenyi*. P. 53–57. [in Ukrainian]
2. Vyhotskyi, L.S. (1966) Ihra i ee rol v psykicheskoy rozvitii rebenka [The game and its role in the child's mental development]. *Voprosy psikhologii*. No. 6. S. 62–68. [in Russian]
3. Staienna, O.O. (2018) Ihrova diialnist doshkilnykiv: suchasnyi format [Playing activities of preschoolers: a modern format]. *Vykhovatel-metodyst doshkilnogo zakladu*. No. 10. P. 174–177. [in Ukrainian]
4. Nakaz Ukrainy "Pro zatverdzhennia Pravyl budovy i bezpechnoi ekspluatatsii atraktsionnoi tekhniki" [On approval of the Rules of construction and safe operation of amusement equipment] / Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. 2009. № 653. [in Ukrainian]
5. Derzhavni budivelni normy B.2.2-5:2011. Blahoustrii terytorii. Planuvannia ta zabudova mist, selyshch i funktsionalnykh terytorii [Planning and construction of cities, towns and functional areas]. Kyiv : Minrehion, 2012. 61 s.
6. Nakaz Ukrainy "Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh pravyl planuvannia ta zabudovy naselenykh punktiv" [About the statement of the State sanitary rules of planning and building of settlements] / Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. 2018. № 952.
7. Stadnik, V.Yu. (2021) Otsinka faktoriv ekolohichnoi bezpeky dytiachykh maidanchykyv metodom ranhovoï koreliatsii [Estimation of factors of ecological safety of playgrounds by a method of rank correlation]. *Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia*. № 2. P. 49–57. [in Ukrainian]
8. Stadnik, V.Yu. (2021) Otsinka yakosti ozelenennia dytiachykh maidanchykyv v umovakh urbanizovanoho seredovyscha [Assessment of the quality of landscaping of playgrounds in an urban environment]. *Innovatsiini tekhnologii v arkhitekturi i dizaini* : materialy V mizhnar. nauk.-prakt. konf., 20–21 travnia 2021 r. Kharkiv : KhNUBA. P. 474–475. [in Ukrainian]
9. Semeniuk, O.M. (2019) Osoblyvosti vplyvu koloru na ditei doshkilnogo viku [Features of the influence of color on preschool children]. *Doshkilna osvita u suchasnomu sotsiokulturnomu prostori*. Vyp. 3. P. 174–177. [in Ukrainian]
10. Nakaz Ukrainy "Pro zatverdzhennia Sanitarnoho rehlementu dlia zakladiv zahalnoi serednoi osvity" [About the statement of sanitary regulations for establishments of general secondary education] / Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy. 2020. № 2205. [in Ukrainian]
11. Zhumadylova, A.Zh. (2014) Pyleuderzhyvaiushchaia sposobnost drevesnykh kustarnykovykh rastenyi [Dust holding capacity of woody and shrubby plants]. *Novosti nauki Kazakhstana*. No. 2. P. 38–48. [in Russian]

УДК 504.4.054

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-10>

Ірина ШАХМАН

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри географії та екології, Херсонський державний університет, вул. Університетська, 27, м. Херсон, Україна, 73000

ORCID: 0000-0001-6204-4410

Scopus-Author ID: 57198424698

Бібліографічний опис статті: Шахман, І. (2021). Інтегральне оцінювання ступеня забруднення водного середовища пониззя річки Дністер. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 3, 63–69, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-10>

ІНТЕГРАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ПОНИЗЬЯ РІЧКИ ДНІСТЕР

Поверхневі прісні водні ресурси забезпечують життєдіяльність суспільства і біоти та є обмеженими й уразливими до антропогенного впливу. Інтенсивне використання річкових водних ресурсів для потреб суспільства призводить до зміни гідроекологічного стану водних об'єктів, тому актуальним залишається моніторинг ступеня забруднення водного середовища. Сучасне водокористування в басейні р. Дністер демонструє різне поєднання зміни обсягів водозабору та обсягів скидів забруднених вод у часі. Нагальною є проблема погіршення якості води після виходу р. Дністер із території Республіки Молдова.

Метою роботи стало проведення інтегрального оцінювання ступеня забруднення водного середовища пониззя річки Дністер упродовж 2011–2020 рр.

У статті наведено часову динаміку зміни ступеня забруднення водного середовища у створі р. Дністер – с. Маяки (16 км від гирла) за гідрохімічними показниками. За спостереженнями впродовж 2011–2020 рр. відбувається стійке зменшення середньорічних концентрацій хлоридів, сульфатів та завислих речовин. У 2020 р. фіксується перевищення щомісячних концентрацій загального азоту та збільшення гранично допустимих концентрацій нітритів. Здійснено інтегральне оцінювання ступеня забруднення водного середовища пониззя р. Дністер за 2011–2020 рр., відповідно до нормативів якості поверхневих водних об'єктів, призначених для рибогосподарських потреб, за коефіцієнтом забруднення вод, який враховує ефект сумації забруднювальних речовин. Акцентовано увагу на прямо пропорційній залежності коефіцієнта забруднення вод від обсягу зворотних забруднених вод, що відводяться у поверхневі водні об'єкти (2017–2019 рр.).

Доведено необхідність вживання суб'єктами господарювання природоохоронних заходів, спрямованих на зменшення надходження у поверхневі води пониззя р. Дністер забруднених зворотних вод із вмістом речовин, які мають ефект сумації.

Ключові слова: ступінь забруднення, інтегральне оцінювання, річка Дністер.

Iryna SHAKHMAN

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Geography and Ecology, Kherson State University, 27 Universitetska str., Kherson, Ukraine, 73000

ORCID: 0000-0001-6204-4410

Scopus-Author ID: 57198424698

To cite this article: Shakhman, I. (2021). Integralne otsiniuvannia stupenia zabrudnennia vodnoho seredovyshcha ponyzzia richky Dnister [The water pollution degree integrated assessment of the Lower Section of the Dniester River]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 3, 63–69, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-10>

THE WATER POLLUTION DEGREE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE LOWER SECTION OF THE DNIESTER RIVER

Surface fresh water resources ensure the viability of human society and biota, they are limited and vulnerable. Intensive use of river water resources for the needs of society leads to changes in the hydroecological state of water bodies, so monitoring the degree of pollution of the aquatic environment remains relevant. Modern water use in the Dniester River basin demonstrates a different combination of changes in water intake and discharges of polluted water over time. The

problem of deterioration of river water quality after the Dniester River leaves the territory of the Republic of Moldova is especially acute.

The purpose of the paper was to conduct the water pollution degree integrated assessment of the Lower Section of the Dniester River for the period 2011–2020.

The article presents the temporal dynamics of changes in the degree of pollution of the aquatic environment in the Dniester River – village Mayaky (16 km from the river mouth) by hydrochemical parameters. During 2011–2020, there was a steady decrease in the average annual concentrations of Chlorides, Sulphates and Suspended solids. In 2020, there is an excess of monthly concentrations of total nitrogen and an increase above the maximum permissible concentrations of Nitrites. The water pollution degree integrated assessment of the Lower Section of the Dniester River for 2011–2020 in accordance with the quality standards of surface water bodies intended for fishery needs, according to the coefficient of water pollution, which takes into account the effect of summation of pollutants. Emphasis is placed on the directly proportional dependence of the coefficient of water pollution on the amount of return polluted water discharged into surface water bodies (2017–2019).

The necessity of carrying out environmental protection measures by economic entities aimed at reducing the inflow of surface return waters into the surface waters of the Dniester River, containing substances that have the effect of summation, has been proved.

Key words: *pollution degree, integrated assessment, the Dniester River.*

Актуальність проблеми. Важливою проблемою водозабезпечення України є збереження річок – основного, найбільш доступного джерела прісної води. Ієрархія екологічних систем, на вершині якої перебуває екосистема людини, залежить від наявності води та ступеня її забруднення. За дефіциту або суттєвого погіршення якості води відбувається деградація, розпад екосистем, включаючи екосистему людини. Основний вплив на водні ресурси чинять антропогенні фактори, зокрема, регулювання стоку водосховищами, агротехнічні заходи, лісомеліорація, комунальне і промислове водоспоживання та водовідведення, урбанізація тощо. Кількісне та якісне оцінювання ступеня забруднення річок складне, адже зміна якості води зумовлена просторово-часовими природними коливаннями стоку та антропогенним впливом. Тому, як і раніше, актуальними залишаються питання водної безпеки як України (Рішення Ради національної безпеки й оборони України, 2021), так і світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема оцінювання стану якості вод басейну р. Дністер у 2015 р. займалися вчені Одеського екологічного університету (Колісник, 2015: 202). Науковці з'ясували, що поверхневі води Дністровського басейну в межах Вінницької області суттєво забруднені. Також були проведені дослідження якості питної води р. Дністер (водозбір за 1998–2012 рр.) (Романчук, 2015: 114). Вчені проаналізували якість води в місцях джерел централізованого питного водопостачання, відповідно до чинних нормативів, і дослідили зміни біогенних речовин упродовж характерних за водністю років.

Спеціалісти в межах проєкту ГЕФ «Сприяння трансграничному співробітництву і комплексному управлінню водними ресурсами в басейні річки Дністер» зробили оцінку екологічного та хімічного статусів поверхневих вод р. Дністер за 2018 рік (План управління трансграничним речним басейном, 2019: 83), відповідно до методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також методики віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод. Дослідники трансграничного масиву поверхневих вод басейну р. Дністер у межах території України наголосили на ризику недосягнення «доброго» екологічного та «доброго» хімічного статусів.

Дослідження стану поверхневих вод за хімічними показниками в басейні р. Дністер, яке проводилося лабораторією моніторингу вод Західного регіону в 2020 р., демонструє, що більшість забруднювальних речовин виявлено у водоймі на постах спостереження Одеської області, після виходу Дністра з території Республіки Молдова. Загальний аналіз лабораторних досліджень показав, що у 18 масивах поверхневих вод басейну р. Дністер вміст забруднювальних речовин перевищує екологічні нормативи, що відповідає II класу екологічного стану недосягнення «доброго» статусу (Хімічний стан, 2021: 3).

Результати просторово-часового аналізу екологічного стану трансграничних вод басейну р. Дністер за комплексними показниками екологічного стану впродовж 2011–2020 рр.

доводять, що екологічний стан р. Дністер у верхній течії оцінюється як нестійкий; у середній течії (трансграничний пост перед кордоном із Республікою Молдова: р. Дністер – м. Могилів-Подільський (631 км від гирла)) – стійкий із ознаками нестійкості; після виходу річкових вод із території Республіки Молдова також спостерігається нестійкий екологічний стан (Shakhman, 2021: 119).

Метою дослідження є інтегральне оцінювання ступеня забруднення водного середовища пониззя р. Дністер упродовж 2011–2020 рр.

Виклад основного матеріалу. Головними факторами антропогенного навантаження на поверхневі водні ресурси є як значне водоспоживання різними галузями економіки України та Республіки Молдова, так і скиди забруднених вод. Негативний вплив на екосистему річки від витоку до гирла переважно зумовлений виробничою діяльністю нафтопереробних заводів, хімічних комбінатів, підприємств вугільної, харчової, лісової промисловості, комунально-побутових, енергетичних підприємств, сільського господарства України.

Значний обсяг води, що забирається з природних джерел, як і раніше, втрачається під час її транспортування до водокористувачів, зокрема внаслідок фільтрації, витоків, аварій у системах подачі води від місця забору води до місця її використання.

Розвинене на території України і Республіки Молдова сільське господарство (виробництво зернових, овочів, садівництво, тваринництво) призводить до забруднення водних об'єктів мінеральними добривами і пестицидами.

Негативний вплив на ступінь забруднення водного середовища пониззя р. Дністер чинять підприємства Республіки Молдова (металургійний завод у м. Рибніца, цементні заводи міст Рибніца і Резина). Щорічний водозабір із басейну р. Дністер Республікою Молдова становить 754,0 млн м³ (96%). Загальний обсяг скинутих вод по країні досягає 667,0 млн м³,

з яких на басейн Дністра припадає 661,8 млн м³ (99%) (Сайт Днестровської комісії, 2021).

Останніми роками часова динаміка водокористування в басейні р. Дністер у межах Одеської області свідчить про зменшення водовідведення у Чорне море забруднених зворотних вод річкою Дністер (табл. 1) (Департамент екології та природних ресурсів, 2021).

Спостереження за якістю поверхневих вод басейну р. Дністер у його пониззі на території Одеської області проводять на двох постах р. Дністер (у с. Маяки та смт. Біляївка) та на чотирьох постах, розташованих на притоках р. Дністер, після виходу водотоків із території Республіки Молдова (Дністровське басейнове управління, 2020). У створах р. Дністер, розташованих на українській території до кордону з Республікою Молдова, якість води, як правило, вища, ніж після виходу з території Республіки Молдова, в Одеській області (Національна доповідь, 2019).

Методики, які були використані в попередніх дослідженнях (План управління трансграничним речним басейном, 2019), (Хімічний стан, 2021), ґрунтувалися на порівнянні фактичних кількісних показників якості води з гранично допустимими концентраціями без урахування потенційно можливого ефекту сумації забруднювальних речовин. Тому цікавим є інтегральне оцінювання ступеня забруднення водного середовища на основі комплексних показників, які враховують ефект сумації забруднювальних речовин (Бардов, 2006), (Юрасов, 2012). Це особливо важливо для пониззя р. Дністер, гідроекологічний режим якого впливає на формування унікальних природних систем Нижньодністровського національного природного парку.

Комплексні показники розраховуються за гідрохімічними параметрами і використовуються, коли необхідно простежити тенденцію просторово-часової зміни стану поверхневих вод під впливом природних та антропоген-

Таблиця 1

Забір, використання та відведення води в Чорне море річкою Дністер

Роки	Забрано води з природних водних об'єктів, млн м ³	Використано води, млн м ³	Водовідведення у поверхневі водні об'єкти	
			всього, млн м ³	з них забруднених зворотних вод, млн м ³
2017	156,0	102,8	11,94	10,743
2018	147,9	109,9	10,27	9,750
2019	162,6	113,2	10,90	0,407

них процесів (Bystrantseva, 2019), (Shakhman, 2021). Інтегральне оцінювання за гідрохімічними показниками складається з двох етапів: розрахунку кількісного показника й якісного оцінювання ступеня забруднення водного середовища (Бардов, 2006), (Юрасов, 2012).

Проаналізовано ступінь забруднення водного середовища пониззя р. Дністер у часі, відповідно до рибогосподарських нормативів, найбільш чутливих до зміни якості річкової води.

Порівняльний аналіз середньорічних концентрацій забруднювальних речовин за період спостережень 2011–2020 рр. для створу р. Дністер – с. Маяки (16 км від гирла) демонструє, що основні гідрохімічні параметри пониззя р. Дністер змінилися в широких межах (рис. 1).

Спостерігається поступове стійке зниження середньорічних концентрацій хлоридів і сульфатів, які менші за гранично допустимі концентрації (ГДК). Майже в межах норми у 2020 р. і концентрації завислих (суспендованих) речовин. Але водночас відзначається різке збільшення в 2020 р. середньорічної концентрації нітрит-іонів (16.11.2020 р. зафіксовано 4,50 мг/дм³ за ГДК_{рг} = 0,08 мг/дм³) та постійне перевищення норм синтетично поверхневих аніонних речовин (СПАР) від 40,3 ГДК у 2012 р. до 12,5 ГДК у 2014 р. Із 2020 р. відновлені спостереження за загальним азотом, показники якого в середньому

перевищують ГДК в 17 разів (Дністровське басейнове управління, 2020).

На наступному етапі дослідження здійснено інтегральне оцінювання ступеня забруднення водного середовища пониззя р. Дністер на основі розрахунку комплексного показника – коефіцієнта забруднення вод χ (Бардов, 2006), (Юрасов, 2012). Приклад розрахунку для створу р. Дністер – с. Маяки за 2020 р. за рибогосподарськими нормативами наведений у таблиці 2.

Зведені результати інтегрального оцінювання ступеня забруднення водного середовища пониззя р. Дністер за 2011–2020 рр., відповідно до нормативів якості поверхневих вод, призначених для потреб рибного господарства, представлені в таблиці 3.

Аналіз даних таблиць 1 і 3 демонструє прямо пропорційну залежність коефіцієнта забруднення вод χ від обсягу зворотних забруднених вод, що відводяться у поверхневі водні об'єкти.

Результати оцінювання ступеня забруднення водного середовища пониззя р. Дністер дозволяють рекомендувати суб'єктам господарської діяльності, розташованим у зоні впливу об'єкта дослідження, впровадження заходів, спрямованих на зменшення надходження у поверхневі води пониззя р. Дністер забруднювальних речовин, що мають ефект сумачії.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Здійснено оцінювання ступеня забруд-

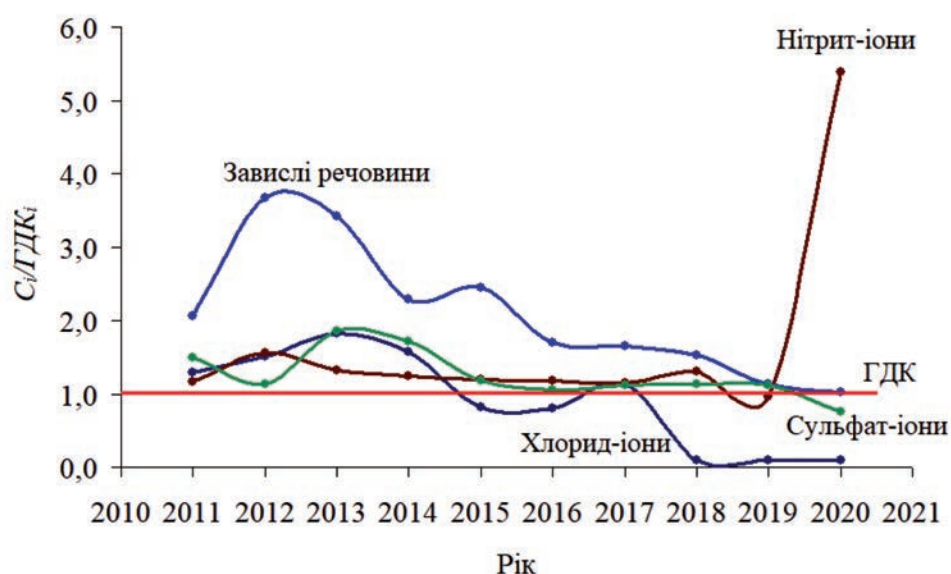


Рис. 1. Ступінь забруднення водного середовища р. Дністер – с. Маяки за гідрохімічними параметрами за період спостережень 2011–2020 рр.

Таблиця 2

**Інтегральне оцінювання ступеня забруднення водного середовища
понижся р. Дністер у 2020 р.**

Показник	$C_i/ГДК_i$	З пріоритетами			Без пріоритетів		
		ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i) C_i/ГДК_i$	ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i) C_i/ГДК_i$
БСК ₅	0,85	1	1,000000	0,850000	7	0,109375	0,092969
Розчинений кисень	0,62	4	0,500000	0,310000	9	0,035156	0,021797
Завислі речовини	1,03	8	0,062500	0,064375	4	0,500000	0,515000
Іон амонію	0,96	2	1,000000	0,960000	5	0,312500	0,300000
Нітрит-іони	5,39	6	0,187500	1,010625	2	1,000000	5,390000
Нітрат-іони	0,05	13	0,003174	0,000159	13	0,003174	0,000159
Хлорид-іони	0,10	11	0,010742	0,001074	11	0,010742	0,001074
Сульфат-іони	0,76	10	0,019531	0,014844	8	0,062500	0,047500
Фосфат-іони	0,09	12	0,005859	0,000527	12	0,005859	0,000527
СПАР	17,6	5	0,312500	5,500000	1	1,000000	17,60000
ХСК	0,90	9	0,035156	0,031640	6	0,187500	0,168750
Залізо	1,10	7	0,109375	0,120313	3	0,750000	0,825000
Нафтопродукти	0,20	3	0,750000	0,150000	10	0,019531	0,003906
Σ			3,996337	9,013557		3,996337	24,966682
$\chi = 9,013557/3,996337 = 2,26$ (припустима)				$\chi = 24,966682/3,993163 = 6,25$ (катастрофічна)			

Таблиця 3

**Зведені результати інтегрального
оцінювання ступеня забруднення
водного середовища
понижся р. Дністер за 2011–2020 рр.**

Роки	Оцінка ступеня забруднення			
	з пріоритетами		без пріоритетів	
2011	2,84	припустима	8,52	катастрофічна
2012	3,92	істотна	11,8	катастрофічна
2013	2,00	припустима	5,86	катастрофічна
2014	1,58	мала	4,40	інтенсивна
2015	2,49	припустима	7,41	катастрофічна
2016	1,95	мала	5,01	катастрофічна
2017	2,47	припустима	6,69	катастрофічна
2018	2,43	припустима	6,68	катастрофічна
2019	1,97	мала	5,30	катастрофічна
2020	2,26	припустима	6,25	катастрофічна

нення водного середовища понижся р. Дністер у часі, відповідно до рибогосподарських нормативів. Згідно зі спостереженнями впродовж 2011–2020 рр. відбувається стійке зменшення середньорічних концентрацій хлоридів, суль-

фатів і завислих речовин. У 2020 р. фіксується перевищення щомісячних концентрацій загального азоту та збільшення гранично допустимих концентрацій нітритів. Результати інтегрального оцінювання ступеня забруднення водного середовища понижся р. Дністер демонструють переважно припустиме забруднення за розрахунок з пріоритетами та катастрофічний рівень забруднення за розрахунок без пріоритетів. Потенційно можливий ефект сумачії забруднювальних речовин спричинює гідроекологічний режим понижся річки, який своєю чергою впливає на розвиток унікальних природних комплексів Нижньодністровського національного природного парку.

Одержані результати дослідження свідчать, що ступінь забруднення водного середовища понижся р. Дністер зумовлений обсягами надходження забруднених зворотних вод, тому необхідно вживати природоохоронних заходів, спрямованих на зниження надходження у поверхневі води понижся р. Дністер забруднювальних речовин, що мають ефект сумачії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Про стан водних ресурсів України : рішення Ради національної безпеки й оборони України від 30 липня 2021 р. URL: <https://www.rnbo.gov.ua/ua/Ukazy/4954.html> (дата звернення: 06.09.2021).

2. Колісник А.В. Сучасний стан якості вод басейну річки Дністер на транскордонних ділянках. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. № 16. С. 202–208.
3. Оцінка якості води р. Дністер-водозабір за гідрохімічними показниками протягом 1998–2012 рр. та особливості змін біогенних речовин за характерні по водності роки / М.Є. Романчук та ін. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2015. № 19. С. 114–119.
4. План управління трансграничным речным бассейном Днестра. URL: https://dniester-commission.com/wp-content/uploads/2019/07/Dniester_TDA_July2019.pdf (дата звернення: 06.05.2021).
5. Хімічний стан масивів поверхневих вод басейну Дністра у 2020 р. URL: <https://vodaif.gov.ua/wp-content/uploads/2021/02/PIDSUMOK-za-2020-rik-laboratoriya.pdf> (дата звернення: 08.09.2021).
6. Shakhman I.O., Bystriantseva A.M. Spatio-Temporal Analysis of the Ecological State of the Dniester River Transboundary Water. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. No. 22 (9). P. 119–127.
7. Сайт Днестровской комиссии. URL: <https://dniester-commission.com/bassejn-reki-dnestr/region/> (дата звернення: 21.08.2021).
8. Департамент екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації. URL: <https://ecology.odessa.gov.ua/zvti/> (дата звернення: 21.08.2021).
9. Дністрівське басейнове управління водних ресурсів. URL: <https://vodaif.gov.ua> (дата звернення: 23.08.2021).
10. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2019 р. URL: <https://mepr.gov.ua/timeline/Nacionalni-dopovidi-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha-v-Ukraini.html> (дата звернення: 03.09.2021).
11. Гігієна та екологія : підручник / В.Г. Бардов ; за ред. В.Г. Бардова. Вінниця : Нова Книга, 2006. 720 с.
12. Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В. Оцінка якості природних вод : навчальний посібник. Одеса : Екологія, 2012. 168 с.
13. Bystriantseva A.M., Shakhman I.O., Bystriantsev M.V. Spatio-temporal representation of the ecological state of the surface waters of the Lower Section of the Dnieper River using GIS technologies. *Proc. ICTERI*. 2019. Issue 2387.
14. Shakhman I.O., Bystriantseva A.M. Water Quality Assessment of the Surface Water of the Southern Bug River Basin by Complex Indices. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. No. 22 (1). P. 195–205.

REFERENCES:

1. Pro stan vodnykh resursiv Ukrainy : rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 30 lyupnia 2021 r. [Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of July 30, 2021 “On the state of water resources of Ukraine”] (2021). Retrieved from: <https://www.rnbo.gov.ua/ua/Ukazy/4954.html> (access: 06.09.2021). [in Ukrainian]
2. Kolisnyk, A.V. (2015) Suchasnyi stan yakosti vod baseinu richky Dnister na transkordonnnykh dilianakh [Current situation of water quality Dniester River basin in transboundary areas]. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. No. 16. [in Ukrainian]
3. Otsinka yakosti vody r. Dnister-vodozabir za hidrokhimichnymi pokaznykamy protiahom 1998–2012 rr. ta osoblyvosti zmin biohennykh rehovyn za kharakterni po vodnosti roky [Assesment of water quality of the Dniester River-water intake for 1998–2012. For typical water years]. (2015) / M.Y. Romanchuk et al. *Bulletin of Odessa State Ecological University*. No. 19. [in Ukrainian]
4. Plan upravleniya transhranychnim rechnim basseinom Dnestra [Transboundary river basin management plan]. (2019). Retrieved from: https://dniester-commission.com/wp-content/uploads/2019/07/Dniester_TDA_July2019.pdf (access: 06.05.2021). [in Russian]
5. Khimichnyi stan masyviv poverkhnevykh vod baseinu Dnistra u 2020 rotsi [Chemical state of the Dniester River Basin surface water in 2020]. (2021). Retrieved from: <https://vodaif.gov.ua/wp-content/uploads/2021/02/PIDSUMOK-za-2020-rik-laboratoriya.pdf> (access: 08.09.2021). [in Ukrainian]
6. Shakhman, I.O., Bystriantseva, A.M. (2021) Spatio-Temporal Analysis of the Ecological State of the Dniester River Transboundary Water. *Journal of Ecological Engineering*. No. 22 (9). P. 119–127. [in English]
7. Sait Dnestrovskoi komysyy [Website of the Dniester Commission]. (2021). Retrieved from: <https://dniester-commission.com/bassejn-reki-dnestr/region/> (access: 21.08.2021). [in Russian]
8. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv Odesskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii [Department of Ecology and Natural Resources of the Odessa Regional State Administration]. (2021). Retrieved from: <https://ecology.odessa.gov.ua/zvti/> (access: 21.08.2021). [in Ukrainian]
9. Dnistrovske baseinove upravlinnia vodnykh resursiv [Dniester Basin Water Resources Management]. Retrieved from: <https://vodaif.gov.ua> (access: 23.08.2021). [in Ukrainian]
10. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovishcha v Ukraini u 2019 rotsi [National report on the state of the environment in Ukraine in 2019]. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/timeline/Nacionalni-dopovidi-pro-stan-navkolishnogo-prirodnogo-seredovishcha-v-Ukraini.html> (access: 03.09.2021). [in Ukrainian]

11. Hihiena ta ekolohiia [Hygiene and ecology]. (2006) / V.G. Bardov et al. Vinnytsia : Nova Knyha. [in Ukrainian]
12. Yurasov, S.M., Safranov, T.A., Chugai, A.V. (2012) Otsinka yakosti pryrodnykh vod : navchalnyi posibnyk [Natural water quality assessment: a Textbook]. Odesa : Ekolohiia. 168 p. [in Ukrainian]
13. Bystriantseva, A.M., Shakhman, I.O., Bystriantsev, M.V. (2019) Spatio-temporal representation of the ecological state of the surface waters of the Lower Section of the Dnieper River using GIS technologies. *Proc. ICTERI*. 2019. Issue 2387. [in English]
14. Shakhman, I.O., Bystriantseva, A.M. (2021) Water Quality Assessment of the Surface Water of the Southern Bug River Basin by Complex Indices. *Journal of Ecological Engineering*. No. 22 (1). P. 195–205. [in English]

ЗМІСТ

Ольга БЄДУНКОВА, Ігор СТАТНИК, Анастасія ЯХНЮК АНАЛІЗ САМООЧИСНОЇ ЗДАТНОСТІ РІЧКИ ЗАМЧИСЬКО ЗА ДАНИМИ БАГАТОРІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ.....	3
Руслана ВАЛЕРКО, Людмила ГЕРАСИМЧУК ОЦІНКА РИЗИКУ, ПОВ'ЯЗАНОГО З НАДХОДЖЕННЯМ ЗАЛІЗА З ПИТНОЮ ВОДОЮ, ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	10
Любомир ГУЛАЙ, Олена ДЖАМ, Ольга КАРАЇМ ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ РІВНЕНСЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА.....	17
Зоряна ЛАВРИНЮК, Ольга КАРАЇМ, Любомир ГУЛАЙ ГІДРОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ ОКОНКА.....	24
Галина МАРТИНЮК, Олена АКСІМЕНТЬЄВА, Микола ЯЦКОВ, Оксана ГАКАЛО КІНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ Й ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІАМІНОАРЕНІВ ТА ПОЛІАКРИЛОВОЇ АБО ПОЛІМЕТАКРИЛОВОЇ КИСЛОТ.....	30
Лариса МАРУШКО, Елла КАДИКАЛО, Микола ЛУКАЩУК АНТИОКСИДАНТНА ДІЯ ЕКСТРАКТІВ ІЗ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН РОДИНИ <i>ERICACEAE</i> НА СТАБІЛЬНІСТЬ ХАРЧОВИХ ОЛІЙ ТА ОЛІЙНИХ ЕМУЛЬСІЙ У ПРОЦЕСІ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ.....	39
Людмила РОМАН, Степан ЧУНДАК МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ВОДИ ДЕЯКИХ МАЛИХ РІЧОК РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН ЗАКАРПАТТЯ.....	45
Леся САЛІЄВА, Наталія СЛИВКА, Михайло ВОВК АМІНОЛІЗ 6-ЗАМІЩЕНИХ 2-МЕТИЛ-2,3-ДИГІДРОІМІДАЗО-[2,1-В]ТІАЗОЛІВ.....	51
Вероніка СТАДНІК ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КВІТКОВИХ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ ДИТЯЧИХ МАЙДАНЧИКІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	57
Ірина ШАХМАН ІНТЕГРАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ПОНИЗЗЯ РІЧКИ ДНІСТЕР.....	63

CONTENTS

Olga BIEDUNKOVA, Igor STATNYK, Anastasia YAKHNIUK ANALYSIS OF SELF-CLEANING CAPACITY OF THE ZAMCHYSCHKO RIVER ACCORDING TO MULTIPLE OBSERVATIONS.....	3
Ruslana VALERKO, Lyudmyla HERASYMCHUK ASSESSMENT OF RISK ASSOCIATED WITH THE INVENTION OF IRON WITH DRINKING WATER FOR THE HEALTH OF THE POPULATION OF THE ZHYTOMYR REGION.....	10
Lubomir GULAY, Olena DZHAM, Olha KARAIM ECOLOGICAL ASPECTS OF THE MONITORING OF THE TERRITORIES OF RIVNE NATURE RESERVE.....	17
Zoryana LAVRYNYUK, Olha KARAIM, Lubomir GULAY HYDROCHEMICAL ANALYSIS AND FEATURES OF THE USE OF THE SURFACE WATERS OF THE OKONKA RIVER.....	24
Galyna MARTYNIUK, Olena AKSIMENTYIEVA, Mykola YATSKOV, Oksana GAKALO KINETIC FEATURES OF SYNTHESIS AND ELECTRICAL PROPERTIES OF ELECTRICAL PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON CONJUGATED POLYAMINOARENES AND POLYACRYLIC OR POLYMETHACRYLIC ACIDS.....	30
Larysa MARUSHKO, Ella KADYKALO, Mykola LUKASHCHUK ANTIOXIDANT EFFECT OF EXTRACTS FROM MEDICINAL PLANTS OF THE FAMILY <i>ERICACEAE</i> ON THE STABILITY OF FOOD OILS AND OIL EMULSIONS DURING STORAGE.....	39
Liudmyla ROMAN, Stepan CHUNDAK WATER QUALITY MONITORING OF SOME SMALL RIVERS OF RECREATIONAL ZONES OF TRANSCARPATHIA.....	45
Lesya SALIYEVA, Nataliia SLYVKA, Mykhailo VOVK AMINOLYSIS OF 6-SUBSTITUTED 2-METHYL-2,3-DIHYDROIMIDAZO[2,1-B]THIAZOLES.....	51
Veronika STADNIK EFFICIENCY OF USING FLOWERING HERBACEOUS PLANTS FOR LANDSCAPING CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN URBAN AREAS.....	57
Iryna SHAKHMAN THE WATER POLLUTION DEGREE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE LOWER SECTION OF THE DNIESTER RIVER.....	63

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 3

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнецова

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 8,37. Замов. № 1021/393. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

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

Телефон +38 (048) 709 38 69,

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

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.