

Волинський національний університет
імені Лесі Українки

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 1



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

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

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;

Олексеюк 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 (EMPA) (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
26 травня 2022 р., протокол № 7

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, 2022

УДК 628.4.032:332.14

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-1>

Людмила ГЕРАСИМЧУК

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

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Руслана ВАЛЕРКО

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

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Єлизавета ЗАЛУЖНА

здобувачка освітнього ступеня магістр спеціальності 101 «Екологія», Поліський національний університет, бульвар Старий, 7, м. Житомир, Житомирська обл., Україна, 10008

Бібліографічний опис статті: Герасимчук, Л., Валерко, Р., Залужна, Є. (2022). Оцінка рівня екологічної безпеки територій Житомирської області за обсягами утворення відходів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 3–9, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-1>

ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ОБСЯГАМИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ

Метою дослідження є оцінка рівня екологічної безпеки адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області за обсягами утворення відходів.

Методологія. Інформаційною базою дослідження стали дані Державної служби статистики у Житомирській області щодо утворення відходів за період 2017–2020 рр. У територіальному розрізі Житомирської області визначали кратність перевищення середнього по області обсягу відходів, внесок міст та районів у загальний обсяг їх утворення, а також рівень екологічної безпеки на основі показників обсягу утворення відходів у розрахунку на км² території та на одну особу з наступним групуванням територій за рівнем екологічної небезпеки (відносна (низька), помірна, підвищена чи висока).

Наукова новизна полягає в оцінюванні обсягів утворення відходів та визначення рівня екологічної безпеки у розрізі Житомирської області.

Висновки. За період 2017–2020 рр. спостерігається зменшення обсягів утворення відходів. Виявлена значна диспропорція у обсягах утворення відходів в розрізі Житомирської області. Левова частка утворених відходів припадає на міста з її щорічним збільшенням. Інтенсивність утворення відходів на одиницю території Житомирської області та в розрахунку на особу за досліджувані роки характеризується зниженням у 1,1-1,2 рази щорічно з максимальним перевищенням даних значень у всіх без винятку містах та районах області відповідно. Визначені 4 групи екологічної небезпеки: IV група – висока екологічна небезпека (міста Житомир і Коростень (2018, 2019 рр.), Хорошівський район (2017, 2018 і 2020 рр.); III група – підвищена екологічна небезпека (м. Коростень (2017, 2020 рр.), Коростишівський (2017 р.) і Хорошівський (2019 р.) райони); II група – помірна екологічна небезпека (міста Бердичів, Малин і Новоград-Волинський, Олевський (2019 р.), Андрушівський, Новоград-Волинський і Черняхівський (2017–2019 рр.), Житомирський (2020 р.), Лугинський (2019, 2020 рр.), Народицький (2018 р.), Радомишльський (2018, 2020 рр.) райони); I група – відносна (низька) екологічна небезпека (більшість районів Житомирської області, м. Малин (2018 р.) та м. Новоград-Волинський (2019 р.)).

Ключові слова: обсяги відходів у розрахунку на км² території та на особу, відносна (низька), помірна, підвищена, висока екологічна небезпека.

Liudmyla HERASYMCHUK

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at Ecology Department, Polissia National University, 7 Saryi Boulevard, Zhytomyr, Ukraine, 10008

ORCID: 0000-0002-3166-5588

Ruslana VALERKO

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at Ecology Department, Polissia National University, 7 Saryi Boulevard, Zhytomyr, Ukraine, 10008

ORCID: 0000-0003-4716-0100

Yelyzaveta ZALUZHNA

Applicant for Master's degree 101 "Ecology", Polissya National University, 7 Saryi Boulevard, Zhytomyr, Ukraine, 10008

To cite this article: Herasymchuk, L., Valerko, R., Zaluzhna, Ye. (2022). Otsinka rivnia ekolohichnoi bezpeky terytorii Zhytomyrskoi oblasti za obsiahamy utvorennia vidkhodiv [Assessment of the level of environmental safety of Zhytomyr region territories by volume of waste generation]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 3–9, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-1>

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF ZHYTOMYR REGION TERRITORIES BY VOLUME OF WASTE GENERATION

The purpose of the study is to assess the level of environmental safety of administrative-territorial units of Zhytomyr region in terms of waste generation.

Methodology. The information base of the study was the data of the Head Department of Stats of Zhytomyr Region on waste generation for the period 2017-2020. based on indicators of waste generation per km² of territory and per capita, followed by grouping of territories by level of environmental hazard (relative (low), moderate, increased or high).

The scientific novelty is to assess the volume of waste generation and determine the level of environmental safety in the context of Zhytomyr region.

Conclusions. During the period 2017–2020, there is a decrease in waste generation. A significant disparity in the volume of waste generation in the Zhytomyr region. The lion's share of waste generated falls on cities with its annual increase. The intensity of waste generation per unit of Zhytomyr region and per capita for the studied years is characterized by a decrease of 1.1-1.2 times per year with the maximum excess of these values in all cities and districts of the region, respectively. 4 groups of ecological danger are defined: IV group – high ecological hazard (cities of Zhytomyr and Korosten (2018, 2019), Khoroshiv district (2017, 2018 and 2020); III group – increased ecological hazard (Korosten (2017, 2020), Korostyshiv (2017) and Khoroshiv (2019) districts), group II – moderate environmental hazards (Berdychiv, Malyn and Novograd-Volynsky, Olevsky (2019), Andrushiv, Novograd-Volyn and Chernyakhiv (2017 - 2019), Zhytomyr (2020), Luhyny (2019, 2020), Narodyt'sky (2018), Radomyshl (2018, 2020) districts), and group I – relative (low) environmental hazard (most districts of Zhytomyr region, Malyn (2018) and Novograd-Volynsky (2019)).

Key words: volumes of waste per km² of territory and per capita, relative (low), moderate, increased, high ecological hazard.

Актуальність проблеми. Однією із складових екологічної безпеки держави є питання утворення відходів, які безпосередньо впливають на стан довкілля, комфортні умови проживання та здоров'я населення, а також є неефективним використанням сировини. Кожна особа, кожен вид діяльності призводить до утворення відходів, що різняться за певними типами. Утворення відходів та їх обсяги залежать від ряду факторів, як от: економічна діяльність, рівень життя, особливості споживання домогосподарств, кількість населення (Sankoh, Yan & Mohamed Hamza

Conteh, 2012; Kawai & Tasaki, 2016; Валерко & Герасимчук, 2017, 2020; Noufal, Yuanyuan, Maalla & Adipah, 2020; Vološinová & Ansoerge, 2021). Noufal, Yuanyuan, Maalla & Adipah (2020) встановили позитивну кореляцію між утворенням відходів і отриманим доходом, розміром домогосподарства та віком голови домогосподарства, від'ємну – між утворенням відходів та рівнем освіти голови домогосподарства. На сьогодні мотивація щодо зменшення обсягів утворення відходів є викликом для всіх зацікавлених сторін (Герасимчук, 2017), а знання та оцінка тенденцій обсягів

утворення відходів дає змогу оцінити ефективність поводження з ними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема утворення відходів викликає значне занепокоєння усієї міжнародної наукової спільноти. В літературі висвітлені питання утворення відходів у м. Хомс, Сирія (Noufal, Yuanuan, Maalla & Adipah, 2020), Турції (Ceylan, 2020), м. Джакарті, Індонезія (Supangkat & Herdiansyah, 2020), м. Дакка, Бангладеш (Afroz, Hanaki & Tudin, 2011), м. Хюе, В'єтнам (Matsui, Trang & Thanh, 2015), окремих районах Праги (Vološinová & Ansorge L., 2021) та навіть Антарктиці (Bharti, Bhupesh, Singh, Tyagi, 2016). У наукових працях наголошується, що утворення відходів є серйозною проблемою, особливо у містах з великою кількістю населення (Supangkat & Herdiansyah, 2020; Vološinová & Ansorge, 2021), оцінка утворення відходів на душу населення є основним показником впливу на довкілля та заходом для оцінки інтенсивності утворення відходів у часі та між територіями (Kawai & Tasaki, 2016). Lagerkvist & Dahlén (2012) зазначають, що утворені відходи вплинуть на якість навколишнього середовища та здоров'я людей у всьому світі, якщо з ними не поводитися належним чином. Знання ж обсягів утворення відходів є відправною точкою для планування системи подальшого поводження з відходами (Noufal, Yuanuan, Maalla & Adipah, 2020; Ceylan, 2020) та її успіху (Nyumah, Charles, Bamgboye, Aremu & Eisah, 2021).

Мета дослідження. Метою дослідження стала оцінка рівня екологічної безпеки території Житомирської області за обсягами утворення відходів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У 2020 р. на території Житомирської області було утворено 397239 т відходів. Порівнюючи зазначену кількість відходів з минулими роками, зауважимо, що загалом спостерігається зменшення обсягів утворення відходів (на 19,5% порівняно з 2019 р., 22,4% порівняно з 2018 р., 38,5% порівняно з 2017 р.).

Визначається значна диспропорція у обсягах утворення відходів в розрізі адміністративно-територіальних утворень Житомирської області. Левова частка утворених відходів припадає на міста, при чому протягом досліджуваних років фіксується її щорічне збіль-

шення: 29,9% у 2017 р., 30,9% у 2018 р., 33,8% у 2019 р., 37,5% у 2020 р. Серед міст області за досліджуваний період найменші кількості відходів утворювалися у Малині – 8995,72 т в середньому, найбільші – у м. Житомирі – 73692,9 т; серед районів – у Брусилівському – 127,6 т та Хорошівському – 66208,5 т відповідно.

Обсяг утворення відходів на одиницю території Житомирської області в цілому за досліджувані роки характеризується зниженням у 1,1 – 1,2 рази щорічно і у 2020 р. становив 13,32 т/км². Спостерігалось перевищення середнього по області показника утворення відходів у всіх без винятку містах та окремих районах (таблиця 1): у 2017 р. у Андрушівському – 1,3 рази, Черняхівському – 1,4 рази, Житомирському – 1,6 разів, Коростишівському – 3,5 рази, Хорошівському районах – 5,3 рази; містах Новоград-Волинський – 28,9 разів, Малин – 33,5 рази, Бердичів – 34,4 рази, Коростень – 48 разів, Житомир – 63,1 рази; у 2018 р. у Радомишльському – 1,2 рази, Житомирському та Коростишівському – 1,3 рази, Черняхівському – 1,6 рази, Андрушівському – 2,2 рази, Хорошівському районах – 4,6 рази; містах Малин – 19,8 рази, Новоград-Волинський – 27,2 разів, Бердичів – 35,9 рази, Коростень – 66,2 разів, Житомир – 75 разів; у 2019 р. у Лугинському – 1,1 рази, Коростишівському та Андрушівському – 1,3 рази, Житомирському та Черняхівському – 1,7 рази, Хорошівському районах – 3,6 рази; містах Новоград-Волинський – 12,8 разів, Малин – 34,4 рази, Бердичів – 41,7 рази, Житомир – 77 разів, Коростень – 85,5 разів; у 2020 р. у Лугинському – 1,3 рази, Радомишльському – 1,5 рази, Житомирському – 2,4 рази, Хорошівському районах – 5,5 разів; містах Малин – 38,3 рази, Новоград-Волинський – 40,4 рази, Бердичів – 46,9 разів, Коростень – 62,1 рази, Житомир – 91,6 разів.

На основі масиву даних щодо обсягів утворення відходів на одиницю території здійснено групування території Житомирської області за період 2017–2020 рр.: до І групи відносної (низької) екологічної небезпеки, що характеризується обсягами утворення відходів до 340 т/км² належать всі райони Житомирської області, м. Малин (2018 р.) та м. Новоград-Волинський (2019 р.); до II групи помірної екологічної

Таблиця 1

Перевищення середнього по області показника утворення відходів у районах та містах

Райони	Кратність перевищення		Міста	Кратність перевищення	
	на км ² території	на особу		на км ² території	на особу
2017 рік					
Андрушівський	1,3	1,6	Нов.-Волинський Малин Бердичів Коростень Житомир	28,9	-
Житомирський	1,6	1,4		33,5	-
Коростишівський Нов.-	3,5	3,5		34,4	-
Волинський Хорошівський	-	1,4		48	1,1
Черняхівський	5,3	5,5		63,1	-
	1,4	1,7			
2018 рік					
Андрушівський	2,2	2,7	Малин Нов.-Волинський Бердичів Коростень Житомир	19,8 27,2 35,9 66,2 75	- - - 1,5 -
Житомирський	1,3	1,1			
Коростишівський	1,3	1,3			
Народицький	-	2,3			
Нов.-Волинський	-	1,8			
Олевський Радомишльський	-	1,3			
Ружинський	1,2	1,7			
Хорошівський	-	1,4			
Черняхівський	4,6	4,8			
	1,6	2,1			
2019 рік					
Андрушівський	1,3	1,7	Нов.-Волинський Малин Бердичів Житомир Коростень	12,8 34,4 41,7 77 85,5	- - - - 1,9
Житомирський	1,7	1,4			
Коростишівський	1,3	1,3			
Лугинський	1,1	2,6			
Нов.-Волинський	-	1,7			
Олевський	-	1,9			
Радомишльський	-	1,2			
Ружинський	-	1,5			
Хорошівський	3,6	3,7			
Черняхівський	1,7	2,1			
2020 рік					
Смільчинський	-	1,4	Малин Нов.-Волинський Бердичів Коростень Житомир	38,3 40,4 46,9 62,1 91,6	1,1 - - 1,4 -
Житомирський	2,4	1,9			
Лугинський	1,3	3,4			
Нов.-Волинський	-	1,2			
Радомишльський	1,5	2,2			
Хорошівський	5,5	5,8			

небезпеки з обсягами утворення відходів від 341 до 680 т/км² відносяться міста Бердичів, Малин та Новоград-Волинський; до III групи підвищеної екологічної небезпеки з обсягами утворення відходів від 681 до 1020 т/км² належить м. Коростень (2017 та 2020 рр.); до IV групи високої екологічної небезпеки, що характеризується обсягами утворення відходів більше 1021 т/км² відносяться міста Житомир та Коростень (2018 та 2019 рр.).

Поряд з попереднім аналізованим показником варто звернути й на показник утворення відходів на одну особу, за яким спостерігається територіальна асиметрія. Обсяг утворення відходів у розрахунку на особу (як і попередній показник) за період 2017–2020 р. щороку знижувався у 1,1–1,2 рази і у 2020 р. досяг значень 330,5 кг/особу. Якщо за попереднім показником спостерігалось перевищення

середнього по області показника утворення відходів у всіх без винятку містах, то наразі такі перевищення мали місце у районах області, де інтенсивно проявляється скорочення населення та поодинокі в містах. Так у 2017 р. до районів з перевищеннями додалися Новоград-Волинський район (фіксувалося збільшення у 1,4 рази відносно середнього по області обсягу утворення відходів у розрахунку на особу), у 2018 р. – Новоград-Волинський (у 1,8 рази), Народицький (у 2,3 рази), Олевський (у 1,3 рази) та Ружинський (у 1,4 рази) райони, у 2019 р. – Новоград-Волинський (у 1,7 рази), Олевський (у 1,9 рази), Радомишльський (у 1,2 рази) та Ружинський (у 1,5 рази) райони, у 2020 р. – Смільчинський (у 1,4 рази) та Новоград-Волинський (у 1,2 рази) райони. У м. Коростень за чотири роки спостережень постійно фіксувалося перевищення у 1,1 –

1,9 рази середнього по області обсягу утворення відходів у розрахунку на особу, у м. Малин – лише у 2020 р. – у 1,1 рази (таблиця 1).

За аналогією з попереднім показником проведемо групування адміністративно-територіальних утворень Житомирської області за період 2017 – 2020 рр. за обсягами утворення відходів у розрахунку на особу: I група відносної (низької) екологічної небезпеки з обсягами утворення відходів до 614 кг/особу включає більшість територій Житомирської області, за виключенням м. Коростень і Олевського району (2019 р.), Андрушівського, Новоград-Волинського і Черняхівського (2017 – 2019 рр.), Житомирського (2020 р.), Лугинського (2019, 2020 рр.), Народицького (2018 р.), Радомишльського (2018, 2020 рр.), які належать до II групи помірної екологічної небезпеки з обсягами утворення відходів від 615 до 1229 кг/особу, Коростишівського (2017 р.) та Хорошівського (2019 р.) районів, що увійшли до III групи підвищеної екологічної небезпеки з обсягами утворення відходів від 1230 до 1844 кг/особу. Максимальні значення обсягів утворення відходів більше 1845 кг/особу, що формують IV групу високої екологічної небезпеки, характерні для Хорошівського району у 2017, 2018 та 2020 роках.

Отже, на території області виявлені диспропорції за обсягами утворення відходів, що формують 4 групи екологічної небезпеки: IV група – висока екологічна небезпека (міста Житомир і Коростень (2018 та 2019 рр.), Хорошівський район (2017, 2018 і 2020 рр.); III група – підвищена екологічна небезпека (м. Коростень (2017, 2020 рр.), Коростишівський (2017 р.) і Хорошівський (2019 р.) райони); II група – помірна

екологічна небезпека (міста Бердичів, Малин і Новоград-Волинський, Олевський (2019 р.), Андрушівський, Новоград-Волинський і Черняхівський (2017 – 2019 рр.), Житомирський (2020 р.), Лугинський (2019, 2020 рр.), Народицький (2018 р.), Радомишльський (2018, 2020 рр.) райони); I група – відносна (низька) екологічна небезпека (більшість районів Житомирської області, м. Малин (2018 р.) та м. Новоград-Волинський (2019 р.).

Висновки і перспективи подальших досліджень. За період 2017 – 2020 рр. спостерігається зменшення обсягів утворення відходів. Виявлена значна диспропорція у обсягах утворення відходів в розрізі адміністративно-територіальних утворень Житомирської області. Лівова частка утворених відходів припадає на міста з її щорічним збільшенням. Інтенсивність утворення відходів на одиницю території Житомирської області та в розрахунку на особу за досліджувані роки характеризується зниженням у 1,1 – 1,2 рази щорічно і у 2020 р. становив в середньому 13,32 т/км² та 330,5 кг/особу з максимальним перевищенням даних значень у всіх без винятку містах та районах області, де інтенсивно проявляється скорочення населення відповідно. На території області визначені 4 групи екологічної небезпеки: до IV групи високої екологічної небезпеки належить 4% території, до III групи підвищеної екологічної небезпеки – 1,8%, до II групи помірної екологічної небезпеки – 12,1%, до I групи відносної (низької) екологічної небезпеки – 82,1%.

У перспективі подальших досліджень планується проведення оцінки техногенного навантаження на територію Житомирської області.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Головне управління статистики у Житомирській області: офіційний веб-сайт. URL: <http://www.zt.ukrstat.gov.ua>.
2. Sankoh F. P., Yan X., Mohamed Hamza Conteh A. A situational assessment of socioeconomic factors affecting solid waste generation and composition in Freetown, Sierra Leone. *Journal of Environmental Protection*. 2012. 3(7). pp. 563–568. DOI: 10.4236/jep.2012.37067.
3. Kawai K., Tasaki T. Revisiting estimates of municipal solid waste generation per capita and their reliability. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2016. 18. Pp. 1-13. DOI: 10.1007/s10163-015-0355-1.
4. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Оцінка рівня техногенного навантаження Житомирської області. *Вісник ЖНАЕУ*. 2017. 1(58), т. 1. С. 39–48. URL: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/8052>.
5. Валерко Р. А., Герасимчук Л. О. Екологічна оцінка стану сільських населених пунктів Житомирської області. *Екологічні науки*. 2020. 6 (33). С. 96–102. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.14.
6. Noufal M., Yuanyuan L., Maalla Z., Adipah S. Determinants of household solid waste generation and composition in Homs city, Syria. *Journal of Environmental and Public Health*. 2020. 2020. DOI: 10.1155/2020/7460356.

7. Vološínová D., Ansoerge L. Waste footprint of selected city districts of Prague. *European Journal of Sustainable Development*. 2021. 10(4). pp. 217–226. DOI: 10.14207/ejsd.2021.v10n4p217.
8. Герасимчук Л. О. Економічний механізм забезпечення охорони навколишнього природного середовища в Житомирській області. *Вісник ЖНАЕУ*. 2017. 2(61), т.1. С. 116–122. URL: [https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962\(61\)_116-122.pdf](https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962(61)_116-122.pdf).
9. Ceylan Z. Estimation of municipal waste generation of Turkey using socio-economic indicators by Bayesian optimization tuned Gaussian process regression. *Waste Management & Research*. 2020. 38(8). pp. 840–850. DOI: 10.1177/0734242X20906877.
10. Supangkat S., Herdiansyah H. Analysis correlation of municipal solid waste generation and population: environmental perspective. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. 519(1). 012056. DOI: 10.1088/1755-1315/519/1/012056.
11. Afroz R., Hanaki K., Tudin R. Factors affecting waste generation: a study in a waste management program in Dhaka City, Bangladesh. *Environment Monitoring and Assessment*. 2011. 179. pp. 509–519. DOI: 10.1007/s10661-010-1753-4.
12. Matsui Y., Trang D., Thanh N. Estimation of waste generation and recycling potential from traditional market: a case study in Hue city, Vietnam. *Journal of Environmental Protection*. 2015. 6. pp. 308–320. DOI: 10.4236/jep.2015.64031.
13. Bharti P. K., Bhupesh S., Singh R. K., Tyagi A. K. Waste generation and management in Antarctica. *Procedia Environmental Sciences*. 2016. 35. pp. 40–50. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.07.004.
14. Lagerkvist A., Dahlén L. Solid waste generation and characterization. In: Meyers R.A. (eds). *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, 2020. DOI: 10.1007/978-1-4419-0851-3_110.
15. Nyumah F., Charles J., Bamgboye I. A., Aremu A. K., Eisah J. S. Generation, characterization and management practices of household solid wastes in Cowfield, Paynesville city, Liberia. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2021. 1.9. pp. 113–127. DOI: 10.4236/gep.2021.94007.

REFERENCES:

1. Holovne upravlinnia statystyky u Zhytomyrskii oblasti. [Head Department of Stats of Zhytomyr Region]. Retrieved from: <http://www.zt.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
2. Sankoh, F.P., Yan, X., Mohamed Hamza Conteh, A. (2012). A situational assessment of socioeconomic factors affecting solid waste generation and composition in Freetown, Sierra Leone. *Journal of Environmental Protection*, 3(7), 563-568. DOI: 10.4236/jep.2012.37067 [in English].
3. Kawai, K., Tasaki, T. (2016). Revisiting estimates of municipal solid waste generation per capita and their reliability. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18, 1–13. DOI: 10.1007/s10163-015-0355-1 [in English].
4. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O. (2017). Otsinka rivnia tekhnohennoho navantazhennia Zhytomyrskoi oblasti. [Assessment of the level of man-caused load in the Zhytomyr region]. *Visnyk ZhNAEU – Bulletin of ZhNAEU*, 1(58), 1, 39–48. Retrieved from: <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/8052> [in Ukrainian].
5. Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O. (2020). Ekolohichna otsinka stanu silskykh naselenykh punktiv Zhytomyrskoi oblasti. [Ecological assessment of the condition of rural settlements of Zhytomyr region]. *Ecological Sciences*, 6 (33), 96–102. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.eco.6-33.14 [in Ukrainian].
6. Noufal, M., Yuanyuan, L., Maalla, Z., Adipah, S. (2020). Determinants of household solid waste generation and composition in Homs city, Syria. *Journal of Environmental and Public Health*. DOI: 10.1155/2020/7460356 [in English].
7. Vološínová, D., Ansoerge, L. (2021). Waste footprint of selected city districts of Prague. *European Journal of Sustainable Development*, 10(4), 217–226. DOI: 10.14207/ejsd.2021.v10n4p217 [in English].
8. Gerasymchuk, L.O. (2017). Ekonomichniy mekhanizm zabezpechennia okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Zhytomyrskii oblasti. [Economic mechanism of providing natural environment preservation in Zhytomyr oblast]. *Visnyk ZhNAEU – Bulletin of ZhNAEU*, 2(61), 1, 116-122. Retrieved from: [https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962\(61\)_116-122.pdf](https://sciencehorizon.com.ua/web/uploads/pdf/%E2%84%962(61)_116-122.pdf) [in Ukrainian].
9. Ceylan, Z. (2020). Estimation of municipal waste generation of Turkey using socio-economic indicators by Bayesian optimization tuned Gaussian process regression. *Waste Management & Research*, 38(8), 840-850. DOI: 10.1177/0734242X20906877 [in English].
10. Supangkat, S., Herdiansyah, H. (2020). Analysis correlation of municipal solid waste generation and population: environmental perspective. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 519(1). 012056. DOI: 10.1088/1755-1315/519/1/012056 [in English].
11. Afroz, R., Hanaki, K., Tudin, R. (2011). Factors affecting waste generation: a study in a waste management program in Dhaka City, Bangladesh. *Environment Monitoring and Assessment*, 179, 509–519. DOI: 10.1007/s10661-010-1753-4 [in English].
12. Matsui, Y., Trang, D., Thanh, N. (2015). Estimation of waste generation and recycling potential from traditional market: a case study in Hue city, Vietnam. *Journal of Environmental Protection*, 6, 308–320. DOI: 10.4236/jep.2015.64031 [in English].

13. Bharti, P.K., Bhupesh, S., Singh, R.K., Tyagi, A.K. (2016). Waste generation and management in Antarctica. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 40–50. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.07.004 [in English].
14. Lagerkvist, A., Dahlén, L. (2020). Solid waste generation and characterization. In: Meyers R.A. (eds). *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York. DOI: 10.1007/978-1-4419-0851-3_110 [in English].
15. Nyumah, F., Charles J., Bamgboye I.A., Aremu A.K., Eisah J.S. (2021). Generation, characterization and management practices of household solid wastes in Cowfield, Paynesville city, Liberia. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 1,9, 113-127. DOI: 10.4236/gep.2021.94007 [in English].

УДК 556.18(477.82):556.114/.5

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-2>

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

Мирослава АХНЮК

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

Зоряна ЛАВРИНЮК

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

ORCID: 0000-0002-1906-3330

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

Любомир ГУЛАЙ

доктор хімічних наук, професор, професор 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: Караїм, О., Ахнюк, М., Лавринюк, З., Джам, О., Гулай, Л. (2022). Гідрохімічний аналіз поверхневих вод в аспекті управління водними ресурсами річки Жидувка. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 10–17, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-2>

ГІДРОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД В АСПЕКТІ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ РІЧКИ ЖИДУВКА

Водні ресурси є необхідною складовою забезпечення життя на Землі. Водночас вони є обмеженими ресурсами, а також, у зв'язку із значним антропогенним впливом, дуже вразливими природними об'єктами. У зв'язку із цим управління водними ресурсами з метою їх охорони та раціонального використання нині стає все актуальнішим.

Метою роботи є проведення аналізу гідрохімічних показників поверхневих вод річки Жидувка в аспекті управління її водними ресурсами.

До основних чинників у галузі управління і контролю за використанням і охороною вод та відтворенням водних ресурсів належить оцінка екологічного стану басейну річки. У свою чергу ключовим аспектом тут виступає гідрохімічний аналіз її поверхневих вод. Показники вмісту шкідливих речовин у поверхневих водах слугують індикатором визначення їх якості.

Річка Жидувка – є малою річкою, яка протікає на території м. Луцьк і Луцького району. Її довжина становить близько 8,0 км. Довжина у межах міста Луцька 2,43 км. Водозбірна площа 9,7 км². Площа прибережної захисної смуги на території міста становить 10,7 га. Площа водоохоронної зони у місті 12,92 га. Площа басейну 0,65 км², середня витрата води – 0,03 м³/с.

Для дослідження відбиралися проби води у р. Жидувка в межах м. Луцьк у створах № 1 по вул. Станіславського та № 2 по вул. Потебні у розрізі 4 пір року протягом 2018–2020 рр.

У результаті досліджень встановлено, що поверхневі води річки не відповідають нормативам. Перевищення концентрацій зафіксовано за вмістом завислих речовин, фосфатів, амоній-йонів, нітритів, заліза, синтетичних поверхнево-активних речовин та хімічним споживанням кисню.

Отримані результати дослідження вказують на те, що у зв'язку із динамікою росту антропогенного навантаження на водойму та з метою ефективного управління водними ресурсами річки Жидувка необ-

хідним є постійний моніторинг якості її поверхневих вод та здійснення низки заходів для покращення її екологічного стану.

Ключові слова: Річка Жидувка, поверхневі води, річковий басейн, антропогенний вплив, гідрохімічний аналіз, екологічний стан, управління водними ресурсами.

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 Avenue, Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1722-4110

Myroslava AKHNIUK

Master at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Avenue, Lutsk, Ukraine, 43025

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 Avenue, Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0002-1906-3330

Olena DZHAM

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

ORCID: 0000-0003-2222-3734

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 Avenue, Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID: 0000-0003-3495-5027

To cite this article: Karaim, O., Akhniuk, M., Lavrynyuk, Z., Dzham, O., Gulay, L. (2022). Hidrokhimichniy analiz poverkhnevyykh vod v aspekti upravlinnia vodnyimi resursamy richky Zhyduvka [Hydrochemical analysis of the surface water in the aspect of management of the water resources of the Zyduvka River]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 10–17, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-2>

HYDROCHEMICAL ANALYSIS OF THE SURFACE WATER IN THE ASPECT OF MANAGEMENT OF THE WATER RESOURCES OF THE ZYDUWKA RIVER

Water resources are necessary component of ensuring life on Earth. At the same time, they are limited resources and, due to significant anthropogenic impact, very vulnerable natural objects. In this regard, the management of water resources for the purpose of their protection and rational use is now becoming increasingly relevant.

The aim of the work is to analyze the hydrochemical indicators of the surface waters of the Zhyduvka River in terms of managing its water resources.

The main factors in the field of management and control over the use and protection of water and the reproduction of water resources is the assessment of the ecological state of the river basin. In turn, the key aspect here is the hydrochemical analysis of its surface waters. Indicators of the content of harmful substances in surface waters serve as an indicator for determining their quality.

Richka Zhyduvka is a small river that flows in the territory of Lutsk and Lutsk region. Its length is about 8.0 km. The length within the city of Lutsk is 2.43 km. The catchment area is 9.7 km². The area of the coastal protective strip in the city is 10.7 hectares. The area of the water protection zone in the city is 12.92 hectares. The area of the basin is 0.65 km², the average water discharge is 0.03 m³/s.

For the study, water samples were taken in the city of Zhyduvka within the city of Lutsk in alignments № 1 on Stanislavsky street and № 2 on the street. Needed in execution 4 seasons during 2018–2020 years.

As a result of the research, it was found that the surface waters of the river do not answer the standards. Excess concentrations were recorded for the content of suspended solids, phosphates, ammonium ions, nitrites, iron, synthetic surfactants and chemical oxygen demand.

The obtained results of the study indicate that in connection with the dynamics of the growth of anthropogenic pressure on the reservoir and in order to effectively manage the water resources of the Zhyduvka River, it is necessary to constantly monitor the quality of its surface waters and implement a number of measures to improve its ecological condition.

Key words: Zhyduvka River, surface waters, river basin, anthropogenic impact, hydrochemical analysis, ecological state, water resources management.

Актуальність проблеми. Вода є одним із найнеобхідніших компонентів довкілля. Водні ресурси забезпечують життя на Землі, у тому числі існування людей, рослинного і тваринного світу та водночас вони є обмеженими й дуже вразливими природними об'єктами. За умов стрімкого зростання антропогенного впливу на природне середовище нині управління водними ресурсами з метою їх охорони та раціонального використання набуває все більшої актуальності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Гідрохімічні дослідження та засади управління водними ресурсами річок Волинської області висвітлено у роботах авторів (Мольчак, 1999, Вишневський, 2000, Лавринюк, 2015, Караїм, 2021). Порівняння результатів екологічної оцінки сучасного стану води річок Волинської області з екологічними нормативами подано авторами (Кукурудза, 1990, Гопчак, 2006, Яцик, 2006). Однак, вивченню якості поверхневих вод річки Жидувка в аспекті управління її водними ресурсами не було приділено достатньої уваги.

Метою роботи є проведення аналізу гідрохімічних показників поверхневих вод річки Жидувка в аспекті управління її водними ресурсами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Водним кодексом України встановлено, що водні об'єкти є виключно власністю народу та можуть надаватися лише у користування. Як об'єкт правового регулювання, використання, відтворення та охорони водні об'єкти підлягають обліку з метою встановлення відомостей про їх якість та водокористування.

Користування землями водного фонду здійснюється з урахуванням вимог щодо охорони річок від забруднення, засмічення та замулення, а також з додержанням правил архітектури планування приміських зон та санітарних вимог у порядку, що встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Відповідно до Водного кодексу України, управління у сфері використання, охорони та відтворення вод у нашій країні здійснюється за басейновим принципом беручи в основу між-

державні, державні та регіональні програми використання і охорони вод і відтворення водних ресурсів.

До основних чинників у галузі управління і контролю за використанням і охороною вод та відтворенням водних ресурсів належить оцінка екологічного стану басейну річки. У свою чергу ключовим аспектом тут виступає гідрохімічний аналіз поверхневих вод водойми. Показники вмісту шкідливих речовин у поверхневих водах слугують індикатором визначення їх якості.

Річка Жидувка – є малою річкою, яка протікає на території м. Луцьк і Луцького району. Вона є лівою притокою річки Стир. Водойма бере свій початок на заході від вулиці Львівської, далі вона протікає поруч з АТ «СКФ «Україна», майже паралельно вулицям Боженка і Мамсурова, далі перетинає вулицю Потєбні та впадає у р. Стир.

Довжина річки Жидувка становить близько 8,0 км. Довжина у межах міста Луцька 2,43 км. Водозбірна площа 9,7 км². Площа прибережної захисної смуги на території міста становить 10,7 га. Площа водоохоронної зони у місті 12,92 га. Площа басейну 0,65 км², середня витрата води – 0,03 м³/с.

Для порівняльного аналізу гідрохімічних показників забруднення поверхневих вод р. Жидувка використані фондові матеріали хіміко-бактеріологічної лабораторії КП «Луцькводоканал». У процесі дослідження відбиралися проби води (Кукурудза, 1990, Набиванець, 2002) у р. Жидувка в межах м. Луцьк у створах № 1 по вул. Станіславського та № 2 по вул. Потєбні у розрізі 4 пір року протягом 2018–2020 рр. (22.03.2018 р., 6.06.2018 р., 13.09.2018 р., 6.03.2019 р., 25.06.2019 р., 15.07.2019 р., 27.10.2019 р., 27.01.2020 р., 16.06.2020 р., 24.09.2020 р.). У результаті дослідження встановлено, що показники вмісту завислих речовин (Караїм, 2021) у воді р. Жидувка протягом досліджуваного періоду значно перевищують норму, яка повинна становити не більше 25 мг/л. Найвищий показник у розмірі 153 мг/л зафіксовано 13.09.2018 р. у створі

№ 1. Найнижчий у розмірі 12,4 мг/л зафіксовано 24.06.2019 р. у створі № 1. Дані вмісту завислих речовин у воді р. Жидувка у розрізі 4 пір року (зима, весна, літо, осінь) зображено на рис. 1.

Показники ХСК (Караїм, 2021) у воді р. Жидувка протягом досліджуваного періоду періодично перевищують норму, яка повинна становити не більше 50 мг/л. Найвищий показник у розмірі 64 мг/л зафіксовано 06.06.2018 р. у створі № 1. Найнижчий у розмірі 17,7 мг/л зафіксовано 27.01.2020 р. також у створі № 1. Результати визначення хімічного споживання кисню у воді р. Жидувка у розрізі 4 пір року зображено на рис. 2.

При визначенні у воді р. Жидувка вмісту хлоридів встановлено, що їх концентрація не перевищує ГДК і не чинить значного навантаження на річку. Найвище їх значення 70,9 мг/л зафіксовано 24.09.2020 р. у створі № 2, а найнижче 14,2 мг/л – 06.06.2018 р. при ГДК 300 мг/л.

Вміст сульфатів у воді р. Жидувка не перевищує значень ГДК. Найвищий їх показник 45,2 мг/л зафіксовано 27.01.2020 р., а найнижчий 4 мг/л 22.03.2018 р. при ГДК 100 мг/л.

Показники вмісту сухого залишку у воді р. Жидувка протягом дослідження знаходилися в межах норми. Найвищий їх показник 790 мг/л зафіксовано 6.03.2019 р. у створі № 1, а найнижчий 286 мг/л зафіксовано 16.06.2020 р. у створі № 2 при ГДК 1000 мг/л.

Показники вмісту фосфатів у воді р. Жидувка значно перевищують норму. Протягом досліджуваного періоду найвище значення зафіксовано у розмірі 1,9 мг/л 24.09.2020 р. у створі № 1 а найнижче 0,07 мг/л 6.06.2018 р. у створі № 2 при ГДК 0,17 мг/л. Дані щодо вмісту фосфатів у воді р. Жидувка у розрізі 4 пір року зображено на рис. 3.

Протягом досліджуваного періоду у воді р. Жидувка зафіксовано перевищення

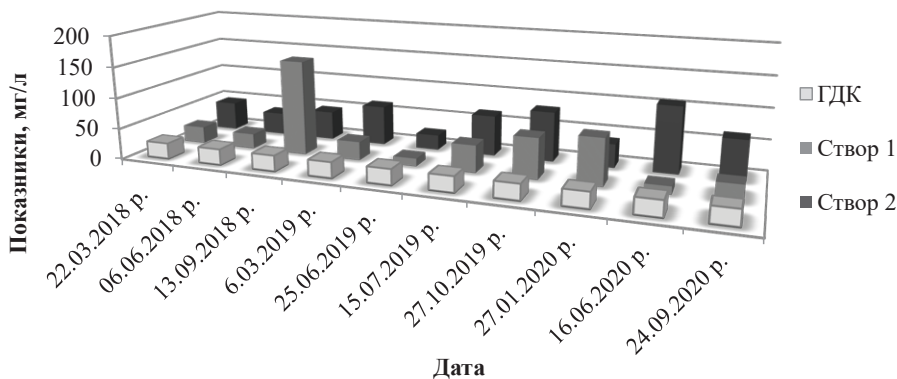


Рис. 1. Показники вмісту завислих речовин у воді р. Жидувка

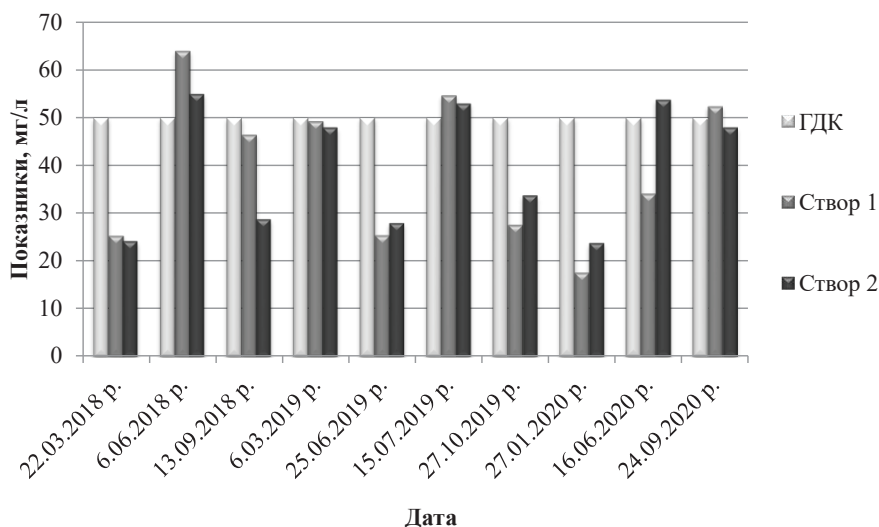


Рис. 2. Показники хімічного споживання кисню у воді р. Жидувка

вмісту амоній-йонів до 5,7 мг/л при ГДК 0,5 мг/л. Показники вмісту амоній-йонів у воді р. Жидувка у розрізі 4 пір року зображено на рис. 4.

Показники вмісту нітритів у воді р. Жидувка впродовж 2018–2020 рр. періодично значно перевищували норму. Найбільше їх значення зафіксовано у розмірі 0,8 мг/л 16.06.2020 р.

у створі № 1 при ГДК 0,08 мг/л. Значення вмісту нітритів у воді р. Жидувка у розрізі 4 пір року зображено на рис. 5.

Показники вмісту нітратів у воді р. Жидувка знаходилися в межах норми. Найвище їх значення 6,84 мг/л зафіксовано 15.07.2019 р. у створі № 1, найнижче 0 мг/л 6.06.2018 р. у обох створах при ГДК 40 мг/л.

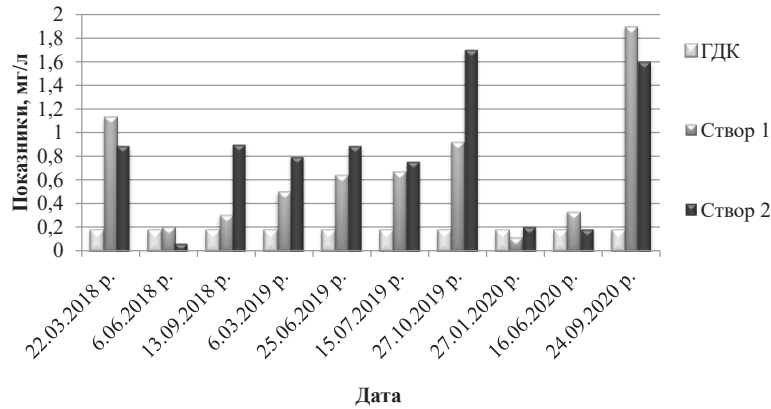


Рис. 3. Показники вмісту фосфатів у воді р. Жидувка

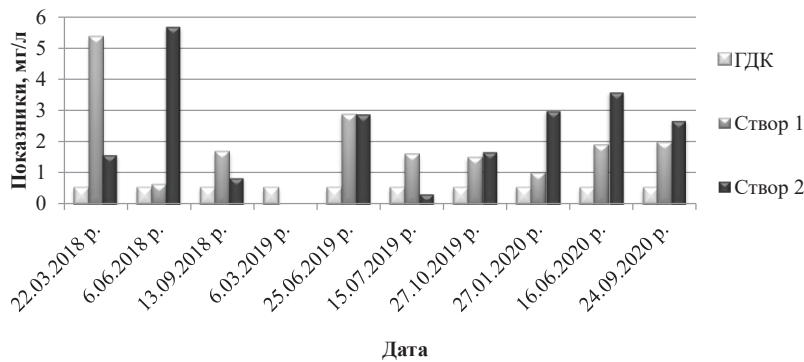


Рис. 4. Показники вмісту амоній-йонів у воді р. Жидувка

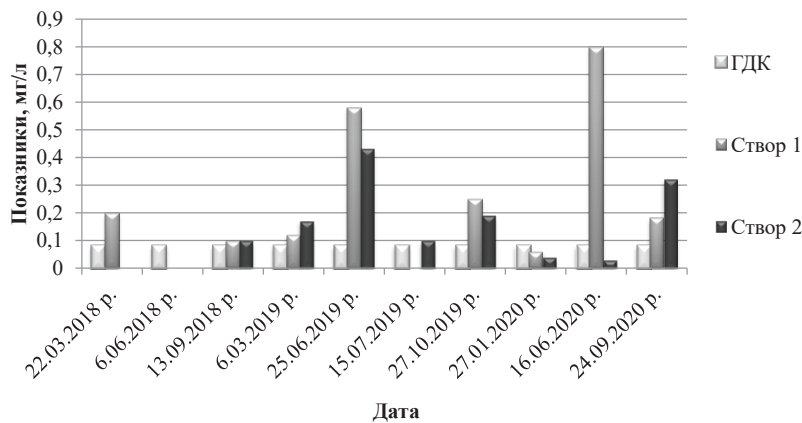


Рис. 5. Показники вмісту нітритів у воді р. Жидувка

Упродовж досліджуваного періоду виявлено значне перевищення вмісту у відібраних пробах води синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), так 15.07.2019 р. у сворі № 2 їх найвище значення зафіксовано на позначці 1,6 мг/л при ГДК 0,028 мг/л. Показники вмісту СПАР у воді р. Жидувка у розрізі 4 пір року зображено на рис. 6.

Показники вмісту заліза (загального) у воді р. Жидувка значно перевищують нормативи господарсько-питного і культурно-побутового водопостачання. Найвище значення 2,8 мг/л зафіксовано 22.03.2018 р. у створі № 2 при ГДК 0,1 мг/л. Необхідно зазначити, що протягом досліджуваного періоду перевищення зафіксовано у кодній із відібраних у обох створах проб. Показники вмісту заліза (загального) у воді р. Жидувка у розрізі 4 пір року зображено на рис. 7.

Упродовж зазначеного періоду вмісту нафтопродуктів, хрому, цинку та нікелю у досліджуваних пробах води не виявлено.

У результаті досліджень р. Жидувка у межах міста Луцьк у створах № 1 по вул. Станіславського та № 2 по вул. Потєбні протягом 2018–

2020 рр. було встановлено, що поверхневі води річки не відповідають наступним нормативам:

1) ХСК, завислі речовини, амонійний азот – Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України 30.07.2012 р. № 471;

2) сухий залишок/мінералізація, СПАР визначення по КНД-211.1.4.017-95 – Наказ Мінприроди України від 04.12.2006 №9/3-8-727;

3) «Обобщенный перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентовочно-безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов».

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті досліджень встановлено, що поверхневі води річки не відповідають нормативам. Перевищення концентрацій зафіксовано за вмістом завислих речовин, фосфатів, амоній-йонів, нітритів, заліза, синтетичних поверхнево-активних речовин та хімічним споживанням кисню.

Отримані результати вказують на те, що у зв'язку із динамікою росту антропогенного

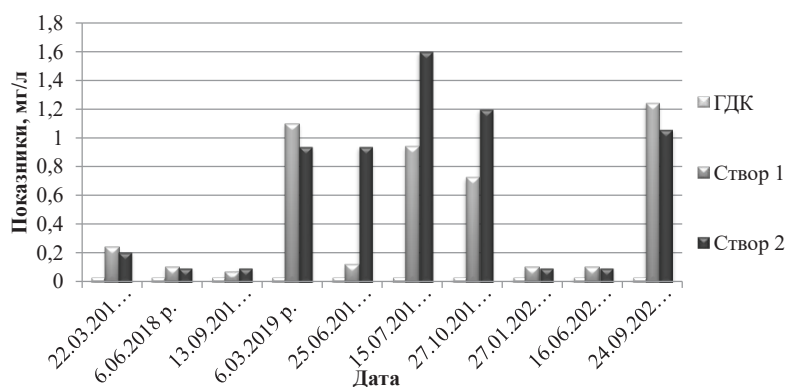


Рис. 6. Показники вмісту СПАР у воді р. Жидувка

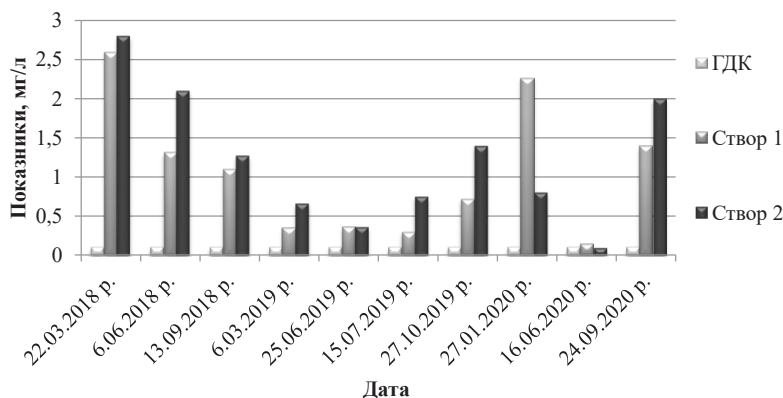


Рис. 7. Показники вмісту заліза (загального) у воді р. Жидувка

навантаження на водойму та з метою ефективного управління водними ресурсами річки Жидувка необхідним є постійний моніторинг якості її поверхневих вод. Проведене дослідження також підтверджує потребу здійснення низки оптимізаційних заходів щодо покращення екологічного стану у басейні р. Жидувка з метою відновлення екологічної рівноваги.

дження також підтверджує потребу здійснення низки оптимізаційних заходів щодо покращення екологічного стану у басейні р. Жидувка з метою відновлення екологічної рівноваги.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. Київ, 2000. 376 с.
2. Водний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 20.12.2021).
3. Гопчак І.В. Порівняння результатів екологічної оцінки сучасного стану якості води річок Волинської області з екологічними нормативами. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Київ : ВГЛ Обрій, 2006. № 9. С. 148–156.
4. ДСанПін 22.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ, 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 26.08.2019).
5. Караїм О.А., Ахнюк М.М. Аналіз вмісту завислих речовин у поверхневих водах річки Жидувка. *Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології: матеріали I Міжнародної наукової конференції* (12–14 травня 2021 року). Луцьк, 2021. С. 196–199.
6. Караїм О.А., Ахнюк М.М. Аналіз хімічного споживання кисню у поверхневих водах річки Жидувка. Матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. аспірантів і студентів «Молода наука Волині: пріоритети та перспективи досліджень», 12–13 травня 2021 року. Луцьк, 2021. С. 687–689.
7. КНД 211.1.4.023-95. Методика визначення нітрит-йонів з реактивом Гріса в поверхневих та очищених стічних водах. Київ, 1995. 11 с.
8. КНД 211.1.4.030. Методика визначення амоній-іонів з реактивом Неслера в стічних водах. Київ, 1995. 16 с.
9. Кукурудза С.І, Гурій С.М. Аналіз якості природних вод. Львів, 1990. 90 с.
10. Лавринюк З., Караїм О., Гулай Л. Гідрохімічний аналіз та особливості використання поверхневих вод річки Оконка. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. № 3. 2021. С. 24–29. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2021-3-4>
11. Мольчак Я.О., Мігас Р.В. Річки Волині. Луцьк, 1999. 176 с.
12. Набиванець Б.І., Сухан В.В., Калабша Л.В. Аналітична хімія природного середовища. Київ, 2002. 304 с.
13. Обобщенный перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентовочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М., 1990. 37 с.
14. Про затвердження Нормативів екологічної безпеки водних об'єктів, що використовуються для потреб рибного господарства, щодо гранично допустимих концентрацій органічних та мінеральних речовин у морських та прісних водах (біохімічного споживання кисню (БСК-5), хімічного споживання кисню (ХСК), завислих речовин та амонійного азоту). Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України 30.07.2012 р. № 471. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text> (дата звернення: 26.08.2019).
15. Яцик А.В., Гопчак І.В. Екологічна оцінка стану поверхневих вод Волинської області та нормування їх якості. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Київ, 2006. № 10. С. 129–135.

REFERENCES:

1. Vishnevsky, V.I. (2000). Richky i vodoimy Ukrainy. Stan i vykorystannia [Rivers and reservoirs of Ukraine. Condition and use]. Kyiv: Vipol [in Ukrainian].
2. Vodnyi kodeks Ukrainy [Water Code of Ukraine]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> [in Ukrainian].
3. Gopchak, I.V. (2006). Porivniannia rezultativ ekolohichnoi otsinky suchasnoho stanu yakosti vody richok Volynskoi oblasti z ekolohichnymy normatyvamy [Comparison of the results of ecological assessment of the current state of water quality of rivers of Volyn region with ecological standards]. *Hidrolohiia, hidrokhiimia i hidroekolohiia – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Kyiv: VGL Obrij. 9, 148-156 [in Ukrainian].
4. DSanPin 22.4-171-10. (2010). Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption. Kyiv. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> [in Ukrainian].
5. Karaim, O.A., Akhniuk, M.M. (2021). Analiz vmistu zavyslykh rehovyn u poverkhnevyykh vodakh richky Zhyduvka [Analysis of the content of suspended solids in the surface waters of the Zhyduvka River]. Current issues of chemistry, materials science and ecology: materials of the First International Scientific Conference (May 12-14). Lutsk. 196-199. [in Ukrainian].
6. Karaim, O.A., Akhniuk, M.M. (2021). Analiz khimichnoho spozhyvannia kysniu u poverkhnevyykh vodakh richky Zhyduvka [Analysis of chemical oxygen demand in the surface waters of the Zhyduvka River]. Materials XV International.

scientific-practical conf. graduate students and students "Young Science of Volyn: priorities and prospects for research", May 12-13. Lutsk. 687–689. [in Ukrainian].

7. KND 211.1.4.023-95. (1995). Metodyka vyznachennia nitryt-ioniv z reaktivom Hrisa v poverkhnevyykh ta ochyshchennykh stichnykh vodakh [Method of determination of nitrite-ions with Gris reagent in surface and treated waste water]. Kyiv [in Ukrainian].

8. KND 211.1.4.030. (1995). Metodyka vyznachennia amonii-ioniv z reaktivom Neslera v stichnykh vodakh [Method of determination of ammonium-ions with Nessler's reagent in waste water]. Kyiv [in Ukrainian].

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

10. 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> [in Ukrainian].

11. Molchak, Y.O., Migas, R.V. (1999). Richky Volyni [Rivers of Volyn]. Lutsk: Nadstyria [in Ukrainian].

12. Nabyvanets, B.I., Sukhan, V.V., Kalabsha, L.V. (2002). Analitichna khimiia pryrodnoho seredovyscha [Analytical chemistry of the natural environment]. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].

13. Obobshchennyy perechen' predel'no-dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) i orientovochno bezopasnykh urovney vozdeyvtiya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody rybokhozyaystvennykh vodoemov [A generalized list of maximum permissible concentrations (MPC) and tentatively safe exposure levels (TSEL) of harmful substances for the water of fishery reservoirs]. M.: 1990. 37 p. [in Russian].

14. Pro zatverdzhennia Normatyviv ekolohichnoi bezpeky vodnykh ob'iektiv, shcho vykorystovuiutsia dlia potreb rybnoho hospodarstva, shchodo hranychno dopustymykh kontsentratsii orhanichnykh ta mineralnykh rehovyn u morskykh ta prisnykh vodakh (biokhimichnoho spozhyvannia kysniu (BSK-5), khimichnoho spozhyvannia kysniu (KhSK), zavyslykh rehovyn ta amoniinoho azotu) [On approval of the Standards of ecological safety of water bodies used for the needs of fisheries on the maximum permissible concentrations of organic and mineral substances in marine and fresh waters (biochemical oxygen demand (BOD-5), chemical oxygen demand (COD), suspended solids and ammonium nitrogen)]. Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine 30.07.2012 № 471. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1369-12#Text> [in Ukrainian].

15. Jacik, A.V., Gopchak, I.V. (2006). Ekolohichna otsinka stanu poverkhnevyykh vod Volynskoi oblasti ta normuvannia yikh yakosti [Ecological assessment of the state of surface waters of Volyn region and standardization of their quality]. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Kyiv: VGL Obrij. 10, 129-135 [in Ukrainian].

УДК 911.2:711.5(477.81)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-3>

Людмила КЛИМЕНКО

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри туризму, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. М. Карнаухова, 53а, м. Рівне, Україна, 33000

ORCID: 0000-0001-9030-0506

Бібліографічний опис статті: Клименко, Л. (2022). Стан рекреаційних зон міста Рівного. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 18–24, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-3>

СТАН РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН МІСТА РІВНОГО

Проведений аналіз стану зелених насаджень міста Рівного, які розподіляються на об'єкти: загального користування, у складі якого вирізняють парки, міські сади, сквери, бульвари вздовж вулиць, пішохідних трас; обмеженого користування, куди входять ділянки біля житлових будинків, дитячих закладів, шкіл, закладів вищої освіти, спортивних майданчиків, лікувальних закладів, установ, промислових підприємств, складської зони; спеціального призначення у складі насаджень вздовж магістралей і вулиць, водоохоронні, вітрозахисні, протиерозійні насадження, насаджень кладовищ, розсадники, санітарно-захисні зони підприємств.

Серед 6 парків найпривабливішим є парк ім. Тараса Шевченка площею 32 га, зелені насадження якого представлені 160 видами рослин, з них 64 види інтродуковані. Інші парки площею від 6 до 37 га представлені одновіковими зрідженними насадженнями, а деякі з ґрунтовим розташуванням.

Серед середніх міст Рівне характеризується незначною площею зелених масивів і насаджень – 22,9 м²/особу, тоді як Луцьк – 28,8 м²/особу, Івано-Франківськ – 47,9 м²/особу.

Для покращення екологічного стану міста Рівного рекомендується площу зелених масивів і насаджень збільшити до показника 29,0 м²/особу за рахунок посадки дерев і кущів у водоохоронних зонах водних об'єктів, територій закладів освіти, підприємств та новозбудованих житлових масивів, що відповідає критеріям SMART.

Насамперед запропоновані рекомендації відповідають критеріям, а саме: конкретністю (наближення площі зелених масивів і насаджень до максимально можливих); вимірювальністю (заплановано збільшити площу зелених масивів і насаджень на 150 га); досяжністю (наявність у місті площ для посадки дерев); доцільністю (посприяє зменшенню поширеності хвороб серед населення); визначеністю у часі (щорічні акції впродовж 2021-2026 років).

Ключові слова: зелені масиви, насадження, парки, сквери, бульвари, міські сади, омела, рекреація, критерії SMART.

Liudmyla KLYMENKO

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at Tourism Department, National University of Water Management and Environmental Sciences, 53a M. Karnaukhova str., Rivne, Ukraine, 33000

ORCID: 0000-0001-9030-0506

To cite this article: Klymenko, L. (2022). Stan rekreatsiinykh zon mista Rivnoho [The state of recreation areas of Rivne]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 18–24, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-3>

THE STATE OF RECREATION AREAS OF RIVNE

In the article there was done analysis of the state of green plantations in the city of Rivne which are divided into objects of common use, such as parks, city and public gardens, boulevards along the streets, pedestrian roads; areas of limited use which include territories near housing space, children's institutions, schools, higher educational establishments, sports grounds, medical institutions, industrial areas, storehouses; areas of special purpose including plantations along highways and streets, water and wind protection zones, antierosion plantations, cemetery plantations, arboreta, sanitary protections of enterprise areas.

The most attractive one among six parks in the city is Taras Shevchenko Park, the area of which is 32 ha, green plantations are represented there by 160 species, 64 of them are introductive. All the other parks covering the area from 6 to 37ha are represented by monoaged thin plantations. Some of them are located in groups.

Among middle-sized cities Rivne is characterized by small area of green plantations and has 22,9m of them per person, through Lutsk has 28,8 m per person, Ivano-Frankivsk – 47,9m.

In order to improve ecological state of Rivne it is recommended to extend the area of green tracts and plantations planting trees, bushes in water protection zones of water objects, territories of educational establishments and newly-built housing spaces, which will correspond to the criteria of SMART, up to 29,0m per person.

First of all, the proposed recommendations meet the criteria, namely: specificity (approximation of the area of green areas and plantations to the maximum possible); measurability (it is planned to extend the area of green areas and plantations by 150 hectares); reachability (availability of areas for planting trees in the city); expediency (will help reduce the prevalence of diseases among population); certainty in time (annual actions within the years 2021-2026).

Key words: green plantations, tracts, parks, public garden, boulevard, city gardens, recreation, SMART criteria.

Актуальність проблеми Під впливом урбанізації на забудованих територіях змінюється, насамперед, рослинний покрив, а за цим і структура рослинних угруповань. На місці занедбаних сільськогосподарських угідь, рекультивованих еродованих земель і кар'єрів, вирубаних лісових насаджень з часом створюються штучним шляхом зелені насадження, а також масово з'являються адвентивні рослини, які формують бур'янові сеgetальні (від лат. segetalis – зростають серед хлібів) і рудеральні (від лат. gerisud – щербинь, сміття) фітоценози (Кучерявий, 1984; Кучерявий, 2001).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчать чисельні дослідження і публікації видозмінена і штучно створена рослинність міських насаджень і зелених масивів внаслідок значних техногенних і урбогенних впливів знижує свою життєвість і декоративність, а також санітарно-гігієнічні якості. За даними досліджень науковців у міських насадженнях і зелених масивах спостерігається величезне різноманіття захворювань рослин на неінфекційні хвороби, які виникають під впливом метеорологічних факторів (вітер, блискавки, низькі і високі температури), ґрунтовими умовами (кислотність, лужність, нестача макроелементів, наявність у ґрунтах важких металів), викидами до атмосфери забруднюючих речовин, механічних пошкоджень (транспортом, обрізкою дерев).

Одночасно захворюваність рослин має місце і від інфекційної хвороби, збудниками якої є паразитичні гриби та комахи (Кучерявий, 1984; Кучерявий, 2001; Клименко, Меліхова, 2001; Мольчак, Клименко, Фесюк, 2008).

Незважаючи на це зелені насадження, в тому числі і штучно створені, очищають повітря міст від забруднюючих речовин, збагачують його киснем, захищають жителів від шуму, електромагнітних випромінювань, сприяють іонізації повітря та проявляють фітонцидну активність (Кучерявий, 1984; Кучерявий, 2001; Кучерявий, 2003; Чайка, 1999).

Крім екологічної функції міські зелені масиви і насадження виконують ще й естетичну, психологічно-заспокійливу, відеоекологічну та рекреаційну функції (Андропов, 2005; Роговський, 2019). Виникає потреба у створенні на територіях міст оптимальних за площею зелених насаджень і масивів, шляхом їх упорядкування, збереження і збільшення, що посприяє створенню (єдиної) цілісної багатофункціональної системи їх озеленення і комфортних умов для проживання населення.

Мета роботи обґрунтувати необхідну площу збільшення зелених насаджень і масивів у місті Рівне впродовж 2021-2026 років. Досягнення SMART-мети передбачає вивчення наступних завдань: охарактеризувати стан зелених насаджень і масивів міста; виявити перспективні площі на території міста для створення на них зелених насаджень і масивів та шляхи гармонізації інтересів різних заінтересованих сторін.

Об'єкти дослідження – стан і функціонування зелених насаджень і масивів міста.

Предмет дослідження – показники, які характеризують стан зелених насаджень і масивів міста.

Методи досліджень. При виконанні досліджень використовувалися метод спостережень, аналізу, синтезу, порівнянь, Swot – аналізу, кореляційного і регресійного аналізу, SMART-критеріїв.

За даними звітності департаменту житлово-комунального господарства загальна площа усіх зелених насаджень у місті Рівне складає 564,5 га, в тому числі на долю зелених насаджень загального користування припадає 149,6 га, на парки культури і відпочинку – 29,8 га, міські парки, сади житлових районів при житлових будинках – 58,85 га, сквери – 32,75 га, набережні та бульвари – 23,3 га (таблиця 1, 2). Площа зелених насаджень обмеженого користування складає біля 319,3 га, у тому числі на території житлових районів мікрорайонів припадає 251,7 га (таблиця 1).

За функціональним призначенням зелені насадження розподіляються на об'єкти: загального користування, у складі якого вирізняють парки, міські сади, сквери, бульвари вздовж вулиць, пішохідні траси; обмеженого користування, куди входять ділянки біля житлових будинків, дитячих закладів, шкіл, закладів вищої освіти, спортивних майданчиків, лікувальних закладів, установ, промислових підприємств, складської зони; спеціального призначення, у складі насаджень вздовж магістралей і вулиць, водоохоронні, вітрозахисні, протиерозійні насадження, насаджень кладовищ, розсадники, санітарно-захисні зони підприємств.

Поряд з цим на території міста функціонують 6 парків і урочище Сосонки (таблиця 2) (Мольчак, Клименко, Фесюк, 2008).

Найпривабливішим з парків є парк імені Тараса Шевченка, який є найбільшим за площею Рівненським загальноміським парком і пам'ятником садово-паркового мистецтва ХІХ ст. Розташований парк у центрі міста. У ньому витримана переважна більшість норм озеленення. Зімкнуті лісового типу насадження створюють приємний і привабливий декоративний ефект, забезпечуючи відвідувачам комфортні умови для відпочинку. Зелені наса-

Таблиця 1

Стан зелених насаджень м. Рівне

	Роки									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Загальна площа зелених насаджень	355,05	355,05	563,65	563,85	564,05	564,5	564,5	564,5	564,5	564,5
Площа зелених насаджень спеціального призначення – всього, га	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6
у тому числі насаджень: вздовж вулиць	53,6	53,6	53,6	53,6	53,6	53,6	53,6	53,6	53,6	53,6
санітарно-захисних зон	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
інші	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Площа міських лісів, га	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Площа зелених насаджень загального користування – всього, га	148,05	148,05	148,75	148,95	149,15	149,6	149,6	149,6	149,6	149,6
у тому числі: парки культури та відпочинку	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
парки міські, районні, сади житлових районів при житлових будинках	58,85	58,85	58,85	58,85	58,85	58,85	58,85	58,85	58,85	58,85
сквери	31,2	31,2	31,9	32,1	32,3	32,75	32,75	32,75	32,75	32,75
набережні та бульвари	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3
гідропарки, лугопарки, лісопарки	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
інші об'єкти благоустрою	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
Площа зелених насаджень обмеженого користування – всього, га	111,4	111,4	319,3	319,3	319,3	319,3	319,3	319,3	319,3	319,3

Характеристика парків м. Рівне

Назва парку	Площа, га	Площа водного дзеркала, га	Тип насаджень	Характер розташування
Парк ім. Т. Шевченка	32	10,5	Зімкнуті лісового типу	Суміжно з автомагістралями
Перемоги	14	-	Однорічкові насадження з рівномірним розміщенням	Суміжно з автомагістралями
Автомобілістів	6	-	Поодинокі насаждені дерева	Суміжно з автомагістралями
Молодіжний	6,2	1,0	Однорічкові насадження з груповим розміщенням	Усередині забудови
Гідропарк	37	9,9	Напіввідкриті простори зріджених насаджень	Біля річки, суміжно із житловою забудовою, залізницею і автодорогою
Хімік	23,3	0,4	Напіввідкриті простори зріджених насаджень із груповим розташуванням	Суміжно із житловою забудовою і автомагістралями

дження парку представлені 160 видами рослин, з них 64 види є інтродуцентами, а два види (тис ягідний та бузок угорський) занесено до Червоної книги України. Всього у парку налічується біля 5540 дерев та біля 14200 кущів. Серед найбільш цінних видів зростає ялина європейська (*Picea abies*), сосна Веймутова (*Pinus alba*), ясен високий (*Fraxinus excelsior*), барбарис звичайний (*Berberis vulgaris*), бархат амурський (коркове дерево), береза бородавчаста (*Betula pendula*), в'яз гладкий (*Ulmus laevis*), граб звичайний (*Carpinus betulus*), дуб черешчатий (*Quercus robur*), каштан звичайний (*Castanea vulgaris*), тощо.

Парк Перемоги, він же парк-меморіал Вічної слави, розташований на східній околиці міста на хвилястому межиріччі. Зелені насадження представлені однорічковими насадженнями з рівномірним розташуванням. На території парку нараховується до 40 видів дерев і значно більше кущів та трав'янистої рослинності. Парк занедбаний, потребує оновлення і реконструкції.

Парк Автомобілістів за типом насадження – поодинокі дерева з переважанням трав'янистої рослинності. Невеликий за розміром. Трав'яниста рослинність представлена синантропними видами. Парк потребує реконструкції.

Парк Молодіжний – утворений способом осушення низинних боліт у заплаві р. Устя. Площа водного дзеркала до 1 га. Зелені насадження представлені однорічковими насадженнями з груповим розміщенням.

Парк Гідропарк має статус загальноміського значення. Основою цього парку є система штучно створених озер і водойм у заплаві р. Устя. Паркова зона характеризується напіввідкритими просторами і вільним розміщенням деревно-чагарникової рослинності, яке поєднується з трав'янистою рослинністю, що формує на території парку сегетальні та рудеральні фітоценози. В останні роки антропогенний вплив на даний об'єкт посилюється у зв'язку з будівництвом спортивного комплексу та функціонування ринку продовольчих і промислових товарів впритул до території парку.

Як зона відпочинку і рибальства використовується незначною кількістю жителів, переважно в літній період, частіше для відвідування ринку. Парк потребує оновлення, реконструкції.

Парк Хімік є композиційно незавершеним для комплексного використання. Парк представляє собою напіввідкриті простори поєднані із зрідженим і груповим розташуванням дерев і кущів. Завершеною і придатною для відпочинку та заняттям спортом є лише третя частина парку. Неукомплектована частина парку заростає рудеральною рослинністю. Схили зазнають водної ерозії та вищипування. Парк потребує доукомплектування та оновлення.

Заповідне урочище Сосонки представляє собою ландшафт з певною формою рельєфу, який розташовується на однорідному субстраті та об'єднується спільним напрямком фізико-географічних процесів.

Урочище Сосонки має статус заповідного, яке йому надано у 1994 році без вилучення

земельних ділянок у їх власників або користувачів. Завданням урочища є збереження фрагментів природних дубово-грабових, грабово-дубових та осиково-вільхових лісів з рідкісними та малопоширеними видами рослин, мальовничими ландшафтами, а також як місцями гніздування багатьох видів птахів.

На території урочища виявлено більше 130 видів деревних, чагарникових, трав'янистих рослин, в тому числі і цінних: агрусу відхиленого, анемони дібрової, астрагону солодколистого, берези бородавчатої, берези повислої, бруслини бородавчатої і європейської, веснівки дволістої, глоду колючого, фіалки дивної тощо.

У межах урочища функціонує Рівненський зоопарк, який не наносить шкоди урочищу. Однак на сьогодні виникає потреба в обов'язковому дотриманні режиму заповідності в урочищі.

Аналіз стану зелених масивів та насаджень міста засвідчує, що жителі різних його частин неоднаково забезпечені природними ресурсами. У значно кращому стані знаходяться жителі центральної частини міста, в межах якої функціонує три парки, тоді як у східній і західній його частині в наявності є лише по одному.

У найгіршому стані перебувають жителі району Боярка і масиву Північний, де рекреаційні простори взагалі відсутні.

Одночасно слід зазначити, що зелені масиви і насадження майже повсемісно зазнають уражень квітковими паразитами, напівпаразитами, мікозами та ентомошкідниками.

За даними обстежень у 2020 році було виявлено 1177 дерев різного ступеня ураженості омелою, а саме: 187 дерев слабо уражених, 330 середньо уражених, 260 сильно уражених, 400 дуже сильно уражених. Ураження омелою зазнали 16 видів дерев: Тополя чорна – *Populus nigra* L. (43% всіх уражених видів), Липа серцелиста – *Tilia cordata* Mill (17%), Осика – *Populus tremula* L. (10%), Дуб звичайний – *Quercus robur* L. (6%), інші 12 видів 24%.

Поряд з цим, враховуючи що місто Рівне має (невелику) незначну площу зелених масивів і насаджень (22,9 м²/особу) проти 47,9 м²/особу в Івано-Франківську та 28,8 м²/особу в Луцьку, виникає потреба у збільшенні їх площ. На нашу думку, перспективними місцями створення нових зеле-

них масивів і насаджень у місті можуть бути водоохоронні зони озера Басів Кут, річок Боярчик, Тиннівська, Бармаківського потічка, території закладів освіти, промислових підприємств, території нових забудов.

Першочерговість вирішення цього завдання обумовлюється також і наявністю у місті тенденції до зростання поширеності більшості хвороб у його жителів під впливом зростаючих обсягів сумарних викидів забруднюючих речовин, які надходять до атмосфери від стаціонарних і пересувних джерел впродовж останніх десятиліть (Клименко, Лико, Прищепа, 2018; Клименко, Прищепа, Хомич, 2014). Поряд з цим, збільшення площ зелених масивів і насаджень у місті посприє покращенню комфортних умов для проживання населення, дозволить гармонізувати інтереси біля цієї проблеми влади, жителів, бізнесу та науковців. Як засвідчують дані аналізу відповідності вказаної мети збалансованому розвитку міста Рівного вона повністю відповідає критеріям SMART (таблиця 3). Тобто, судячи з таблиці 3 мета є конкретною, вимірювальною, досяжною, доцільною та орієнтованою на результат (зменшення захворюваності населення, покращення рекреаційної привабливості міста), визначеною у часі.

Висновки

1. Жителі міста Рівного неоднаково забезпечені зеленими насадженнями. У найкращих умовах проживають жителі центральної частини міста, в межах якої розташовано три парки, тоді як у східній і західній частинах міста – по одному парку. У найгірших умовах проживають жителі районів Боярки та Північному, де рекреаційні простори відсутні.

2. Встановлено для середніх міст, що за площею зелених масивів і насаджень місто Рівне (22,9 м²/особу) поступається Луцьку (28,8 м²/особу) та Івано-Франківську (47,9 м²/особу).

3. Для досягнення показника 29 м²/особу зелених масивів і насаджень площа їх у місті Рівному повинна зрости на 150 га за рахунок посадки дерев і кущів у водоохоронних зонах водних об'єктів, територій закладів освіти, підприємств та новозбудованих житлових масивів.

4. Мета збільшення площ зелених масивів і насаджень міста Рівного відповідає критеріям SMART.

Відповідність мети критеріям SMART

№ з/п	Критерії SMART	Відповідність критерію SMART
1	S=Specific (конкретний)	Оскільки м. Рівне за площею зелених насаджень і масивів 23,0 м ² /особу поступається м. Луцьк (28,8 м ² /особу) та м. Івано-Франківськ (47,9 м ² /особу) виникає потреба довести її до показника 29,0 м ² /особу.
2	M=Measurable (вимірювальний)	Для досягнення показника 29 м ² /особу площа зелених масивів і насаджень у м. Рівне повинна зрости на 150 га (від 564,5 до 714,5 га).
3	A=Achievable (досягнений)	Досягти озеленення 150 га планується за рахунок посадок дерев і кущів у водоохоронних зонах річок Боярчик, Тиннівська, Бармаківського струмочка, заплави озера Басів Кут, територій закладів освіти, дитячих садочків, промислових підприємств, упорядкування садів новозбудованих житлових масивів.
4	R=Relevant and Results – oriented (доцільний та орієнтований на результат)	Наявність у місті площ земель зайнятих рудеральною та сегетальною рослинністю, зрідженими кущами, злаково-лучними рослинними угрупованнями, масивів відведених під багатоповерхову та індивідуальну забудову без зелених насаджень. Створення нових зелених масивів і насаджень передбачається зусиллями зеленого господарства, установами, організаціями і при активній участі громадських організацій, жителів міста, представників бізнесу. Щорічне проведення акції для жителів міста «Посади своє дерево».
5	T=Time-bound (визначений у часі)	Термін реалізації мети 2021-2026 роки. Посадка дерев жителями міста під час проведення акцій «Посади своє дерево» квітень-травень місяці. Зеленому господарству міста провести дослідження і надати пропозиції з цього питання до січня 2021 року.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кучерявий В.А. Природная среда города. Львов: Вища школа, 1984. 144 с.
2. Кучерявий В.П. Урбоекологія: підручник. Львів: Світ, 2001. 440 с.
3. Кучерявий В.П. Фітомеліорація: навчальний посібник. Львів: Світ, 2003. 540 с.
4. Чайка В.С. Урбоекологія: підручник для студентів. Вінниця, 1999. 368 с.
5. Клименко М.О., Меліхова Т.Л. Довідник екологічного стану м. Рівного: навчальний посібник. Рівне: «Волинські Обереги», 2001. 144 с.
6. Мольчак Я.О., Клименко М.О., Фесюк В.О., Залеський І.І. Рівне: природа, господарство та екологічні проблеми: монографія. Рівне: НУВГП, 2008. 314 с.
7. Оцінювання стану міста Рівне за показниками цитогенетичного моніторингу : монографія / М.О. Клименко, Д.В. Лико, А.М. Прищеп, М.В. Каськів. Рівне: НУВГП. 2008. 314 с.
8. Клименко, М. О., Прищеп, А. М., Хомич Н. Р. Оцінювання стану міста Рівне за показниками еколого-соціального моніторингу : монографія. Рівне: НУВГП. 2014. 253 с.
9. Андропов О.М. Стан рекреаційного комплексу України. *Економіка і Екологія*. 2005. № 24. С. 21–25.
10. Роговський С.В. Сучасні проблеми створення та утримання зелених насаджень у населених пунктах України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 1. С. 9–15.

REFERENCES:

1. Kucheriavyi, V.A. (1984). *Pryrodnaia sreda horoda [The natural environment of the city]*. Lvov: Vyshcha shkola. [in Russian].
2. Kucheriavyi V.P. (2001). *Urboekolohiia: pidruchnyk [Urban ecology: a textbook]*. Lviv: Svit. [in Ukrainian].
3. Kucheriavyi, V.P. (2003). *Fitomeliorsia: navchalnyi posibnyk [Phytomelioration: a textbook]*. Lviv: Svit [in Ukrainian].
4. Chaika, V.Ie. (1999). *Urboekolohiia: pidruchnyk dlia studentiv [Urban ecology: a textbook for students]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
5. Klymenko, M.O., Melikhova, T.L. (2001). *Dovidnyk ekolohichnoho stanu m. Rivnoho: navchalnyi posibnyk [Handbook of ecological condition of Rivne: textbook]*. Rivne: «Volynski Oberehy» [in Ukrainian].
6. Molchak, Ya.O., Klymenko, M.O., Fesiuk, V.O. & Zaleskyi I.I. (2008). *Rivne: pryroda, hospodarstvo ta ekolohichni problemy [Rivne: nature, economy and environmental problems]*. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].

7. Klymenko, M.O., Lyko, D.V., Pryshchepa, A.M. & Kaskiv, M.V. (2008). *Otsiniuvannia stanu mista Rivne za pokaznykamy tsytohetychnoho monitorynhu [Assessment of the state of Rivne according to cytogenetic monitoring indicators]*. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].

8. Klymenko, M. O., Pryshchepa, A. M. & Khomych N. R. (2014). *Otsiniuvannia stanu mista Rivne za pokaznykamy ekoloho-sotsialnoho monitorynhu [Assessment of the state of the city of Rivne according to the indicators of ecological and social monitoring]*. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].

9. Andropov, O.M. (2005). Stan rekreatsiinoho kompleksu Ukrainy [The state of the recreational complex of Ukraine]. *Ekonomika i Ekolohiia – Economics and Ecology*, 24, 21–25 [in Ukrainian].

10. Rohovskyi, S.V. (2019). Suchasni problemy stvorennia ta utrymannia zelenykh nasadzen u naselenykh punktakh Ukrainy [Modern problems of creation and maintenance of green plantations in the settlements of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, (Vols. 29), 1, 9–15 [in Ukrainian].

УДК 504.064.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-4>

Алла КОЛІСНИК

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

ORCID: 0000-0002-0622-9637

Заряна НАКОНЕЧНА

старший викладач кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

ORCID: 0000-0001-9273-3225

Бібліографічний опис статті: Колісник, А., Наконечна, З. (2022). Оцінка стану повітряного басейну міста Одеси за комплексним індексом забруднення атмосфери. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 25–30, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-4>

ОЦІНКА СТАНУ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ МІСТА ОДЕСИ ЗА КОМПЛЕКСНИМ ІНДЕКСОМ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Актуальність дослідження полягає в тому, що оцінка рівня забруднення повітряного басейну міст є необхідною, так як від якості атмосфери залежить здоров'я населення особливо в урбоекосистемах. У містах основна доля забруднюючих речовин повітря потрапляє від пересувних джерел. Крім автотранспорту у м. Одеса як основними стаціонарними джерелами є підприємства-забруднювачі. Причинами суттєвих викидів у атмосферне повітря м. Одеса є збільшення ремонтних робіт на технологічному обладнанні та збільшення обсягу природного газу, який використовується підприємствами. **Метою дослідження** є оцінка рівня забруднення повітряного басейну міста Одеси за 2013-2019 рр. на основі індексів забруднення атмосфери (ІЗА). **Методи дослідження:** оцінка якості атмосферного повітря у дослідженні виконана на основі методу інтегральної оцінки, який дозволяє оцінити якість атмосферного повітря в певному районі або по місту в цілому за однією або декількома забруднюючими речовинами на основі розрахунку комплексних показників. В якості таких нормативів використовуються величини гранично допустимих концентрацій токсичних речовин в атмосферному повітрі. **Висновки:** за результатами дослідження встановлено, що за значеннями індексів забруднення атмосфери вимоги до якості атмосферного повітря виконуються тільки для таких забруднюючих атмосферу речовин як: оксид вуглецю (за $ІЗА_{сер}$) та діоксид азоту, сірководень, сажа, фтористий водень (за $ІЗА_{макс}$). Пріоритетними забруднювальними речовинами виявилися формальдегід та оксид вуглецю за значенням $ІЗА_{сер}$ та $ІЗА_{макс}$ відповідно. За комплексним показником забруднення атмосфери максимальні рівні забруднення атмосферного повітря м. Одеси відмічаються у 2013 та 2017 роках. Для зниження рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси місцевим органам влади бажано зосередити увагу та сприяти впровадженню природоохоронних технологій, оновленню обладнання та встановленню очисних споруд, що значно зменшують кількість викидів даних забруднюючих речовин у атмосферне повітря міста, на стаціонарних об'єктах-забруднювачах атмосферного повітря.

Ключові слова: забруднення атмосфери, забруднюючі речовини, якість атмосферного повітря, індекс забруднення атмосфери.

Alla KOLISNYK

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

ORCID: 0000-0002-0622-9637

Zaryana NAKONECHNAYA

Senior Lecturer at the Department of Environmental Science and Environmental Protection, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106

ORCID: 0000-0001-9273-3225

To cite this article: Kolisnyk, A., Nakonechnaya, Z. (2022). Ocinka stanu povitryanogo basejnu mista Odesy za kompleksnym indeksom zabrudnennya atmosfery [Assessment of the condition of the air basin of the Odesa city according to the complex index of atmospheric pollution]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 25–30, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-4>

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF THE AIR BASIN OF THE ODESA CITY ACCORDING TO THE COMPLEX INDEX OF ATMOSPHERIC POLLUTION

The relevance of the study is that the assessment of the level of pollution of the air basin of cities is necessary, as the health of the population depends on the quality of the atmosphere, especially in urban ecosystems. In cities, the main part of air pollutants come from mobile sources. In addition to motor transport in Odesa, the main stationary sources of pollution are big enterprises. The reasons for significant emissions into the air of Odesa are the increase in repair work on outdated and inefficient technological equipment and increase in the amount of natural gas used by enterprises. The purpose of the study is to assess the level of air pollution in the Odesa city for 2013-2019 on the basis of air pollution indices (API). Research methods: assessment of air quality in the study is based on the method of integrated assessment, which allows you to assess air quality in a particular area or city as a whole after studying one or more pollutants based on the calculation of complex indicators. Values of maximum permissible concentrations of toxic substances in atmospheric air are used as such standards. Conclusions: the study found that the values of air pollution indices meet the requirements for air quality only for such pollutants as carbon monoxide (according to API - moderate) and nitrogen dioxide, hydrogen sulfide, soot, hydrogen fluoride (according to API - max). Formaldehyde and carbon monoxide were the major pollutants in terms of API - moderate and API - max, respectively. According to the complex indicator of air pollution, the maximum levels of air pollution in Odesa were observed in 2013 and 2017. In order to reduce the level of air pollution in Odesa, local authorities should focus on and promote the introduction of environmental technologies, equipment upgrades and installation of special facilities («cleaners») that significantly reduce emissions of these pollutants into the city's air from stationary air pollutants.

Key words: air pollution, pollutants, air quality, air pollution index.

Актуальність проблеми. Оцінка рівня забруднення повітряного басейну міст є актуальною, так як від якості атмосфери залежить здоров'я населення урбоєкосистеми. У містах основна доля забруднюючих речовин (ЗР) повітря потрапляє від пересувних джерел. Крім автотранспорту у м. Одеса, як основні стаціонарні джерела, виділяються такі підприємства-забруднювачі: ПАТ «Одеський припортовий завод» (Мінпромполітики), ПрАТ «Газтранзит» (Держнафтогаз), ПАТ «Одесагаз» (Держнафтогаз). Основними причинами суттєвих викидів у атмосферне повітря м. Одеса є збільшення ремонтних робіт на технологічному обладнанні та збільшення обсягу газу, який використовується підприємствами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізуючи найактуальніші публікації за темою статті слід відмітити дослідження стану та якості повітряного басейну Одеської промислової агломерації (Чугай, 2019, с. 81), в якому для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря була застосована методика розрахунку індексу забруднення атмосфери, а сам розрахунок ІЗА базувався на основі осереднених даних про вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. В роботі (Чугай, Сафранов,

2020, с. 251) були виконані оцінка і аналіз рівня забруднення атмосферного повітря окремих міст Північно-Західного Причорномор'я за багаторічний період, при цьому для оцінки застосовані комплексні індекси забруднення атмосфери. Результати оцінки стану атмосферного повітря м. Одеса неодноразово використовувалися дослідниками як основа для виконання оцінки впливу пріоритетних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на тривалість життя населення м. Одеса з врахуванням залежності «доза-ефект» при визначенні скорочення тривалості життя від забруднення атмосферного повітря (Колісник, Снесар, Чернякова, 2019, с. 75; Чугай, Колісник, Чернякова, Снесар, 2019, с. 12). Вищезазначене дозволяє стверджувати про важливість та необхідність оцінки стану повітряного басейну м. Одеси.

Мета дослідження. Метою дослідження є оцінка рівня забруднення повітряного басейну міста Одеси за 2013-2019 рр. на основі індексу забруднення атмосфери (ІЗА) та комплексного ІЗА (КІЗА).

Виклад основного матеріалу дослідження. Оцінка якості атмосферного повітря у дослідженні виконана на основі методу інтегральної оцінки (Сафранов, 2015, с. 72-73), який дозво-

ляє оцінити якість атмосферного повітря в певному районі або по місту в цілому за однією або декількома ЗР на основі розрахунку комплексних показників. В якості таких нормативів використовуються величини гранично допустимих концентрацій (ГДК) токсичних речовин в атмосферному повітрі. Усі ЗР відносяться до одного із чотирьох класів небезпеки шкідливих речовин: 1 – надзвичайно небезпечні; 2 – високонебезпечні; 3 – помірно небезпечні; 4 – мало-небезпечні.

Для оцінки ступеня забруднення атмосфери отримані в результаті спостережень середні і максимальні концентрації нормуються на санітарно-гігієнічний норматив, наприклад на гранично допустиму концентрацію. Нормовані характеристики забруднення називають індексом забруднення атмосфери. ІЗА окремою домішкою розраховується за формулами:

$$I = \left(\frac{q_p}{ГДК_{mp}} \right)^{C_i}, \quad (1)$$

$$I = \left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i}, \quad (2)$$

де q_p та \bar{q} – фактичні максимальна та середня концентрації ЗР в атмосферному повітрі, мг/м³; C_i – константа, що набуває значень 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 відповідно для 1; 2; 3; 4-го класу небезпеки речовини і дозволяє привести ступінь шкідливості i -ї речовини до ступеня шкідливості діоксиду сірки.

Розрахунок ІЗА заснований на принципі, що на рівні ГДК усі шкідливі речовини характеризуються однаковим впливом на людину і при подальшому збільшенні концентрації ступінь їхньої шкідливості зростає з різною швидкістю, що залежить від класу небезпеки речовини. Вважається, що при $ІЗА \leq 1$ якість повітря за вмістом окремої ЗР відповідає санітарно-гігієнічним вимогам.

Комплексний ІЗА ($KІЗА$) – це кількісна характеристика рівня забруднення атмосфери, утвореного n речовинами, присутніми в атмосфері міста. $KІЗА$ розраховується за формулою:

$$I_n = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\bar{q}}{ГДК_{cd}} \right)^{C_i} \right)_i, \quad (3)$$

Розраховується $KІЗА$ по одному або K постах міста як сума всіх ІЗА. Комплексний ІЗА враховує n речовин, що присутні в атмосфері.

Дослідження рівня забруднення повітряного басейну м. Одеса виконувалось на основі даних

з офіційних джерел (Регіональні доповіді, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) про стан атмосфери за семирічний період (2013-2019 рр.). Основні ЗР виділялись такі: пил, оксид вуглецю, діоксид азоту, сірководень, фенол, сажа, фтористий водень та формальдегід.

На рис. 1 представлені результати оцінки рівня забруднення атмосферного повітря на основі даних про середньорічні концентрації ЗР. ІЗА_{сер} розраховані на формулою 2 з врахуванням відповідних ГДК_{cd} та класів небезпеки ЗР. Аналізуючи результати оцінки слід відмітити, що вимоги до якості атмосферного повітря виконуються тільки стосовно оксиду вуглецю в період з 2013 р. до 2016 р. ($ІЗА < 1$). Значення індексу забруднення для всіх інших ЗР крім формальдегіду змінюються у діапазоні 1,0 - 1,94. Тобто нормативне значення індексу не перевищує двох одиниць.

Виявлено, що пріоритетним, забруднюючим атмосферу інгредієнтом, є формальдегід, так як числові значення індексу в продовж періоду дослідження є максимальними. При цьому максимальний рівень забруднення атмосфери міста Одеси цим поллютантом спостерігається в 2013 році.

На рис. 2 представлені результати розрахунку ІЗА за формулою 1, які отримані на основі врахування максимальних концентрацій ЗР в атмосферному повітрі, ГДК_{mp} та відповідних класів небезпеки поллютантів. Для розрахунку ІЗА_{макс} використовуються ГДК_{mp}, числові значення яких значно перевищують ГДК_{cd}, тобто безпечними для здоров'я населення у цьому випадку впродовж 20-30 хвилинного періоду знаходження в умовах забрудненого атмосферного повітря є відносно великі значення концентрації ЗР. Ця особливість обґрунтування максимально разових санітарно-гігієнічних нормативів внесла суттєвий вклад в результати оцінки рівня забруднення атмосферного повітря міста для умов короткочасного знаходження в умовах забрудненого повітря.

Отже, вимоги до якості атмосферного повітря виконуються для діоксиду азоту у продовж всього періоду дослідження, сірководню – в 2013 р., сажі – в 2014-2016 рр., фтористого водню – в 2013 р., 2015-2016 рр., 2018-2019 рр. У всіх інших випадках значення індексу для всіх ЗР змінюється в діапазоні – 1,0-2,56. Слід відмітити, що вимоги

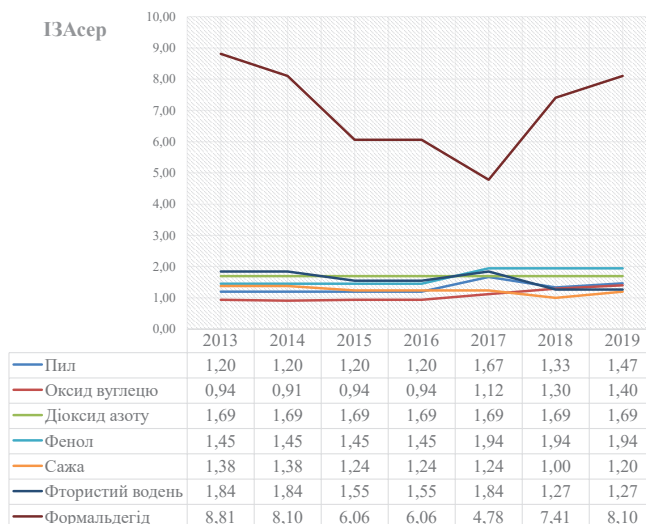


Рис. 1. Результати оцінки рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси за ІЗА_{сеп}

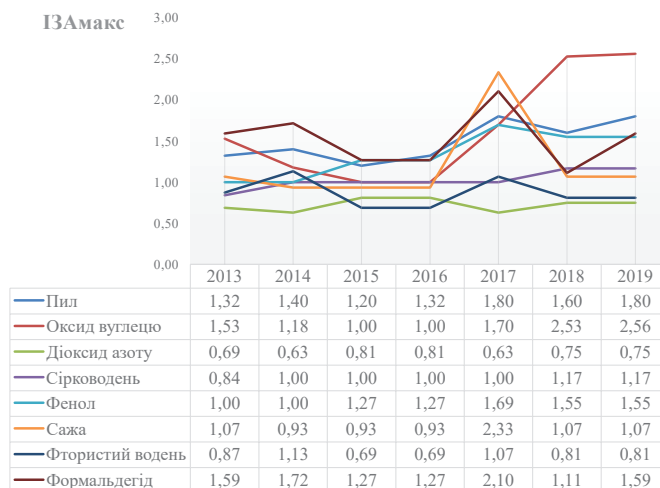


Рис. 2. Результати оцінки рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси за ІЗА_{макс}

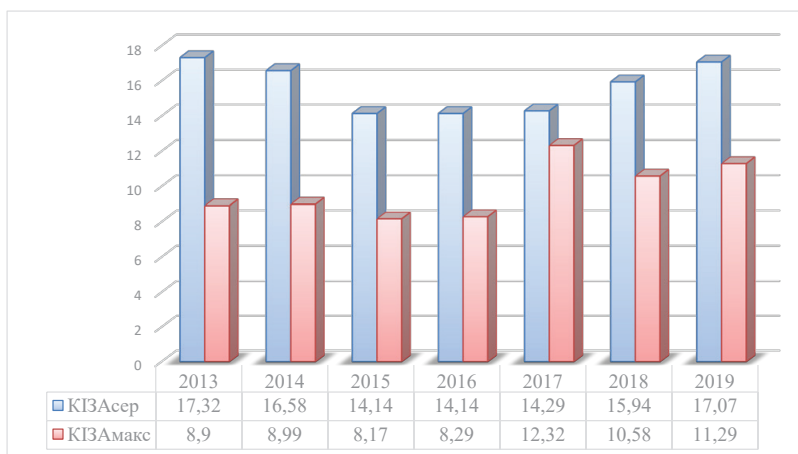


Рис. 3. Комплексна оцінка забруднення атмосферного повітря м. Одеси

до якості атмосферного повітря не виконувалися жодного разу для таких ЗР як: пил, оксид вуглецю, фенол та формальдегід. Крім того у 2017 р. відмічається підвищення рівня забруднення атмосферного повітря за всіма ЗР крім діоксиду азоту та сірководню. Пріоритетним поллютантом слід назвати оксид вуглецю за значенням $I_{ZA_{\max}}$ для якого відмічаються максимуми – 2,53 та 2,56 у 2018 та 2019 роках відповідно, а також чітка тенденція до погіршення якості атмосферного повітря міста з 2016 по 2019 р.

Комплексна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси виконана на основі комплексного індексу забруднення атмосфери за умов врахування максимальних та осереднених концентрацій забруднюючих речовин. Результати оцінки представлені на рис. 3.

За $KI_{ZA_{\text{ср}}}$ спостерігається плавна динаміка зменшення рівня забруднення атмосфери з 2013 р. до 2015-2016 рр. та підвищення рівня забруднення – з 2014 до 2019 р. Максималь-

ний рівень забруднення за $KI_{ZA_{\text{ср}}}$ відмічається у 2013 р., а за $KI_{ZA_{\max}}$ – в 2017 р.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналізуючи результати дослідження слід відмітити, що за значеннями індексів забруднення атмосфери вимоги до якості атмосферного повітря виконуються тільки для таких забруднюючих атмосфери речовин як: оксид вуглецю (за $I_{ZA_{\text{ср}}}$) та діоксид азоту, сірководень, сажа, фтористий водень (за $I_{ZA_{\max}}$). Пріоритетними забруднювальними речовинами виявилися формальдегід та оксид вуглецю за значенням $I_{ZA_{\text{ср}}}$ та $I_{ZA_{\max}}$ відповідно. За комплексним показником максимальні рівні забруднення атмосферного повітря м. Одеси відмічаються у 2013 та 2017 роках. Для зниження рівня забруднення атмосферного повітря м. Одеси місцевим органам влади бажано зосередити увагу на впровадження природоохоронних технологій, оновлення обладнання та встановлення очисних споруд, що значно зменшують кількість викидів даних забруднюючих речовин у атмосферне повітря міста.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Чугай А.В. Стан та якість повітряного басейну Одеської промислово-міської агломерації. *Екологічна безпека*. № 2(28). 2019. С. 81–85.
2. Чугай А.В., Сафранов Т.А. Особливості забруднення атмосферного повітря міст Північно-Західного Причорномор'я. *Вісник Харківського національного університету ім. Каразіна*. № 52. 2020. С. 251–260.
3. Колісник А.В., Снесар А.В., Чернякова О.І. Врахування залежності «доза-ефект» при визначенні скорочення тривалості життя населення від забруднення атмосферного повітря фтористим воднем (на прикладі міста Одеса). *Екологічна безпека*. № 2(28). 2019. С. 75–80.
4. Чугай А.В., Колісник А.В., Чернякова О.І., Снесар А.В. Оцінка впливу вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі на тривалість життя людини (на прикладі м. Одеса, Україна). *Znanstvena misel journal. Earth Sciences*. Vol. 1. №37/2019. 2019. pp. 12–22.
5. Системний аналіз якості навколишнього середовища : підручник / Т.А. Сафранов та ін. ; за заг. ред. Т.А. Сафранова і Я.О. Адаменко. Одеса, 2015. 244 с.
6. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2013 році. Одеська область. Одеса, 2014. 262 с.
7. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2014 році. Одеська область. Одеса, 2015. 250 с.
8. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2015 році. Одеська область. Одеса, 2016. 180 с.
9. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2016 році. Одеська область. Одеса, 2017. 216 с.
10. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2017 році. Одеська область. Одеса, 2018. 270 с.
11. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2018 році. Одеська область. Одеса, 2019. 241 с.
12. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у 2019 році. Одеська область. Одеса, 2020. 239 с.

REFERENCES:

1. Chugai, A.V. (2019). Stan ta yakist' povitryanogo basejnu Odes'koyi promy'slovo-mis'koyi aglomeraciyi [Condition and quality of the air basin of the Odesa industrial and urban agglomeration]. *Ekologichna bezpeka – Ecological safety*, 2(28), 81-85 [in Ukrainian].
2. Chugai, A.V., & Safranov, T.A. (2020). Osobly'vosti zabrudnennya atmosferного povitrya mist Pivnichno-Zaxidnogo Pry'chornomor'ya [Peculiarities of air pollution in the cities of the North-Western Black Sea Coast]. *Visnyk Xarkivs'kogo nacional'nogo universy'tetu im. Karazina – Bulletin of Karazin Kharkiv National University*, 52, 251-260 [in Ukrainian].
3. Kolisnyk, A.V., & Snesar, A.V., & Cherniakova, O.I. (2019). Vraxuvannya zalezhnosti «doza-efekt» pry'vy'znachenni skorochennya try'valosti zhy'ttya naseleNNya vid zabrudnennya atmosferного povitrya ftory'sty'm vodnem (na pry'kladi mista Odesa) [Taking into account the dependence of the "dose-effect" in determining the reduction in life expectancy of air pollution by hydrogen fluoride (on the example of the city of Odesa)]. *Ekologichna bezpeka – Ecological safety*, 2(28), 75-80 [in Ukrainian].
4. Chugai, A.V., & Kolisnyk, A.V., & Cherniakova, O.I., & Snesar, A.V. (2019). Ocinka vply'vu vmistu formal'degidu v atmosferному povitri na try'valist' zhy'ttya lyudy'ny' (na pry'kladi m. Odesa, Ukrayina) [Estimation of influence of formaldehyde content in atmospheric air on life expectancy (on the example of the city of Odesa, Ukraine)]. *Znanstvena misel journal. Earth Sciences*, 37, 12–22 [in Ukrainian].
5. Safranov, T.A., & Adamenko, Ya.O., & Prykhodko, V.Yu., & Shanina, T.P., & Chugai, A.V., & Kolisnyk, A.V. (2015). Sy'stemny'j analiz yakosti navkoly'shn'ogo seredovy'shha [System analysis of environmental quality]. T.A. Safranov & Ya.O. Adamenko (Ed.). Odesa: TES [in Ukrainian].
6. Regional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha u 2013 roci. Odes'ka oblast' [Regional report on the state of the environment in 2013. Odesa region]. (2014). Odesa [in Ukrainian].
7. Regional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha u 2014 roci. Odes'ka oblast' [Regional report on the state of the environment in 2014. Odesa region]. (2015). Odesa [in Ukrainian].
8. Regional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha u 2015 roci. Odes'ka oblast' [Regional report on the state of the environment in 2015. Odesa region]. (2016). Odesa [in Ukrainian].
9. Regional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha u 2016 roci. Odes'ka oblast' [Regional report on the state of the environment in 2016. Odesa region]. (2017). Odesa [in Ukrainian].
10. Regional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha u 2017 roci. Odes'ka oblast' [Regional report on the state of the environment in 2017. Odesa region]. (2018). Odesa [in Ukrainian].
11. Regional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha u 2018 roci. Odes'ka oblast' [Regional report on the state of the environment in 2018. Odesa region]. (2019). Odesa [in Ukrainian].
12. Regional'na dopovid' pro stan navkoly'shn'ogo pry'rodnogo seredovy'shha u 2019 roci. Odes'ka oblast' [Regional report on the state of the environment in 2019. Odesa region]. (2020). Odesa [in Ukrainian].

УДК 546.72+546.26-022.532

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-5>

Валентина ЛИТВИН

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії та наноматеріалознавства, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, бульв. Шевченка, 81, м. Черкаси, Україна, 18000

ORCID: 0000-0003-1236-6344

Scopus-Author ID: 55246724200

Марина СЕМЕНОВА

молодший науковий співробітник кафедри хімії та наноматеріалознавства, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, бульв. Шевченка, 81, м. Черкаси, Україна, 18000

ORCID: 0000-0002-0485-9715

Юлія СМЕТЕНКО

молодший науковий співробітник кафедри хімії та наноматеріалознавства, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, бульв. Шевченка, 81, м. Черкаси, Україна, 18000

ORCID: 0000-0002-2192-7628

Бібліографічний опис статті: Литвин, В., Семенова, М., Сметенко, Ю. (2022). Залізо-карбоні наноккомпозити на основі синтетичних гумінових речовин та їх магнітні властивості. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 31–39, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-5>

ЗАЛІЗО-КАРБОНІ НАНОКОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ СИНТЕТИЧНИХ ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН ТА ЇХ МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ

Наночастинки металів інкапсульовані в карбоні матрицю становлять значний інтерес у зв'язку з перспективами їх використання при створенні нових матеріалів для техніки та медицини. Важливе значення для промисловості мають метал-карбоні наноккомпозити в складі яких містяться наночастинки перехідних металів. Метою роботи є синтез залізо-карбоні наноккомпозиту з використанням синтетичних гумінових речовин в якості джерела карбону та дослідження властивостей одержаного продукту. Залізо-карбоні наноккомпозит було одержано шляхом піролізу ферум(III) гумату у атмосфері водню H_2 . Використаний в роботі ферум(III) гумат було отримано осадженням з розчину синтетичного натрій гумату йонами Fe^{3+} . Одержаний FeC-наноккомпозит охарактеризовано методом рентгенівської дифракції, рентгенофлюоресцентного аналізу та скануючої електронної мікроскопії. Встановлено, що отриманий залізо-карбоні наноккомпозит містить металічне залізо з ГЦК та ОЦК ґраткою. Показано, що середній розмір частинок в інтервалі температур піролізу 300–1000 °C змінюється від 9,8 до 52,5 нм. Масова частка нікелю у композиті при підвищенні температури синтезу збільшується від 29 до 41 %. Дослідження магнітних властивостей отриманих наноккомпозитів дозволило встановити, що в області температур менше 320 К вони володіють феромагнетизмом, а в області 320 К зазнають переходу в суперпарамагнітний стан. Важливим результатом дослідження є залежність питомої намагніченості зразків від вмісту заліза та розмірів наночастинок, що забезпечує можливість направленої регулювання магнітних характеристик при зміні параметрів синтезу.

Ключові слова: синтетичні гумати, залізо, наноккомпозити, піроліз, аморфний карбон.

Valentina LITVIN

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Chemistry and Nanomaterial Science, Bohdan Khmelnsky National University, 81 Shevchenko str., Cherkasy, Ukraine, 18000

ORCID: 0000-0003-1236-6344

Scopus-Author ID: 55246724200

Marina SEMENOVA

Junior Research Assistant at the Department of Chemistry and Nanomaterial Science, Bohdan Khmelnsky National University, 81 Shevchenko str., Cherkasy, Ukraine, 18000

ORCID: 0000-0002-0485-9715

Yulia SMETENKO

Junior Research Assistant at the Department of Chemistry and Nanomaterial Science, Bohdan Khmelnytsky National University, 81 Shevchenko str., Cherkasy, Ukraine, 18000

ORCID: 0000-0002-2192-7628

To cite this article: Litvin, V., Semenova, M., Smetenko, Yu. (2022). Zalizo-karbonovi nanokompozyty na osnovi syntetychnykh huminovykh rehovyn ta yikh mahnitni vlastyvoli [Iron-carbon nanocomposites based on synthetic humic substances and their magnetic properties]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 31–39, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-5>

IRON CARBON NANOCOMPOSITES BASED ON SYNTHETIC HUMIC SUBSTANCES AND THEIR MAGNETIC PROPERTIES

Metal nanoparticles encapsulated in a carbon matrix are of considerable interest in connection with the prospects for their use in the creation of new materials for technology and medicine. Metal-carbon nanocomposites containing transition metal nanoparticles are of great importance for industry. The aim of the work is the synthesis of an iron-carbon nanocomposite using synthetic humic substances as a source of carbon and studying the properties of the resulting product. The iron-carbon nanocomposite was obtained by ferum(III) humate pyrolysis in an H₂ hydrogen atmosphere. The ferum(III) humate used in the work was obtained by precipitation from a synthetic sodium humate solution by Fe³⁺ ions. The resulting FeC nanocomposite is described by X-ray diffraction, X-ray fluorescence analysis, and scanning electron microscopy. It has been established that the resulting iron-carbon nanocomposite contains metallic iron with fcc and bcc lattices. It is shown that the average particle size in the pyrolysis temperature range of 300-1000 °C varies from 9.8 to 52.5 nm. The mass fraction of iron in the composite increases from 29 to 41% with an increase in the synthesis temperature. The study of the magnetic properties of the obtained nanocomposites made it possible to establish that in the temperature range below 320 K they exhibit ferromagnetism, and in the range of 320 K they undergo a transition to the superparamagnetic state. The important result of the study is the dependence of the specific magnetization of the samples on the iron content and nanoparticle sizes, which makes it possible to control the magnetic characteristics when changing the synthesis parameters.

Key words: synthetic humates, iron, nanocomposites, pyrolysis, amorphous carbon.

Актуальність проблеми. Магнітні наноконізити, в яких наночастинки металу інкапсульовані в немагнітні матриці (наприклад, карбон), становлять значний науковий і практичний інтерес. Такі матеріали характеризуються унікальними властивостями, зокрема аномальним магнітопором, високою намагніченістю, змінною коерцитивною силою через її залежність від розміру наночастинок, нижчими температурами Кюрі, високою анізотропією тощо (Губин та ін., 2005). Оболонка з карбону часто використовується для покриття магнітних наночастинок, оскільки вона забезпечує біосумісність та хімічну інертність наноконізитів (Цурин та ін., 2014). Можливість регулювання розмірів та структури наночастинок дозволяє отримувати наноконізити із заданими магнітними властивостями. Матеріали з керованими магнітними характеристиками можуть бути використані в системах запису та зберігання інформації, при створенні нових постійних магнітів, в якості контрастних агентів в магнітно-резонансній томографії, в магнітному розділенні олігонуклеотидів, в якості агентів

при адресній доставці лікарів тощо (Herrmann, Grass, 2009). У зв'язку з цим синтез та дослідження властивостей залізо-карбонівих наноконізитів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Отримання наноструктурованих, чистих метал-карбонівих конізитів із заданими функціональними властивостями, морфологією, складом – складний багатоступінчастий процес. Найпоширенішими способами одержання наночастинок металу на поверхні карбонівой матриці є газофазне осадження (Shen, 2015), піроліз (Чесноков, Буянов, 2005; Salitha, Prasad, 2004), електронно-променева дія (Bruck et al., 2003), золь-гель метод (Defilippi et al., 2019) хімічне відновлення з ультразвуковою стабілізацією (Bagheri et al., 2021), карбонізація (Zaporotskova et al., 2015; Seung et al., 2012; Gu et al., 2020), відновлення в потоці водню (Shen, 2015), метод лазерної абляції (Al-Salih et al., 2021). Однак, як правило, наявні методи отримання або вимагають складного апаратного обладнання і, як наслідок, є дорогими, або кінцеві продукти не структуровані і містять велику кількість домішок.

Значний інтерес становлять процеси, у яких і карбонова основа, і металічні наночастинки формуються в одному процесі. З цією метою можуть бути використані синтетичні гумінові речовини. В науковій літературі є відносно невелика кількість публікацій, в яких використано гумінові речовини в якості джерела Карбону у синтезі металкарбонівих наноконкомпозитів (Litvin, Galagan, 2017; Litvin, Abi Njoh, 2021).

Оскільки синтетичні гумінові речовини характеризуються невпорядкованістю структури, що виражається у відсутності піків на дифрактограмах, можна припустити, що за певних умов проведення процесу карбонова матриця після піролізу зберігатиме аморфну структуру попередника. На нашу думку, дослідження процесів формування металкарбонівих наноконкомпозитів, матриця яких представлена карбоном з високим ступенем невпорядкованості, становить значний науковий інтерес. На противагу традиційним прекурсорам, синтетичні гумінові речовини карбонізуються при піролізі без плавлення зразка з утворенням аморфного карбону високого ступеня чистоти. Будучи типовими органічними кислотами, гумінові речовини (гумінові та фульвокислоти) утворюють нерозчинні солі з перехідними металами (Литвін, 2020), і ця особливість дозволяє приготувати металовмісний прекурсор сталого складу.

Мета дослідження полягає у синтезі залізо-карбонівих наноконкомпозитів з використанням синтетичних гумінових речовин в якості джерела карбону та дослідженні властивостей одержаного продукту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Синтез залізо-карбонівих наноконкомпозитів на основі синтетичних гумінових речовин здійснювали в три етапи. На першій стадії отримували синтетичні гумінові речовини за методикою, описаною в роботі (Litvin, Abi Njoh, 2021). На другій стадії одержували ферум(III) гумат. Для цього 2,0 г синтетичних гумінових речовин у 100 см³ води, нейтралізували лугом до значення рН = 11. До одержаного розчину додавали 20 см³ 1 М розчину ферум(III) нітрату. Осад, що випав, промивали декантацією, фільтрували вакуумним способом і висушували при 80 °С у сушильній шафі. На третій стадії проводили піроліз ферум(III)

гумату. При нагріванні порошку ферум(III) гумату на повітрі можна очікувати утворення оксидів металу. При цьому можливе також повне або часткове вигорання Карбону з утворенням CO₂. Завданням експерименту є максимальне збереження карбону при одночасному відновленні іонів металу до Me⁰. Тому піроліз проводили в атмосфері водню при температурі від 300 °С до 1000 °С. Нагрів печі до робочої температури і її охолодження до кімнатної, також здійснювали при пропусканні водню.

Розклад ферум(III) гумату при нагріванні у атмосфері водню починається при температурі близько 300 °С і супроводжується виділенням рідких та газоподібних продуктів. На рис. 1 наведена залежність зменшення маси зразку від температури при фіксованому часі його витримки (10 хв) при номінальній температурі. З наведеного графіку можна зробити висновок, що видалення летких продуктів розкладу практично завершується в інтервалі температур 900-1000 °С. Вміст феруму при цьому зростає від 18 % у вихідному ферум(III) гуматі до 41 % у кінцевому залізо-карбонівому наноконкомпозиті.

Рентгенодифрактометричний аналіз одержаного залізо-карбонівих наноконкомпозитів здійснювали методом порошку, використовуючи дифрактометр ДРОН-2 у Fe_{Kα}-випромінюванні ($\lambda = 1,93597 \text{ \AA}$) в інтервалі кутів 2θ від 45° до 145°. Зразок для дослідження готували шляхом змішування порошку наноконкомпозитів з водною емульсією полівінілацетату. Отриману суміш наносили на пластину з рентгено-аморфного матеріалу з рівною поверхнею та висушували при кімнатній температурі. Дифрактограми знімали з кроком $\Delta(2\theta) = 0,1^\circ$ і експозицією $0,10^\circ \text{ хв}^{-1}$.

Типова рентгеновська дифрактограма одержаного залізо-карбонівих наноконкомпозитів (рис. 2) характеризується наявністю системи рефлексів як ГЦК, так і ОЦК ґратки заліза. Розміри наночастинок заліза, розраховані за розширенням ліній на рентгеновських дифрактограмах, зростають зі збільшенням температури синтезу (табл. 1).

Спектри рентгенофлюоресцентного аналізу знімали на приладі виробництва НВО «Спектроскан» з енергодисперсійним детектором. Для візуалізації спектру використовувалось програмне забезпечення Elvax.

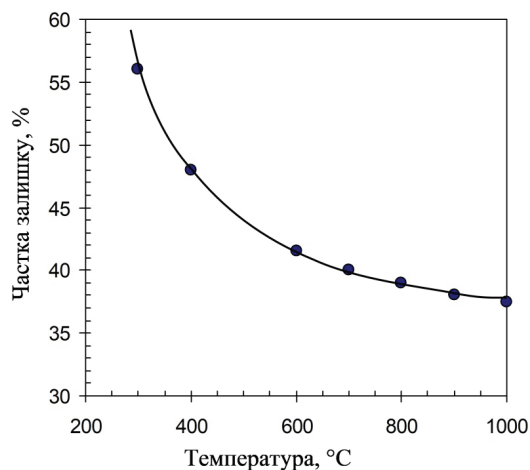


Рис. 1. Залежність втрати маси ферум(III) гумату від температури синтезу

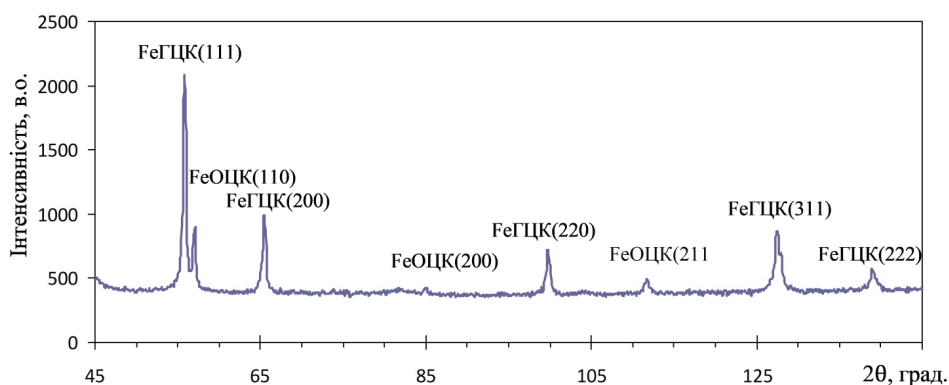


Рис. 2. Рентгенівська дифрактограма залізо-карбонowego нанокomпозиту

Таблиця 1

Розміри наночастинок заліза у нанокomпозитах, синтезованих при різних температурах

	Температура синтезу, t °C	w(Fe), %	w(C), %	Розмір, нм
Зразок 1	300	29,3	70,7	9,8
Зразок 2	400	32,1	67,9	10,4
Зразок 3	600	35,2	64,8	19,1
Зразок 4	700	37,6	62,4	24,5
Зразок 5	800	39,8	60,2	31,4
Зразок 6	900	40,5	59,5	38,3
Зразок 7	1000	41	59	52,5

Дані рентгено-флуоресцентної спектроскопії підтверджують наявність у складі нанокomпозиту атомів феруму (рис. 3, а).

Отримані залізо-карбоневі нанокomпозити також досліджували за допомогою скануючої електронної мікроскопії. Результати електронно-мікроскопічного дослідження представ-

лено на рис. 3, б. Можна побачити, що наночастинки заліза знаходяться в карбоневій матриці.

Вивчення магнітних властивостей залізо-карбоневих нанокomпозитів проводили на магнітометрі SQUID MPMS-XL-7 EC. Вимірювання проводили в температурному інтервалі 5-320 К та магнітних полях 1,5 Тл.

Дослідження характеристик намагніченості залізо-карбонівих наноконкомпозитів, одержаних з використанням синтетичних гумінових речовин як джерела карбону, показало залежність намагніченості від напруженості зовнішнього джерела поля (I) та температури (T). При температурі 5 К крива намагніченості (M) зразку 1 як функція напруженості магнітного поля виявила ефект гістерезису (рис. 4). Варто зазначити, що зі збільшенням напруженості магнітного поля в інтервалі від 0 до 10000 А/м питома намагніченість FeC наноконкомпозиту збільшувалась (рис. 4), досягаючи намагніченості насичення – $9,8 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$. Усунення зовнішнього джерела приводило до того, що досліджуваний наноконкомпозит зберігав залишкову намагніченість ($3,6 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$), для усунення якої необхідна напруженість поля для розмагнічення H_c (коерцитивна сила) 260 Е. Подібна залежність намагніченості характерна для феромагнітних матеріалів і обумовлена, як відомо (Губин, Кокшаров, Хомутов, Юрков, 2005), їх доменною структурою: зміщенням та збільшенням меж доменів з повним вибудовуванням магнітних моментів по полю в міру збільшення напруженості зовнішнього поля. Феромагнетизм досліджуваного наноконкомпозиту є результатом впорядкованого розміщення, і колективних взаємодій частинок в наноконкомпозиті.

Підвищення температури в інтервалі 5-320 К супроводжувалось зниженням питомої намагніченості від $9,8$ до $7,8 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ та коерцитивної сили від 260 до 0 Е. При $T > 320 \text{ K}$ петлі гістерезису практично відсутні

і залежність намагніченості зразків від напруженості зовнішнього магнітного поля має вигляд (рис. 5), характерний для суперпарамагнетика (Губин та ін., 2005). Така поведінка є загальною властивістю магнітних матеріалів, пов'язана з перебудовою магнітної фази та зміною порядку в розміщенні магнітних моментів при підвищенні температури (Мишин Д.Д., 1991). Особливістю магнетизму досліджуваних залізо-карбонівих наноконкомпозитів, порівняно з масивним та нанорозмірним залізом є температура переходу ($T = 320 \text{ K}$) із феромагнітного в суперпарамагнітний стан, так для заліза в цій області температур спостерігається гістерезис намагніченості та високе значення H_c (Носкова, Мулюков, 2003).

З ростом вмісту заліза від 29,3 до 41 % величина питомої намагніченості зменшується від $7,8$ до $3,7 \text{ A}\cdot\text{m}^2/\text{kg}$ (рис. 6).

Подібна зміна магнітних властивостей може бути пов'язана як зі зміною розміру частинок в наноконкомпозитах (від $9,8$ до $52,5 \text{ nm}$), так і з можливістю посилення міжчастинкових взаємодій зі збільшенням вмісту заліза (Суздаєв, 2005).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Розроблено методику синтезу залізо-карбонівих наноконкомпозитів з використанням синтетичних гумінових речовин як джерела карбону. В основі методики лежить піроліз ферум(III) гумату у відновлюючій водневій атмосфері. За цих умов формується карбонова матриця з дуже низьким ступенем впорядкованості, про що свідчать результати рентгено-

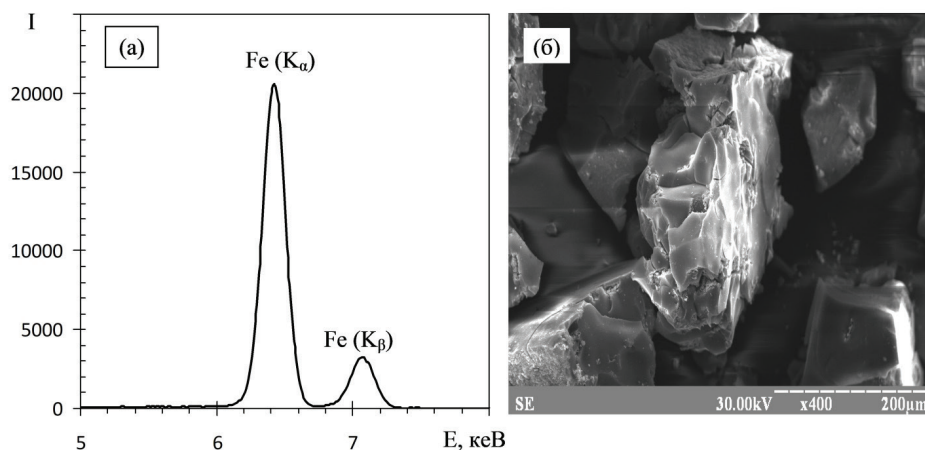


Рис. 3. Рентгенофлуоресцентний спектр (а) та СЕМ-зображення (б) залізо-карбонівих наноконкомпозитів

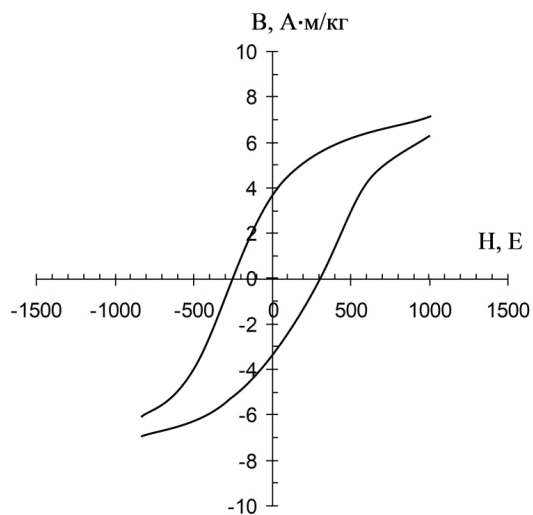


Рис. 4. Петля гістерезису FeC нанокompозиту при температурі 5К

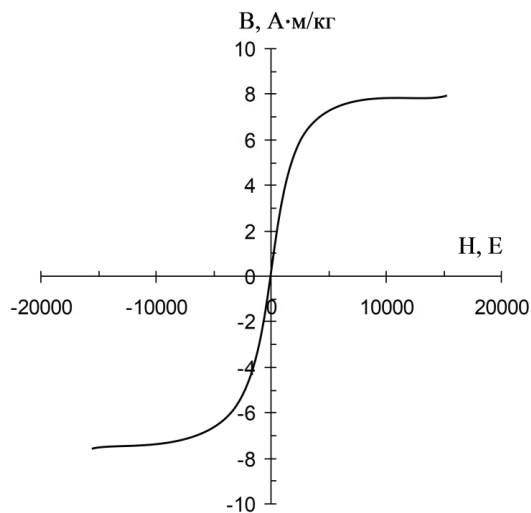


Рис. 5. Залежність намагніченості FeC нанокompозиту від зовнішнього поля ($T=320K$)

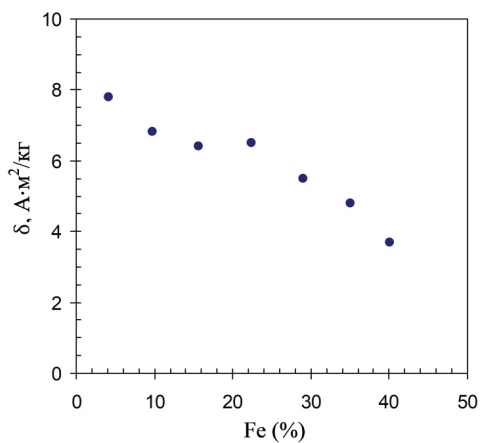


Рис. 6. Залежність намагніченості від вмісту заліза (320 K)

структурного аналізу. Розмір металічних частинок у композиті в інтервалі температур синтезу 300–1000 °C зростає від 9,8 до 52,5 нм.

Встановлено, що наноккомпозити заліза в області температур менше 320 К володіють ферромагнетизмом, а в області 320 К зазнають

переходу в суперпарамагнітний стан. Важливим результатом дослідження є залежність питомої намагніченості зразків від вмісту заліза та розмірів наночастинок, що забезпечує можливість направленою регулювання магнітних характеристик при зміні параметрів синтезу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Al-Salih M., Samsudin S., Arshad S.S. Synthesis and characterizations iron oxide carbon nanotubes nanocomposite by laser ablation for anti-microbial applications. *J Genet Eng Biotechnol*. 2021. 18;19(1). P. 76.
2. Bagheri M., Jafari S. M., Eikani M. H. Ultrasonic-assisted production of zero-valent iron-decorated graphene oxide/activated carbon nanocomposites: Chemical transformation and structural evolution. *Materials Science and Engineering: C*. 2021. 118. P. 111362.
3. Bruk M. A., Zhikharev E. N., Grigoriev E. I., Spirin A. V., Kalnov V. A., Kardash I. E. Electron-beam-induced deposition of iron carbon nanostructures from iron dodecacarbonyl vapor. *Micro- and Nanoelectronics*. 2003. 5401. pp. 1–6.
4. Defilippi C., Mukadam M. O. A., Nicolae S. A., Lees M. R., Giordano C. Iron Carbide@Carbon Nanocomposites: A Tool Box of Functional Materials. *Materials*. 2019. 12. 323 p.
5. Fleaca C., Morjan I., Alexandrescu M., Dumitrache F., Soare I., Gavrilă-Florescu L., Le Normand F., Faerber J. Carbon nanostructures from FeC nanocomposites by activated CVD methods. *Phys. Status Solidi C*. 2010. 7 (3–4). pp. 1269–1273.
6. Gu Z., Zhang B., Asakura Y., Tsukuda S., Kato H., Kakihana M., Yin S. Alkali-assisted hydro-thermal preparation of g-C₃N₄/rGO nanocomposites with highly enhanced photocatalytic NO_x removal activity. *Appl. Surf. Sci*. 2020. 521. P. 146213.
7. Herrmann I.K., Grass R.N., Stark W.J. High-strength metal nanomagnets for diagnostics and medicine: carbon shells allow long-term stability and reliable linker chemistry. *Nanomedicine*. 2009. 4(7). P. 787-98.
8. Litvin V.A., Abi Njoh R. Quercetin as a precursor in the synthesis of analogues of fulvicacids and their antibacterial properties. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2021. 2. pp. 56–64
9. Litvin V.A., Abi Njoh R. Copper-carbon nanocomposites based on synthetic humic substances. *J. Chem. Technol*. 2021. 29(1). pp. 19–30.
10. Litvin V.A., Galagan R.L. Synthesis and properties of Co-carbon nanocomposites using synthetic fulvic acids. *Mater. Chem. Phys*. 2017. 201. pp. 207–213.
11. Ruan Z., Ran J., Liu S., Chen Y., Wang X., Shi J., Zhu L., Zhao S., Lin J. Controllable preparation of magnetic carbon nanocomposites by pyrolysis of organometallic precursors, similar molecular structure but very different morphology, composition and properties. *New J. Chem*. 2021. 45. pp. 2044–2052.
12. Sajitha E. P., Prasad S. V. Subramanyam. Synthesis and characteristics of iron nanoparticles in a carbon matrix along with the catalytic graphitization of amorphous carbon. *Carbon*. 2004. 42. pp. 2815–2820.
13. Seung J. L., Jongjin J., Kim M. Synthesis of highly stable graphite-encapsulated metal (Fe, Co and Ni) nanoparticles. *J. Mater. Sci*. 2012. 47. pp. 8112–8117.
14. Shen Y. Carbothermal synthesis of metal-functionalized nanostructures for energy and environmental applications. *J. Mater. Chem. A*. 2015. 3. P. 13114.
15. Zaporotskova I.A., Kozhitov L.V., Anikeev N.A., Davletova O.A., Popkova A.V., Muratov D.G., Yakushko E.V. Metal-carbon nanocomposites based on pyrolysed polyacrylonitrile. *Modern Electronic Materials*. 2015.1(2). pp. 43–49.
16. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства. *Успехи химии*. 2005. 74. 539 с.
17. Литвин В.А. Синтетичні аналоги природних гумінових речовин : монографія. Черкаси: видавець Чабаненко Ю.А., 2020. 230 с.
18. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. Москва : Высшая школа. 1991. 383 с.
19. Носкова Н.И., Мулюков Р.Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 279 с.
20. Суздаев И.П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Москва : КомКнига. 2005. 589 с.
21. Цурин В.А., Ермаков А.Е., Уймин М.А., Мысик А.А., Щеголева Н.Н., Гавико В.С., Майков В.В. Синтез, структура и магнитные свойства наночастиц железа и никеля, капсулированных в углерод. *Физика твердого тела*. 2014. 56(2). С. 287–300.

22. Чесноков В. В., Буянов Р. А. Особенности механизма образования углеродных нанонитей с различной кристаллографической структурой из углеводородов на катализаторах содержащих металлы подгруппы железа. *Кристаллические технологии. Мембраны*. 2005. 4(28). С. 75–79.

REFERENCES:

1. Al-Salih, M., Samsudin, S., Arshad, S.S. (2021). Synthesis and characterizations iron oxide carbon nanotubes nanocomposite by laser ablation for anti-microbial applications. *J Genet Eng Biotechnol.*, 18;19(1), 76 [in English].
2. Bagheri, M., Jafari, S. M., Eikani, M. H. (2021) Ultrasonic-assisted production of zero-valent iron-decorated graphene oxide/activated carbon nanocomposites: Chemical transformation and structural evolution. *Materials Science and Engineering: C*, 118, 111362 [in English].
3. Bruk, M. A., Zhikharev, E. N., Grigoriev, E. I., Spirin, A. V., Kalnov, V. A., Kardash, I. E. (2003). Electron-beam-induced deposition of iron carbon nanostructures from iron dodecacarbonyl vapor. *Micro- and Nanoelectronics*, 5401, 1–6 [in English].
4. Defilippi, C., Mukadam, M. O. A., Nicolae, S. A., Lees, M. R., Giordano, C. (2019). Iron Carbide@Carbon Nanocomposites: A Tool Box of Functional Materials. *Materials*, 12, 323 [in English].
5. Fleaca, C., Morjan, I., Alexandrescu, M., Dumitrache, F., Soare, I., Gavrilă-Florescu, L., Le, Normand, F., Faerber, J. (2010). Carbon nanostructures from FeC nanocomposites by activated CVD methods. *Phys. Status Solidi C*, 7 (3–4), 1269–1273 [in English].
6. Gu, Z., Zhang, B., Asakura, Y., Tsukuda, S., Kato, H., Kakihana, M., Yin, S. (2020). Alkali-assisted hydro-thermal preparation of g-C₃N₄/rGO nanocomposites with highly enhanced photocatalytic NO_x removal activity. *Appl. Surf. Sci.*, 521, 146213 [in English].
7. Herrmann, I.K., Grass, R.N., Stark, W.J. (2009). High-strength metal nanomagnets for diagnostics and medicine: carbon shells allow long-term stability and reliable linker chemistry. *Nanomedicine*, 4(7), 787–98 [in English].
8. Litvin, V.A., Abi Njoh, R. (2021). Quercetin as a precursor in the synthesis of analogues of fulvic acids and their antibacterial properties. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2, 56–64 [in English].
9. Litvin, V.A., Abi Njoh, R. (2021). Copper-carbon nanocomposites based on synthetic humic substances. *J. Chem. Technol.*, 29(1), 19–30 [in English].
10. Litvin, V.A., Galagan, R.L. (2017). Synthesis and properties of Co-carbon nanocomposites using synthetic fulvic acids. *Mater. Chem. Phys.*, 201, 207–213 [in English].
11. Ruan, Z., Ran, J., Liu, S., Chen, Y., Wang, X., Shi, J., Zhu, L., Zhao, S., Lin, J. (2021). Controllable preparation of magnetic carbon nanocomposites by pyrolysis of organometallic precursors, similar molecular structure but very different morphology, composition and properties. *New J. Chem.*, 45, 2044–2052 [in English].
12. Sajitha, E. P., Prasad, S. V. (2004). Subramanyam. Synthesis and characteristics of iron nanoparticles in a carbon matrix along with the catalytic graphitization of amorphous carbon. *Carbon*, 42, 2815–2820 [in English].
13. Seung, J. L., Jongjin, J., Kim, M. (2012). Synthesis of highly stable graphite-encapsulated metal (Fe, Co and Ni) nanoparticles. *J. Mater. Sci.*, 47, 8112–8117 [in English].
14. Shen Y. (2015). Carbothermal synthesis of metal-functionalized nanostructures for energy and environmental applications. *J. Mater. Chem. A*, 3, 13114 [in English].
15. Zaporotskova, I.A., Kozhitov, L.V., Anikeev, N.A., Davletova, O.A., Popkova, A.V., Muratov, D.G., Yakushko, E.V. (2015). Metal-carbon nanocomposites based on pyrolysed polyacrylonitrile. *Modern Electronic Materials*, 1(2), 43–49 [in English].
16. Gubin, S.P., Koksharov, Yu.A., Khomutov, G.B., Yurkov, G.Yu. (2005). Magnitnye nanochastitsy: metody polucheniya, stroeniye i svoystva [Magnetic nanoparticles: production methods, structure and properties]. *Uspekhi khimii*, 74, 539 [in Russian].
17. Litvin, V.A. (2020). *Syntetychni analohy pryrodnykh huminovykh rehovyn [Synthetic analogues of natural humic rehovins]*. Cherkasy [in Ukrainian].
18. Mishin, D.D. (1991). *Magnitnye materialy [Magnetic materials]*. Moscow [in Russian].
19. Noskova, N.I., Mulyukov, R.R. (2003) *Submikrokristallicheskiye i nanokristallicheskiye metally i splavy [Submicrocrystalline and nanocrystalline metals and alloys]*. Ekaterinburg [in Russian].
20. Suzdalev, I.P. (2005). *Fiziko-khimiya nanoklasterov, nanostruktur i naiomaterialov [Physical chemistry of nanoclusters, nanostructures and nanomaterials]*. Moscow [in Russian].
21. Tsurin, V.A., Ermakov, A.E., Uimin, M.A., Mysik, A.A., Shchegoleva, N.N., Gaviko, V.S., Maikov, V.V. (2014). Sintez, struktura i magnitnye svoystva nanochastits zheleza i nikelya, kapsulirovannykh v uglevod [Synthesis, structure and magnetic properties of iron and nickel nanoparticles encapsulated in carbon]. *Fizika tverdogo tela*, 56(2), 287–300 [in Russian].

22. Chesnokov, V.V., Buyanov, R.A. (2005). Osobennosti mekhanizma obrazovaniya uglerodnykh nanonitey s razlichnoy kristallograficheskoy strukturoy iz uglevodorodov na katalizatorakh sodержashchikh metally podgruppy zheleza [Features of the mechanism of formation of carbon nanowires with different crystallographic structure from hydrocarbons on catalysts containing metals of the iron subgroup]. *Kriticheskiye tekhnologii. Membrany*, 4(28), 75–79 [in Russian].

УДК 541.64

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-6>

Галина МАРТИНЮК

кандидат хімічних наук, доцент, професор кафедри екології, географії та туризму, Рівненський державний гуманітарний університет, вул. Пластова, 31в, Україна, Рівне, 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

Бібліографічний опис статті: Мартинюк, Г., Аксіментьєва, О. (2022). Дослідження мікротвердості гібридних органо-неорганічних полімерних композитів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 40–45, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-6>

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ ГІБРИДНИХ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Проаналізовано результати визначення мікротвердості гнучких плівкових гібридних органо-неорганічних полімерних матеріалів на основі епоксидного олігомеру ЕД-20, амінного отверджувача ПЕПА (поліетиленполіаміну), мінеральних (неорганічних) та органічних (полімерних) наповнювачів, а також їх суміші: електропровідного – поліаніліну (ПАН), легованого толуолсульфокислотою (ТСК) з додатковою магнетною домішкою – високодисперсним магнетитом (Fe_3O_4), які вирізняються будовою і властивостями.

Механічні властивості композитів та термореактивної полімерної суміші вивчали методом вимірювання мікротвердості та граничної мікротвердості на консистометрі Хепплера.

З'ясовано, що введення наповнювачів різної природи, а також їх суміші суттєво впливає на мікротвердість утворених полімер-полімерних композитів, причому характер цього впливу значною мірою залежить як від типу полімеру, так і від його вмісту.

Введення в склад реакційної суміші наповнювачів в кількості по 5 % мас. кожного призводить до утворення гібридної структури, доказом якої є виникнення синергетичного ефекту, який полягає в тому, що дія одного компонента підсилюється іншим.

Ключові слова: гібридні композити полімер-магнетит, органо-неорганічні полімерні матеріали, епоксидний композит, термореактивна суміш, мікротвердість.

Galyna MARTYNIUK

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor at Department of Ecology, Geography and Tourism, Rivne State Humanities University, 31 Plastova str., Rivne, Ukraine, 33000

ORCID: 0000-0001-6842-5601

Olena AKSIMENTYIEVA

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

To cite this article: Martyniuk, G., Aksimentyeva, O. (2022). Doslidzhennya mikrotverdosti gibrydnykh organo-neorganichnykh polimernykh kompozytiv [Investigation of microhardness of hybrid organic-inorganic polymeric composites]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 40–45, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-6>

INVESTIGATION OF CONDITIONS OF FORMATION AND MICROHARDNESS OF HYBRID ORGANIC-INORGANIC COMPOSITES

In this paper presents the results of studying the regularities of formation of flexible film hybrid organo-inorganic polymeric materials based on epoxy oligomer ED-20, amine hardener PEPA (polyethylene polyamine) and a mixture of fillers: conductive - polyaniline (PANI), doped with toluenesulfonic acid (TSA) with an additional magnetic impurity - highly dispersed magnetite (Fe_3O_4), which differ in structure and properties.

The mechanical properties of composites and thermosetting polymer blends were studied by measuring the microhardness and ultimate microhardness on a Hepler consistometer.

It was found that the introduction of fillers of different nature, as well as their mixtures significantly affects the microhardness of the formed polymer-polymer composites, and the nature of this effect depends largely on both the type of polymer and its content.

Introduction to the reaction mixture of fillers in an amount of 5% of the mass, each leads to the formation of a hybrid structure, as evidenced by the emergence of a synergistic effect, which is that the action of one component is enhanced by another.

Key words: polymer-magnetite hybrid composites, organo-inorganic polymeric materials, epoxy composite, thermosetting mixture, microhardness.

Сучасні тенденції розвитку науки і техніки в галузі фізико-хімії наповнених полімерних компаундів зумовлюють пошук і створення нових матеріалів, які б поєднували високу технологічність (process ability) та широкий набір унікальних функціональних властивостей (Rincón, 2016), (Cheng 2014). Одним із шляхів розв'язання даної проблеми є широке використання гібридних матеріалів на основі створення композитів синтетичних полімерів з іншими добавками, як органічної, так і та мінеральної природи.

Серед полімер-гібридних матеріалів особливо виділяються гібридні полімер-магнетні системи (Sawada 2005), завдяки комплексу корисних і цікавих властивостей, що і зумовлює їх важливе значення у розвитку сучасної науки та промисловості (Aksimentyeva 2020). Особливого важливого значення сьогодні, в умовах бойових дій, набувають поверхневі покриття щодо захисту військового обладнання, екологічного захисту, в стелс-технологіях, а також в сонячній енергетиці (Dhawan 2005), (Aksimentyeva 2020).

Встановлено (Aksimentyeva 2020), (Ye 2010), що для розробки таких технологічних покриттів, зазвичай, використовують термореактивні полімерні компанди на основі епоксидної смоли, отвердника і гібридних органо-неорганічних наповнювачів, які являють собою різноманітні форми магнетного наповнювача (нанорозмірний магнетит, карбонільне залізо), а також електропровідної карбонової складової (карбонні нанотрубки та вуглецеві волокна, та ін.).

Проте поєднання таких складових не повністю забезпечує необхідні властивості

утворених композитів. Альтернативою таким гібридним наповнювачам в полімерних композиціях є використання електропровідного спряженого полімеру, а саме: поліаніліну та його похідних, який здатний зменшувати інтенсивність ІЧ- випромінювання, а також поліпшувати основні фізико-хімічні властивості (Aksimentyeva 2020), (Aksimentyeva 2020), (Аксиментьева 1992).

Одне з нерозв'язаних до кінця питань у розробці гібридних магнетовмісних полімерних композитів, є питання впливу хімічної структури і вмісту електропровідного наповнювача та магнетної складової на фізико-хімічні властивості композитів, зокрема їхня міцність та мікротвердість.

В даній роботі вивчались полімерні композити, отримані на основі епоксидної смоли ЕД-20, як високополімерної матриці, амінового отверджувача – поліетиленполіаміну (ПЕПА) (Мартинюк 2016), (та наповнювачів як мінеральних: магнетит (Fe_3O_4) з розмірами частинок $1,2-1,6 \pm 0,5$ нм (Опайнич, 2003), так і органічних (полімерних): поліаніліну (ПАН)] (Закордонський 2014), легованого толуолсульфо кислотою (ТСК), які вирізнялися різною будовою і властивостями. В якості електропровідних полімерного наповнювача використовували органічні напівпровідники на основі спряжених поліаміноаренів: поліаніліну, легованого толуенсульфо кислотою (ТСК). Об'єкти дослідження одержували за відомими методиками (Аксиментьева 1992), (Мартинюк 2016), (Опайнич, 2003), (Закордонський 2014). Очистка вихідних та допоміжних речовин проводилась за стандартними методиками, фізико-хімічні

їх характеристики відповідали літературним даним (Гороновський, 1997).

Були синтезовані термореактивні полімер-полімерні композити на основі епоксидної смоли ЕД-20, полімерного отвердника ПЕПА (вміст 12% по відношенню до епоксидної смоли) та наповнювачів різної природи, мінеральних, полімерних, а також гібридних органо-неорганічних (ПАН+ Fe_3O_4). Вміст наповнювачів був обраний за теоретичними обрахунками і становив 5% 10% та 15% (Aksimentyeva 2020), (Ye 2010), (Filipsonov 2019), (Orainych 2008). Типові світлини представлені на рис. 1, 2.

Слід зазначити, що фізико-хімічні властивості гібридних нанокompозитних матеріалів суттєво залежать від природи і кількості, як неорганічного (магнетного), так органічного

(електропровідного) наповнювачів, методу їх приготування, ступеня легування поліаніліну.

Суттєвим питанням щодо застосування полімерних композитів є вплив наповнювачів на механічні властивості гібридних органо-неограничних покриттів, зокрема їх мікротвердості, яка є однією з основних експлуатаційних характеристик, які визначають області їх застосування (Aksimentyeva 2020), (Ye 2010).

Механічні властивості композитів та термореактивної полімерної суміші вивчали методом вимірювання мікротвердості та граничної мікротвердості на консистометрі Хепплера (рис. 2) (Aksimentyeva 2020), (Мартинюк 2016). Мікротвердість визначали, враховуючи проникнення (S) конусоподібного стержня в зразок під певним навантаженням і обчислювали за рівнянням

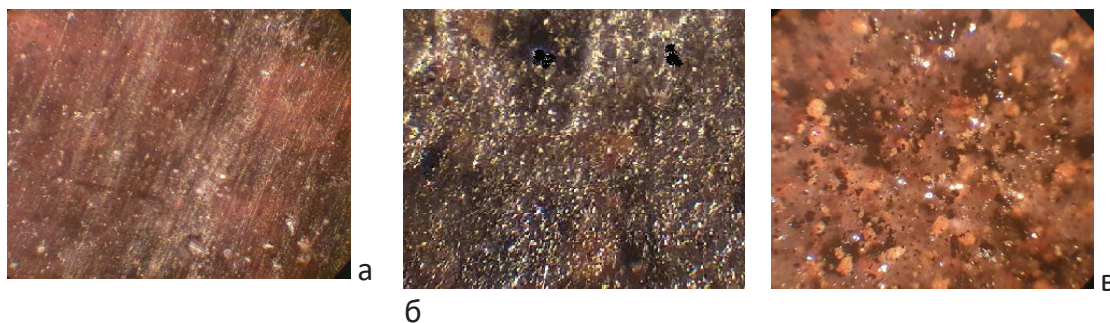


Рис. 1. Світлини полімерних композиційних плівок на основі епоксидного олігомеру ЕД-20 та а) 5% (мас.) магнетної складової (Fe_3O_4); б) 5% електропровідної складової ПАН/ТСК (% мас.); в) термореактивна полімерна суміш (2,5% ПАН+2,5% Fe_3O_4)

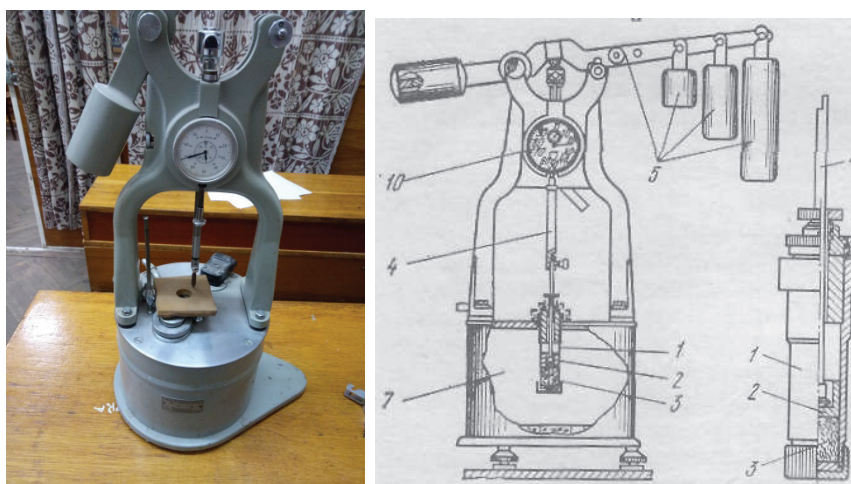


Рис. 2. Зовнішній вигляд та схематична будова консистометра Хепплера (Мартинюк 2016), (Закордонський 2014)

$$F_p = -\frac{G}{S} = \frac{4G \cdot 10^4}{\pi \cdot h^2}$$

де F_p – мікротвердість, H/m^2 , у цьому навантаженні G , H ; S – площа опорної поверхні зануреного у зразок конуса, m^2 ; h – глибина проникнення, m .

Зразки для досліджень готували методом заливки рідкого композиту в циліндричну тефлонову форму розмірами $0,5 \times 0,8 \text{ см}$ і отверджували протягом 1 години за температурами 50°C . згідно з (Закордонський 2014).

Досліджуючи мікротвердість, як було встановлено (Мартинюк 2020) ненаповнена композиція, на основі епоксидної смоли ЕД-20 і отверджника ПЕПА за невеликого навантаження (до $G > 5 \text{ Н}$) характеризується невисокими показниками мікротвердості (F_∞), на рівні $7,8 \cdot 10^8 \text{ H}/\text{m}^2$. Додавання до реакційної неорганічних та органічних наповнювачів, а також їх суміші призводить до різкої зміни граничного значення кінчної точки текучості (F_∞) або мікротвердості (Aksimentyeva 2020), (Закордонський 2016), (Мартинюк 2020).

На рис. 3 зображено типові залежності мікротвердості зразків (F_p) від навантаження (G) для композитів різного складу на основі епоксидної матриці ЕД-20 зі збільшенням вмісту полімерних наповнювачів. Як можна бачити, що за малого вмісту наповнювача (до 5 % мас.), мікротвердість зростає до певного граничного значення, а залежність $F_p=f(G)$ виходить на

ділянку “плато”, де спостерігається гранична мікротвердість F_∞ за певного навантаження. (Aksimentyeva 2020),

Аналізуючи одержані результати, можна побачити, що значення мікротвердості залежить від природи та вмісту полімерного наповнювача. Для композитів, наповнених ПАН/ТСК, залежність мікротвердості від вмісту наповнювача більш складна порівняно з ненаповненою композицією. Так, за малого вмісту наповнювача (рис. 3.а, крива 1) кінчна точка текучості (мікротвердість) зростає, досягаючи максимального значення $6,63 \cdot 10^9 \text{ H}/\text{m}^2$ за 5 % наповнення ПАН/ТСК. Проте це значення є меншим порівняно з мікротвердістю ненаповненої композиції (Aksimentyeva 2020), (Ye 2010).

Тобто за такого вмісту електропровідний полімер (кислотно-легований ПАН) діє як активний наповнювач, а саме – ущільнює структуру композитів і підвищує їхню міцність. За зростання кількості наповнювача мікротвердість навіть зменшується (рис. 3.а, крива 2,3). Цей факт можна пояснити тим, що в сформованому композиті утворюється власна полімерна сітка, утворена молекулами полімерної матриці.

Введення в реагуючу суміш неорганічного наповнювача Fe_3O_4 призводить до зростання мікротвердості майже вдвічі порівняно з ПАН/ТСК, досягаючи значення $16,1 \cdot 10^9 \text{ H}/\text{m}^2$ за 5 % наповнення (рис. 3.б, крива 1.).

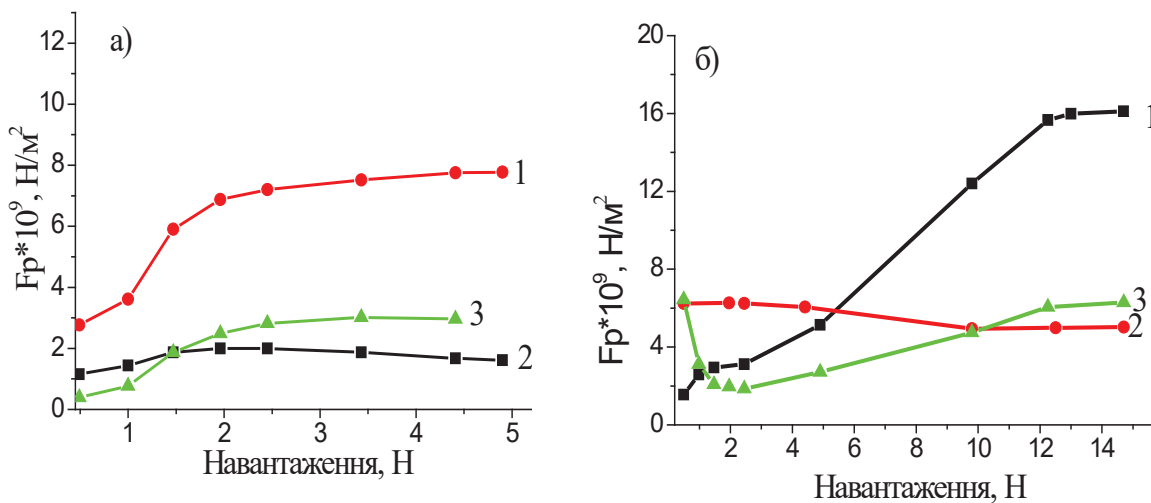


Рис. 3. а) Залежність мікротвердості композитів від навантаження для композитів ЕД-20/ ПЕПА за різного вмісту ПАН/ТСК (% мас.) 1–5; 2– 10; 3–18; б) за різного вмісту Fe_3O_4 (% мас.): 1–5; 2– 10; в–15 відповідно.

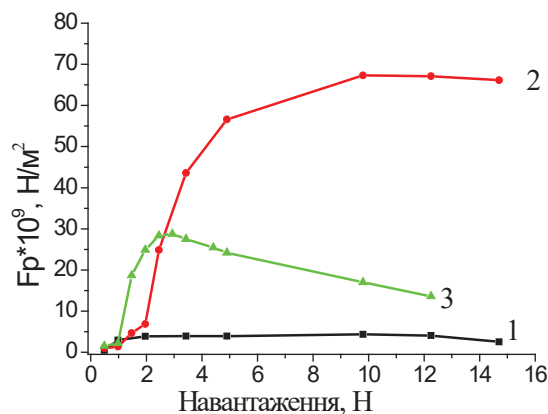


Рис. 4. Залежність мікротвердості від навантаження для композитів складу ЕД-20– ПЕПА– Fe_3O_4 – ПАН/ТСК за різного вмісту наповнювачів. Сумарний вміст наповнювачів (% мас.): 1–5; 2–10; в–15 відповідно

Дещо інша картина спостерігається за сумісного використання обох наповнювачів (ПАН/ТСК + Fe_3O_4). Як можна бачити (рис. 4), найбільше зростання мікротвердості (F_p) до $67,2 \cdot 10^9$ Н/мм² спостерігається за наявності суміші неорганічного та органічного наповнювачів в кількості по 5 % (мас.) кожного. Ймовірно в цьому випадку проявляється синергетичний ефект, суть якого полягає в тому, що за таких умов дія одного компоненту підсилюється іншим, що є доказом утворення гібридної структури. За зростання вмісту наповнювачів мікротвердість зменшується (рис 4. крива 3). Можна припус-

тити, що за концентрацій магнетиту, вищих за 10 %, частина неінкапсульованого Fe_3O_4 адсорбується на поверхні гранул полімерних оболонок, що призводить до їх відштовхування і утворення неоднорідного композиту. Це і зумовить зменшення мікротвердості утворених зразків. Експериментально встановлено, що найвища мікротвердість спостерігається за сумарного наповнення в кількості 5 % кожного компоненту, що є оптимальним вмістом для створення композиційних покриттів із захисними та міцнісними характеристиками запропонованих полімерних покриттів (Ye 2010), (Filipsonov, 2019)

ЛІТЕРАТУРА:

1. Rincón P. O. Palacios. Plasticizers. *Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series*. 2016. pp. 1–13.
2. Cheng S. Y., Liu Z. H., Deng Z. P., Ye S. T.. *Infrared Technology*. 2014. 36(7), 577 p.
3. Sawada H., Yoshioka H., Kawase T. et al. Preparation of magnetic nanoparticles by the use of self-assembled fluorinated oligomeric aggregates. A new approach to the dispersion of magnetic particles on poly(methyl methacrylate) film surface. *J. Fluorine Chem.* 2005. 345 p.
4. Aksimentyeva O.I., Chepkov I.B., Filipsonov R.V., Malynych S.Z., Gamernyk R.V., Martyniuk G.V. Hybrid Composites with Low Reflection of IR Radiation *Physics and chemistry of solid state*. 2020. Vol. 21, No. 4. pp. 764–770. DOI: 10.15330/pcss.21.4.764-770.
5. Dhawan S. K., Singh N., Rodrigues D., J. *Science and Technology of Advanced Materials*. 2003. 4(2), 105. [https://doi.org/10.1016/S1468-6996\(02\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S1468-6996(02)00053-0).
6. Aksimentyeva O., Martyniuk G., Horbenko Yu., Malynych S., Filipsonov R. Polymer-magnetite thermosetting composites with protective and antiradar functions. *Special issue of the journal «Physical and chemical mechanics of materials»*, Lviv. 2020. pp. 137–140.
7. Z. Ye, Z. Li, J. A. Roberts, P. Zhang, J. T. Wang, and G. L. Zhao, *J. Appl. Phys.* 2010. 108 (5), 054315-1-7. (<https://doi.org/10.1063/1.3477195>).
8. Спосіб получения полианилина А.С.1772110. СССР, МПК C08G73/00 / Аксиментьева Е.И., Закордонский В.П., Ковальчук Е.П. и др. Заяв. 0.1.07.90. Опубл.30.10.92. Б.И.№40. 3 с.
9. Мартинюк Г.В. Наповнені епоксидні компаунди: фізико-хімічні властивості : монографія. Рівне: О. Зень, 2016. 132 с.
10. Опайнич І. Є., Малєєв І. Й. Спосіб синтезу високодисперсного магнетиту. Патент України № 62416А . Опубл. 15.12.03. Бюл. № 12. 6 с.

11. Загордонський В. П., Аксіментьєва О. І., Крупак А. І. Синтез і властивості епоксидно-поліанілінових композитів. *Праці НТШ. Хім. науки*. 2014. Т XL. С. 9–32.
12. Гороновський І.Т., Назаренко Ю.П., Непряч Е.Ф. Краткий справочник по химии. Киев : Наукова думка. 1997. 473 с.
13. Filipsonov R., Malynych S., Aksimentyeva O., Martynyuk G. Composite polymer coatings for special purpose. Book of abstracts: VII International scientific-technical conference «The modern technologies of polymer materials obtaining and processing». Lviv, November 06–08, 2019. 42 p.
14. Opainych I. Ye., Aksimentyeva O. I., Szymczak H. et al. Polymer Assisted Fabrication and Properties of Nanocomposites with Non-Aggregated Magnetic Particles. 5th Int. Workshop on Functional and Nanostructured Materials. 31 August – 6 Sept. 2008, Lviv, Ukraine. Abstract Book. 2008. pp. 122–124.
15. Мартинюк Г., Аксіментьєва О. Вплив електропровідного полімерного наповнювача на мікротвердість композитів з діелектричними полімерними матрицями. *Праці НТШ. Хім. науки*. 2020. Т. LX. С. 14–21.

REFERENCES:

1. Rincón P.O. (2016). Palacios. Plasticizers. Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series [in English].
2. Cheng S. Y., Liu Z. H., Deng Z. P., Ye S. T. (2014). Infrared Technology. 36(7), 577 p. [in English].
3. Sawada H., Yoshioka H., Kawase T. et al. (2005). Preparation of magnetic nanoparticles by the use of self-assembled fluorinated oligomeric aggregates. A new approach to the dispersion of magnetic particles on poly(methyl methacrylate) film surface. *J. Fluorine Chem.* 345 p. [in English].
4. Aksimentyeva O.I., Chepkov I.B., Filipsonov R.V., Malynych S.Z., Gamernyk R.V., Martyniuk G.V. (2020). Hybrid Composites with Low Reflection of IR Radiation Physics and chemistry of solid state. Vol. 21, No. 4. P. 764-770. DOI: 10.15330/pess.21.4.764-770. [in English].
5. Dhawan S.K., Singh N., Rodrigues D., J. Science and Technology of Advanced Materials. 2003. 4(2), 105 p. ([https://doi.org/10.1016/S1468-6996\(02\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S1468-6996(02)00053-0)) [in English].
6. Aksimentyeva O., Martyniuk G., Horbenko Yu., Malynych S., Filipsonov R. (2020). Polymer-magnetite thermosetting composites with protective and antiradar functions. Special issue of the journal «Physical and chemical mechanics of materials», Lviv. P. 137–140. [in English].
7. Z. Ye, Z. Li, J. A. Roberts, P. Zhang, J. T. Wang, and G. L. Zhao, J. Appl. Phys. 2010. 108 (5), 054315-1-7. (<https://doi.org/10.1063/1.3477195>) [in English].
8. Aksimentyeva E.Г., Zakordonskyj V.P., Kovalchuk E.P. y dr. Sposob poluchenyya polyanylyna [The method of obtaining polyaniline] A.S.1772110. SSSR, MPK S08G73/00. Zayav. 0.1.07.90.–Opubl.30.10.92. B.Y'.N40.–3 s. [in Russian].
9. G.V. Martynyuk (2016). Napovneni epoksydni kompaundy: Fyzyko-ximichni vlastyvoli. [Filled epoxy compounds: Physico-chemical properties]. Rivne: O. Zen, 132 [in Ukrainian].
10. Opajnych I., Malyeyev I. (2003). Sposib syntezy vysokodispersnogo magnetytu. [Method for synthesis of highly dispersed magnetite]. Patent Ukrainy № 62416A. Opubl. 15.12.03. Byul. № 12. 6 p. [in Ukrainian].
11. Zakordonskyj V.P., Aksimentyeva O.I., Krupak A.I. (2014). Syntez i vlastyvoli epoksydno-polianilinovykh kompozytiv [Synthesis and properties of epoxy-polyaniline composites]. Praci NTSh. Xim.. nauky.T XL. 9–32. [in Ukrainian].
12. Goronovskyj Y.T., Nazarenko Yu.P., Nepryach E.F. (1997) [A brief guide to chemistry] .Kyiv: Naukova dumka, 473. [in Ukrainian].
13. R. Filipsonov, S. Malynych, O. Aksimentyeva, G. Martynyuk (2019). Composite polymer coatings for special purpose. Book of abstracts: VII International scientific-technical conference «The modern technologies of polymer materials obtaining and processing». Lviv, November 06–08, P42. [in English].
14. I. Ye. Opainych, O. I. Aksimentyeva, H. Szymczak et al. (2008). Polymer Assisted Fabrication and Properties of Nanocomposites with Non-Aggregated Magnetic Particles. 5th Int. Workshop on Functional and Nanostructured Materials. 31 August – 6 Sept. 2008, Lviv, Ukraine. Abstract Book. P. 122–124. [in English].
15. Martyniuk G., Aksimentyeva O. (2020). Vplyv elektroprovodnogo polimernogo napovnyuvacha na mikrotverdist kompozytiv z dielektrychnymy polimernymy matrycyamy. [Influence of the conductive polymer filler on thermomechanical properties of the polymer-polymer composites]. *Praci NTSh. Xim. nauky*. T. LX, 14–21 [in Ukrainian].

УДК 504.06(477.81)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-7>

Алла ПРИЩЕПА

доктор сільськогосподарських наук, професор, директорка, Навчально-науковий інститут агроєкології та землеустрою Національного університету водного господарства та природокористування, вул. М. Карнаухова, 53а, м. Рівне, Україна, 33000

ORCID: 0000-0001-5096-9088

Ольга ВАРЖЕЛЬ

здобувач третього рівня вищої освіти, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. М. Карнаухова, 53а, м. Рівне, Україна, 33000

Бібліографічний опис статті: Прищеп, А., Варжель, О. (2022). Діагностика екологічної безпеки Рівненської області за показниками ресурсної складової. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 46–53, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-7>

ДІАГНОСТИКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ РЕСУРСНОЇ СКЛАДОВОЇ

У статті наведена методологія розрахунку показників рівня екологічної безпеки ресурсної складової, яка передбачає: відбір сукупності показників, які її відображають; стандартизацію їх шляхом переведення в шкалу від 0 до 1 з використанням експериментально встановлених залежностей; групування територій районів за величинами середньоарифметичного з окремих показників ресурсної складової; визначення станів їх екологічної безпеки за шкалою 1,0-0,6835 – безпека, 0,6835-0,4851 – ризик, 0,4851-0,1902 – загроза, 0,1902-0 – небезпека.

За індикаторами стимуляторів стан екологічної безпеки території області за показником ресурсної складової оцінюється категоріями: лісистістю у зоні Полісся 7 районів – безпека, у зоні Лісостепу 5 – безпека, 3 – ризику, 1 – загроза; наявністю лук і пасовищ у зоні Полісся 6 районів – ризик, 1 – загроза, у зоні Лісостепу 4 райони – ризик, 5 – загроза.

За індикаторами дестимуляторів стан екологічної безпеки території області оцінюється за такими категоріями: викидів забруднюючих речовин у зоні Полісся 7 районів – безпека, у Лісостеповій зоні 5 районів – безпека, 2 – ризику, 1 – загроза, 1 – небезпека; балансу гумусу у зоні Полісся 2 райони – безпека, 2 – ризику, 2 – загрози, 1 – небезпека, у Лісостеповій зоні 6 районів – безпека, 3 – ризику; розораності у зоні Полісся 1 район – безпека, 1 – ризику, 5 – загроза, у Лісостеповій зоні 4 райони становлять загрозу, 5 – небезпека; що стосується невідповідності питної води санітарно-хімічним показникам, то в зоні Полісся 2 райони – ризику, 2 – загрози, 3 – небезпека, у Лісостеповій зоні 3 райони є ризиковими, 4 – загрози, 1 – небезпека; щодо невідповідності мікробіологічних показників нормам, то в Поліській зоні 1 район – безпека, 3 – загрози, 3 – небезпека, у Лісостеповій зоні 2 райони – ризику, 6 – загрози, 1 – небезпека.

За інтегрованим показником екологічної безпеки ресурсної складової встановлено, що переважна кількість територій районів оцінюється категоріями: у зоні Полісся 5 районів – ризику, 2 – загрози, у Лісостеповій зоні – 5 районів – ризику, 4 – загрози.

Ключові слова: методологія, показники, індикатори, ресурсна складова, шкала, екологічна безпека, загроза, небезпека, ризик.

Alla PRYSHCHENKA

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director, Educational and Scientific Institute of Agroecology and Land Management of National University of Water Management and Environmental Sciences, 53a M. Karnaukhova str., Rivne, Ukraine, 33000

ORCID: 0000-0001-5096-9088

Olga VARZHEL

Applicant for the third level of higher education, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna str., Rivne, Ukraine, 33000

To cite this article: Pryshchepa, A., Varzhel, O. (2022). Diahnostyka ekolohichnoi bezpeky Rivnenskoï oblasti za pokaznykamy resursnoi skladovoi [Diagnostics of ecological safety of Rivne region according to the indices of resource component]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 46–53, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-7>

DIAGNOSTICS OF ECOLOGICAL SAFETY OF RIVNE REGION ACCORDING TO THE INDICES OF RESOURCE COMPONENT

The article presents methodology of calculating the level of ecological safety of resource component that envisages the selection of the whole complex of indices representing it, their standardization by means of conversion into the scale from 0 to 1 using experimentally established dependency, classification of the region territories according to average arithmetical value out of some indices of resource components, definition of their ecological safety state according to the scale 1,0-0,6835 as safety, 0,6835-0,4851 as risk, 0,4851-0,1902 as threat, 0,1902-0 as danger.

As for indicators, the state of ecological safety of the region territory is estimated according to the indices of resource component by the following categories: forest lands in Polissia zone 7 districts as safety; in Forest and Steppe zone 5 districts as safety, 3 as risk, 1 as threat; in the areas of pastures and meadows in Polissia zone 6 districts as risk, 1 district as threat; in Forest and Steppe zone 4 districts as risk, 5 districts as threat.

As for indicators destimulators, the state of ecological safety of the region is estimated by the following categories: emission of pollutants in Polissia zone 7 districts are as safety; in Forest and Steppe zone 5 districts are as safety, 2 as risk, 1 as threat, 1 as danger; the balance of humus in Polissia zone 2 districts are as safety, 2 as risk, 2 as threat, 1 as danger; in Forest and Steppe zone 6 districts are as safety, 3 as risk; ploughing up in Polissia zone 1 district is as safety, 1 as risk, 5 as threat; in Forest and Steppe zone 4 districts are as threat, 5 as danger; as for discrepancy of drinking water to sanitary chemical indices, in Polissia zone 2 districts are as risk, 2 as threat, 3 as danger; in Forest and Steppe zone 3 districts are as risk, 4 as threat, 1 as danger; as for discrepancy of microbiological indices standards, in Polissia zone 1 district is as safety, 3 as threat, 3 as danger; in Forest and Steppe zone 2 districts are as risk, 6 as threat, 1 as danger.

As for integrated indices of ecological safety of resource component, it is ascertained that a predominant number of region territories are estimated according to the following categories: in Polissia zone 5 districts are as risk, 2 as threat, in Forest and Steppe zone 5 districts are as risk, 4 as threat.

Key words: methodology, indicators, indices, resource component, scale, ecological safety, threat, danger, risk.

Актуальність проблеми Виникнення екологічних загроз в агросфері України в основному обумовлюється факторами техногенного та природного характеру. Внаслідок цього в агросфері набули поширення процеси погіршення стану ґрунтового покриву, а саме: дегуміфікації; агрофізичної, фізико-хімічної, ерозійної, біологічної деградації (Гнатів, Хірівський, Зинюк, 2012; Сонько, Максименко, 2015; Клименко, Борисюк, Колесник, 2014).

Одночасно під впливом деградаційних процесів знижується рівень родючості ґрунтів, що негативно впливає на величину врожаїв сільськогосподарських культур, якість сільськогосподарської продукції і стан здоров'я населення.

Виникає потреба в кількісному і якісному оцінюванні небезпечної діяльності агроформувань і власників паїв, яка за високої розорюваності земель, недотримання примінення науково-обґрунтованих сівозмін, органо-мінеральних систем удобрення сільськогосподарських культур спричинила появу проявів екологічної небезпеки. Ця загрожуюча діяльність агроформувань і власників паїв, на нашу думку, може бути оцінена в таких поняттях,

як «екологічна безпека» та «екологічна небезпека».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Природні ресурси людина використовує для матеріального виробництва (продуктів харчування, засобів виробництва, предметів ужитку) та у нематеріальній діяльності (праці, навчанні, відпочинку, лікуванні тощо), (Гнатів, Хірівський, Зинюк, 2012; Сонько, Максименко, 2015; Клименко, Борисюк, Колесник, 2014). Важливе значення для розвитку людства та безпосереднього впливу на стан здоров'я людей належить лісовим, земельним, водним, рекреаційним природним ресурсам. Саме поміж ними відбувається збалансований обіг речовин. Вони зазнають інтенсивного антропогенного впливу та деградаційних змін, а саме: зменшення площ лісів, площ луків і пасовищ; збільшення розораності земель; формування від'ємного балансу гумусу; погіршення якості питної води; зростання викидів до атмосфери забруднюючих речовин. Внаслідок цього створюються передумови переходу цих ресурсів із стану екологічної безпеки у стан екологічної небезпеки (Герасимчук, Олексюк, 2007).

Визначенню поняття екологічна безпека присвячені наукові праці Н.М. Андрєєвої, С.К. Харічкова, М.Ф. Реймерса, Луцько В.С., Герасимчук З.В. та ін., в яких стверджується, що під дефініцією безпеки слід розуміти: як стан захищеності та запобігання виникненню екодеструктивних впливів; безпека стосується життєво важливих інтересів держави, суспільства, людини; як якісне середовище проживання людини та забезпечення потреби в природних ресурсах для можливостей нормального соціо-економічного розвитку суспільства та держави; категорія, яка враховує всі три підходи (антропоцентричний, біоцентричний, ресурсний), що дає можливість забезпечити та гарантувати екологічну безпеку територіальних утворень (Герасимчук, 2007; Толстоухов, 2007; Андрєєва, 2000; Реймерс, 1992; Данилишин, 2001; Луцько, 1999).

В умовах Рівненської області найменш вивченими об'єктами екологічної безпеки регіону є ресурсна складова, до складу якої доцільно включити показники: лісистості; наявності площ луків і пасовищ; розораності; балансу гумусу; якості питної води; викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

У зв'язку з цим виникає потреба дослідити показники, які відображають кількісні і якісні характеристики та раціональність використання природних ресурсів з точки зору їх достатності для забезпечення збалансованого розвитку соціо-економіко-екологічних систем як окремих районів, так і регіону в цілому.

Мета роботи полягала в діагностиці екологічної безпеки за показниками ресурсної складової. Досягнення мети передбачало вивчення наступних завдань: обґрунтування методичних підходів до діагностики екологічної безпеки за показниками ресурсної складової; розрахунку кількісних і встановлення якісних показників екологічної безпеки як за окремими показниками, так і ресурсної складової в цілому.

Об'єкт дослідження. Процеси діагностики екологічної безпеки ресурсної складової.

Предмет дослідження. Показники, які характеризують стан екологічної безпеки ресурсної складової.

Методи досліджень. При проведенні досліджень використовувались методи збору та аналізу статистичних даних, системного аналізу, порівнянь, узагальнень, кореляцій-

ного і регресійного аналізу (Microsoft Excel, Marinfo 6.0).

Виклад основного матеріалу досліджень
Важливість аналізу стану ресурсної складової обумовлена, насамперед, пріоритетністю об'єктивної оцінки збалансованості використання природного потенціалу регіону при визначенні напрямків його соціо-економіко-екологічного розвитку так як, по-перше, виснажливе природокористування та ігнорування деградацією екосистеми в подальшому може призводити до погіршення показників якості довкілля, якості життя людини, економічного розвитку регіону, а, по-друге, об'єктивна оцінка необхідна для концентрації зусиль та засобів на підвищення збалансованості використання природних ресурсів регіону та зменшення шкідливого впливу на їх екосистеми (Герасимчук, 2007).

Методологія розрахунку показників рівня екологічної безпеки ресурсної складової передбачає реалізацію наступних кроків:

1. Формування сукупності показників, які найбільшою мірою відображають рівень екологічної безпеки ресурсної складової регіону на основі таких умов: їх кількість не повинна бути дуже великою; мають добиратися за критерієм максимальної інформативності та дієвості; уникнення дублювання дії показників на екологічну безпеку.

2. Диференціація ознак показників. На цьому кроці на основі вивчення характеру впливу показників на стан екологічної безпеки ресурсної складової розподіляють їх на: стимулятори (високе значення показника справляє позитивний вплив на екологічну безпеку ресурсної складової); дестимулятори (навпаки справляють негативний вплив).

3. Стандартизація показників. Оскільки показники ресурсної складової мають різні одиниці виміру, то їх необхідно звести в єдину шкалу виміру від 0 до 1 (за шкалою 1,0-0,6835 – безпека; 0,6835-0,4851 – ризик; 0,4851-0,1902 – загроза; 0,1902-0 – небезпека) запропонованою Герасимчук, 2007, з використанням експериментально встановлених залежностей, які мають вид: для показників стимуляторів – зростаючих парабол другого порядку; для показників дестимуляторів – спадаючих парабол другого порядку (таблиця 1). Розрахунок залежностей слід здійснювати з дотриманням

вимог за яких максимальні фактичні показники ресурсної складової слід брати як стандартизоване або нормативне (таблиця 1).

4. Розрахунок показників екологічної безпеки показників ресурсної складової здійснюють за формулами, наведеними у таблиці 1. Інтерпретуються розраховані рівні екологічної безпеки таким чином: чим ближчим є рівень відповідного показника ресурсної складової екологічної безпеки до одиниці, тим кращою є ситуація в регіоні і, навпаки, наближення показника до 0 буде свідчити про зростання ризиків, загроз і небезпек.

6. Групування районів за рівнем екологічної безпеки ресурсної складової пропонується здійснювати за середньоарифметичним з окремих її показників, яке дасть змогу (характеризувати) оцінювати отримані значення показника рівня екологічної безпеки району на предмет відповідності їх станам екологічної безпеки: безпеки, ризику, загроз, небезпеки.

При цьому слід зазначити, що отримані в результаті проведення регресійного і кореляційного аналізу залежності при коефіцієнтах детермінації 0,99, наведених у таблиці 1, можуть використовуватись для розрахунків унормованих показників екологічної безпеки показників ресурсної складової (таблиця 2).

Як видно з таблиці 2, за площею лук і пасовищ території районів характеризуються категоріями екологічної безпеки як такі, що перебувають у стані ризику: 6 районів зони Полісся

(0,50-0,64), 4 райони зони Лісостепу (0,51-0,61); у стані загрози: 1 район зони Полісся (0,29) і 5 районів зони Лісостепу (0,32-0,44).

За показниками наявності площ лісів всі райони зони Полісся характеризуються категорією екологічної безпеки - безпека (0,85-1,0), тоді як території районів зони Лісостепу у стані безпека знаходиться лише 5 районів (0,74-0,94), інші 3 перебувають у стані ризику (0,52-0,63), а 1 – у стані загрози (0,34).

Встановлено, що протягом останніх десятиліть помітних змін у показниках розораності земель в області не відбулося. Процент їх розорюваності залишається відносно нормативних показників досить високим. Так, у зоні Полісся 5 районів характеризуються категорією екологічної безпеки – загрози (0,29-0,44), один небезпеки (0,18), і лише Рокитнівський район має категорію ризику (0,66). У зоні Лісостепу також 5 районів із 9-ти оцінюються категорією небезпека (0,11-0,15), а 4 райони – категорією загроз (0,23-0,28), що є дестабілізуючим фактором екологічної ситуації в регіоні.

Занепокоєння викликає стан земельних ресурсів окремих районів області за показником балансу гумусу, який впродовж 1995-2015 рр. залишався від’ємним з щорічними втратами від 0,1 до 1 т/га. Як свідчать розрахунки, орні землі зони Полісся за показниками від’ємного балансу гумусу оцінюються категоріями: небезпеки Володимирецький район (0,11); загрози Березнівський (0,33), Костопіль-

Таблиця 1

Залежність екологічної безпеки районів від показників ресурсної складової

№ з/п	Назва показника	Вид рівняння	max	R ²
Стимулятори				
1	Площа лук і пасовищ, %	$y_1 = -0.0003x_1^2 + 0.0421x_1 + 0.0044$	30	0.99
2	Площа лісів, %	1 $y_2 = -0.0002x_2^2 + 0.03x_2 - 0.0205$	>40	0.99
		2 $y_3 = -0.0006x_3^2 + 0.0529x_3 + 0.0397$	25	
Дестимулятори				
3	Розораність, %	1 $y_4 = 0.0003x_4^2 - 0.0392x_4 + 1.0126$	>30	0.99
		2 $y_5 = 8E-0.5x_5^2 - 0.0187x_5 + 1.0032$	60	0.99
4	Баланс гумусу, т/га	$y_6 = 0.4996x_6^2 - 1.4789x_6 + 1.0125$	1.0	0.99
5	Невідповідальність якості питної води за хімічними та мікробіологічними показниками, %	$y_7 = 0.0003x_7^2 - 0.0342x_7 + 0.99$	50	0.99
6	Викидів в атмосферу забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел, кг/особу	$y_8 = 0.0003x_8^2 - 0.032x_8 + 0.9763$	50	0.99

Примітка: 1-для зони Полісся; 2-для зони Лісостепу.

Таблиця 2

Розрахунок показників та визначення категорій екологічної безпеки ресурсної складової

№ з/п	Назва районів	Площа лук і пасовищ, %		Лісистість, %		Розораність, %		Баланс гумусу, т-т/га		Якість питної води				Викиди забруднюючих речовин, кг/ос		Показник екологічної безпеки	Стан екологічної безпеки
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
1	Березнівський	12,9	0,50	50,6	1,0	22,2	0,29	-0,57	0,33	28,2	0,26	8,1	0,73	1,6	0,93	0,58	ризик
2	Володимирецький	13,8	0,53	48,0	0,96	20,0	0,35	-0,85	0,11	33,5	0,18	44,0	0,07	1,9	0,92	0,45	загроза
3	Дубровицький	13,5	0,52	45,8	0,93	16,6	0,44	-0,14	0,82	26,2	0,30	21,6	0,39	3,3	0,87	0,61	ризик
4	Зарічненський	17,3	0,64	39,5	0,85	17,7	0,41	-0,24	0,69	12,9	0,60	22,3	0,38	7,0	0,77	0,62	ризик
5	Костопільський	15,1	0,57	39,4	0,85	26,7	0,18	-0,69	0,23	34,3	0,17	42,5	0,08	7,4	0,76	0,41	загроза
6	Рокитнівський	7,2	0,29	61,7	1,0	9,8	0,66	-40	0,50	11,4	0,64	19,3	0,44	6,2	0,79	0,62	ризик
7	Сарненський	14,4	0,54	48,4	0,96	18,6	0,39	-37	0,53	34,2	0,17	41,3	0,09	3,5	0,87	0,51	ризик
По Полісся		13,4	0,51	47,6	0,95	18,8	0,38	-0,46	0,44	25,8	0,31	28,4	0,26	4,4	0,84	0,53	ризик
8	Гошанський	15,4	0,58	6,0	0,34	66,5	0,11	-20	0,74	28,1	0,26	39,8	0,10	2,9	0,89	0,43	загроза
9	Демирівський	9,4	0,37	10,4	0,52	65,9	0,12	-0,04	0,95	22,0	0,38	24,0	0,34	-	-	0,45	загроза
10	Дубенський	13,4	0,51	23,2	0,94	51,3	0,25	-0,25	0,67	24,1	0,34	26,7	0,29	10,8	0,66	0,52	ризик
11	Здолбунівський	11,1	0,43	20,9	0,88	52,8	0,24	-0,06	0,92	25,8	0,31	28,4	0,26	47,7	0,13	0,45	загроза
12	Корецький	14,1	0,54	13,2	0,63	62,2	0,15	-0,28	0,64	20,3	0,42	14,3	0,56	0,3	0,97	0,56	ризик
13	Млинівський	11,2	0,44	11,6	0,57	57,2	0,11	-0,08	0,90	17,0	0,50	20,2	0,42	1,9	0,92	0,55	ризик
14	Острозький	16,2	0,61	22,8	0,93	49,3	0,28	-0,18	0,76	12,6	0,61	21,9	0,38	1,9	0,92	0,64	ризик
15	Радивилівський	8,1	0,32	16,3	0,74	65,0	0,13	-0,19	0,75	16,0	0,52	13,6	0,58	1,3	0,93	0,57	ризик
16	Рівненський	9,8	0,39	22,2	0,92	54,1	0,23	-0,41	0,49	36,6	0,14	32,2	0,20	12,0	0,64	0,43	загроза
По Лісостепу		12,1	0,47	16,3	0,74	59,4	0,18	-0,19	0,75	22,6	0,37	24,6	0,33	9,9	0,69	0,50	ризик

ський (0,23); інші 2 райони мають категорію ризику (0,50-0,53); 2 райони категорію безпеки: Дубровицький (0,82), Зарічненський (0,69). У зоні Лісостепу ситуація з балансом гумусу в орних землях дещо краща, оскільки 6 районів відносяться до категорії безпека (0,74-0,95), а 3 – до категорії ризику (0,49-0,67).

Виникає потреба в усуненні від'ємного балансу гумусу за рахунок внесення в орні землі гною або приорування зеленої маси сидерантів.

У Рівненській області переважну більшість (70,4%) складає сільське населення, яке, в основному, споживає питну воду із децентралізованих джерел водопостачання. Загальна кількість сільських житлових будинків, обладнаних централізованим питним водопостачанням, становить лише 30815 (14,7%), (Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2020/12/nacjonalna-dopovid-za-2019-rik.pdf>).

За досліджуваний період (2011-2015 рр.) середньо-обласний показник невідповідності якості питної води із джерел децентралізованого водопостачання за санітарно-хімічними показниками зросло з 28,9% у 2011р. до 40% у 2015р., а за мікробіологічними – з 19% у 2011р. до 33,7% у 2015р. Це зумовлює появу ризику захворюваності населення.

Розрахунки засвідчують, що за показниками невідповідності якості питної води за санітарно-хімічними показниками райони зони Полісся оцінюються категоріями: небезпеки Володимирецький (0,18), Костопільський (0,17), Сарненський (0,17); загрози Березнівський (0,26), Дубровицький (0,30); ризику Зарічненський (0,60), Рокитнівський (0,64). У зоні Лісостепу такі райони як Гошанський (0,26), Демидівський (0,38), Дубенський (0,34), Здолбунівський (0,31), Корецький (0,42) мають категорію загрози, тоді як Рівненський (0,14) категорію небезпеки, а Млинівський (0,50), Острозький (0,61), Радивилівський (0,52) райони – категорію ризику.

За показниками невідповідності якості питної води за мікробіологічними показниками райони зони Полісся оцінюються категоріями: небезпеки Володимирецький (0,07), Костопільський (0,08), Сарненський (0,09); загрози Дубровицький (0,39), Зарічненський (0,38),

Рокитнівський (0,44); безпеки Березнівський район (0,73).

У зоні Лісостепу за невідповідністю якості питної води мікробіологічним вимогам райони цієї зони оцінюються категоріями екологічної безпеки: небезпеки Гошанський (0,10); загрози Демидівський (0,34), Дубенський (0,29), Здолбунівський (0,26), Млинівський (0,42), Острозький (0,38), Рівненський (0,20); ризику Корецький (0,56), Радивилівський (0,58).

Вирішення проблем пов'язаних із забезпеченням населення області питною водою потребує здійснення комплексу заходів, в тому числі оцінки санітарно-технічного стану об'єктів водопостачання у районах області.

Основними забруднювачами повітря в області є підприємства: переробної промисловості (75,8% загальних викидів стаціонарних джерел); транскордонні перенесені забруднюючі речовини, а у містах і населених пунктах пересувні джерела.

За даними розрахунків показників рівня забруднення атмосферного повітря території районів оцінюються категоріями: безпека 7 районів зони Полісся (0,76-0,93) та 5 районів зони Лісостепу (0,89-0,97), тоді як Дубенський (0,66), Рівненський (0,64) райони відносяться до категорії ризику, а Здолбунівський (0,13), при викидах 10,8 кг/особу, перебуває у категорії небезпека.

На заключному етапі нами були розраховані інтегровані показники екологічної безпеки ресурсної складової, які засвідчують, що переважна більшість територій районів характеризується категорією у зоні Полісся 5 районів ризику, а 2 райони загрози; а у зоні Лісостепу 5 районів ризику, а 4 райони загрози.

Висновки. 1. Методологія розрахунку показників рівня екологічної безпеки ресурсної складової передбачає реалізацію наступних кроків, а саме: формування сукупності показників, які об'єктивно її відображають; диференціацію цих показників на стимулятори і дестимулятори; стандартизацію їх шляхом переведення у шкалу від 0 до 1 з використанням експериментально встановлених залежностей, які мають вид для стимуляторів зростаючих, а для дестимуляторів спадаючих парабол; групування територій районів за величиною середньоарифметичного з окремих показників ресурсної складової та визначення станів їх еколо-

гічної безпеки за шкалою: 1-0,6835 – безпека; 0,6835-0,4851 – ризик; 0,4851-0,1902 – загроза; 0,1902-0 – небезпека.

2. За показниками стимуляторами стан (рівень) екологічної безпеки території області за показником ресурсної складової оцінюється категоріями: лісистістю у зоні Полісся 7 районів – безпека, у зоні Лісостепу 5 – безпека, 3 – ризику, 1 – загроза; наявністю лук і пасовищ у зоні Полісся 6 районів – ризик, 1 – загроза, у зоні Лісостепу 4 райони ризик, 5 – загроз.

3. За показниками дестимуляторами стан (рівень) екологічної безпеки територій області за показниками ресурсної складової оцінюється категоріями: викидів забруднюючих речовин від стаціонарних і пересувних джерел у повітря у зоні Полісся 7 районів безпека, у зоні Лісостепу 5 районів безпека, 2 ризику, 1 загроза, 1 небезпека; балансу гумусу у зоні Полісся 2 райони безпека, 2 ризику, 2 загрози, 1 небезпека, у зоні Лісостепу 6 районів безпека, 3 ризику; розораності у зоні Полісся 1 район безпека, 1 ризику, 5 загроза, у зоні Лісостепу 4 райони загроза, 5 небезпека; за невідповідності питної води санітарно-хімічним показникам у зоні Полісся 2 райони категорією ризику, 2 загрози, 3 небезпека, у зоні Лісостепу 3 райони ризику, 4 загрози, 1 небез-

пека; за невідповідності питної води мікробіологічним показникам у зоні Полісся 1 район відповідає категорії безпека, 3 загроза, 3 небезпека, у зоні Лісостепу 2 райони ризику, 6 загрози, 1 небезпека.

4. За інтегрованим показником екологічної безпеки ресурсної складової встановлено, що переважна більшість територій районів оцінюється категоріями: у зоні Полісся 5 районів ризику, 2 загроз, а у зоні Лісостепу 5 районів ризику, 4 загроз.

5. Для досягнення екологічно безпечного розвитку і функціонування ресурсної складової області необхідно усунути вплив дестабілізуючих чинників, які можуть завдавати значної і дуже значної шкоди її стану перебуваючи в категорії загроз та небезпеки, а саме: у зоні Полісся за площею лук і пасовищ 1 район, за розорюваністю земель 6 районів, балансу гумусу 3 райони, санітарно-хімічними показниками якості питної води 5 районів, мікробіологічними показниками 6 районів; у зоні Лісостепу за площею лук і пасовищ 5 районів, лісистістю 1 район, розораністю 4 райони, санітарно-хімічними показниками якості питної води 5 районів, мікробіологічними показниками 7 районів, викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря 2 райони.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Природні ресурси України: навчальний посібник / П.С. Гнатів, П.Р. Хірівський, О.Д. Зинюк, Ю.Я. Корінець, Н.Є. Панас. Львів: Камула, 2012. 216 с.
2. Сонько С.П., Максименко Н.В. Екологічні основи збалансованого природокористування в агросфері: навчальний посібник. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. 572 с.
3. Клименко М.О., Борисюк Б.В., Колесник Т.М. Збалансоване використання земельних ресурсів: навчальний посібник. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 552 с.
4. Герасимчук З.В., Олексюк А.О. Екологічна безпека регіону: діагностика і механізм забезпечення: монографія. Луцьк: Надтир'я, 2007. 280 с.
5. Толстоухов А.В., Хилько М.І. Екобезпечний розвиток: пошуки стратегем: 2-е видання. Київ: «Знання України», 2007. 332 с.
6. Андреева Н.Н, Харичков С.К. Экологоориентированные инвестиции в системе обеспечения ресурсно-экологической безопасности. НАН Украины, Ин-т пробл. рынка и эконом.-эколог. исслед. Одесса, 2000. 196 с.
7. Реймерс Н. Ф. Охрана природы и окружающей человека среды. Словарь-справочник. Москва : Просвещение, 1992. 319 с.
8. Луцько В.С. Шляхи вдосконалення системи державного управління у сфері екологічної безпеки України. Київ : Рада по вивченню продуктивних сил України, 1999. 528 с.
9. Герасимчук З.В. Регіональна політика сталого розвитку: методологія формування, механізми реалізації. Луцьк : Надтир'я, 2001. 528 с.
10. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2018 році. Київ : 2019. С. 234–243.

REFERENCES:

1. Hnativ P.S., Khirivskiy P.R., Zyniuk O.D., Korinets Yu.Ia. & Panas N.Ie. (2012). *Pryrodni resursy Ukrainy [Natural resources of Ukraine]*. Lviv: Kamula [in Ukrainian].
2. Sonko S.P., Maksymenko. N.V. (2015). *Ekolohichni osnovy zbalansovanoho pryrodokorystuvannia v ahrosferi [Ecological bases of balanced nature management in the agrosphere]*. Kharkiv: KhNU imeni V. N. Karazina [in Ukrainian].
3. Klymenko M.O., Borysiuk B.V. & Kolesnyk T.M. (2014). *Zbalansovane vykorystannia zemelnykh resursiv [Balanced use of land resources]*. Kherson: OLDI-PLIUS [in Ukrainian].
4. Herasymchuk Z.V., Oleksiuk A.O. (2007). *Ekolohichna bezpeka rehionu: diahnostyka i mekhanizm zabezpechennia [Ecological security of the region: diagnostics and support mechanism]*. Lutsk: Nadstyria [in Ukrainian].
5. Tolstoukhov A.V., Khylyk M.I. (2007). *Ekobezpechnyi rozvytok: poshuky stratehem [Ecological development: search for strategists]*. Kyiv: «Znannia Ukrainy», 2007. [in Ukrainian].
6. Andreeva N.N, Kharychkov S.K. (2000). *Ekologoorientirovannye investicii v sisteme obespecheniya resursno-ekologicheskoy bezopasnosti [Eco-oriented investments in the system of ensuring resource and environmental security]*. NAN Ukrainy, In-t probl. rynku i ekonom.-ekolog. issled. Odessa [in Russian].
7. Reimers N.F. (1992). *Ohrana prirody i okruzhayushchej cheloveka sredey [Protection of nature and the human environment]*. Moscow: Prosveshchenye, [in Russian].
8. Lutsko V.S. (1999). *Shliakhy vdoskonalennia systemy derzhavnoho upravlinnia u sferi ekolohichnoi bezpeky Ukrainy [Ways to improve the system of public administration in the field of environmental security of Ukraine]*. Kyiv: Rada po vyvchenniu produktyvnykh syl Ukrainy [in Ukraine].
9. Herasymchuk Z.V. (2001). *Rehionalna polityka staloho rozvytku: metodolohiia formuvannia, mekhanizmy realizatsii [Regional policy of sustainable development: methodology of formation, implementation mechanisms]*. Lutsk: Nadstyria [in Ukrainian].
10. *Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytneho vodopostachannia v Ukraini u 2018 rotsi [National report on drinking water quality and the state of drinking water supply in Ukraine in 2018]*. Kyiv: 2019, pp. 234-243 [in Ukrainian].

УДК 547.759 + 547.856 + 615.31

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-8>

Наталія САВІНЧУК

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

ORCID: 0000-0003-1115-1798

Алла ВАСЬКЕВИЧ

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

ORCID: 0000-0003-0370-6626

Ніна ЯКОВИЧУК

кандидат медичних наук, доцент кафедри мікробіології, Буковинський державний медичний університет, пл. Театральна, 2, м. Чернівці, Україна, 57000

ORCID: 0000-0003-1332-9510

Аліна ГРОЗАВ

кандидат хімічних наук, доцент кафедри медичної та фармацевтичної хімії, Буковинський державний медичний університет, пл. Театральна, 2, м. Чернівці, Україна, 57000

ORCID: 0000-0001-9821-0695

Ангеліна ВАСЬКЕВИЧ

студентка, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, просп. Перемоги, 34, м. Київ, Україна, 03057

ORCID: 0000-0003-4959-4981

Ольга ПАНЧУК

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, просп. Перемоги, 34, м. Київ, Україна, 03057

ORCID: 0000-0002-5475-5252

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 хімії функціональних гетероциклічних систем, директор Інституту органічної хімії Національної академії наук України, вул. Мурманська, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0003-1753-3535

Бібліографічний опис статті: Савінчук, Н., Васькевич, А., Яковичук, Н., Грозав, А., Васькевич, А., Панчук, О., Салієва, Л., Сливка, Н., Вовк, М. (2022). Оцінка протимікробної дії халькогеновмісних піроло[1,2-а]хіназолін-5(1H)-онів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 54–63, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-8>

ОЦІНКА ПРОТИМІКРОБНОЇ ДІЇ ХАЛЬКОГЕНОВМІСНИХ ПІРОЛО[1,2-а]ХІНАЗОЛІН-5(1H)-ОНІВ

У роботі досліджена протимікробна активність нещодавно синтезованих авторами 1-арилхалькогенілметилзаміщених піроло[1,2-а]хіназолін-5(1H)-онів. Вступна частина статті присвячена розкриттю медико-біологічного потенціалу ангулярних синтетичних аналогів природних піроло[2,1-b]хіназолінонів – похідних піроло[1,2-а]хіназолінів, серед яких виявлені сполуки із протизапальною, протимікробною, протибронхіальною та гіпотензивною активністю, а також інгібітори бромодоменів білків PBI, SMARCA4 та SMARCA2 та PARP-фермента, який бере участь у репарації розривів ланцюгів ДНК.

Наведена загальна схема синтезу цільових ангулярних 1-(арилхалькогенілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-а]хіназолін-5(1H)-онів, яка базується на ключовому процесі циклосульфенілювання(селенілювання) 2-(3-бутеніл)хіназолін-4(3H)-онів, одержаних послідовним ацилюванням антраніламідів хлорангідридом алілоцтової кислоти та високотемпературною циклоконденсацією проміжних 2-(пентеніламіно)бензамідів.

Отримані результати біоскринінгу синтезованих сполук вказують на їх помірну протибактеріальну та протигрибкову активність: мінімальна бактеріостатична концентрація (МБсК) знаходиться в діапазоні 15,62-125,0 мкг/мл, мінімальна фунгістатична концентрація МФсК=62,5 мкг/мл. При тестуванні піроло[1,2-а]хіназолін-5(1H)-онів **1a-1** відносно синьогнійної палички *Proteus aeruginosa* ATCC 27853, здатної спричиняти важкі запальні захворювання різних органів і тканин та відомої резистентністю до багатьох антибіотиків, встановлено, що мінімальні бактерицидні та бактеріостатичні концентрації у більшості з них знаходяться на рівні контролю (31,25мкг/мл) і вище, а для сполук **1b** та **1c** МБсК вдвічі менша і становить 15,62 мкг/мл. Отримані результати дозволяють зробити висновок відносно можливості використання цих сполук для більш поглиблених досліджень.

Ключові слова: піроло[1,2-а]хіназолінони, арилхалькогеновмісні піроло[1,2-а]хіназолін-5(1H)-они, біоскринінг, протибактеріальна активність, протигрибкова активність.

Nataliya SAVINCHUK

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

ORCID: 0000-0003-1115-1798

Alla VASKEVYCH

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

ORCID: 0000-0003-0370-6626

Nina YAKOVYCHUK

Ph.D., Associate Professor at the Department of Microbiology, Bukovynian State Medical University, 2 Teatralnaya Square, Chernivtsi, Ukraine, 57000

ORCID: 0000-0003-1332-9510

Alina GROZAV

Ph.D., Associate Professor at the Department of Medical and Pharmaceutical Chemistry, Bukovynian State Medical University, 2 Teatralnaya Square, Chernivtsi, Ukraine, 57000

ORCID: 0000-0001-9821-0695

Anhelina VASKEVYCH

Student, Bogomolets National Medical University, 34 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03057

ORCID: 0000-0003-4959-4981

Olha PANCHUK

Ph.D., Associate Professor, at the Department of Biology, Bogomolets National Medical University, 34 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, 03057

ORCID: 0000-0002-5475-5252

Lesya SALIYEVA

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Nataliia SLYVKA

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Mykhailo VOVK

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

ORCID: 0000-0003-1753-3535

To cite this article: Savinchuk, N., Vaskevych, A., Yakovychuk, N., Grozav, A., Vaskevych, A., Panchuk, O., Saliyeva, L., Slyvka, N., Vovk, M. (2022). Otsinka protymikrobnoi dii khalkohеноvmisnykh pirolo[1,2-*a*]khinazolin-5(1*H*)-oniv [Evaluation of antimicrobial action of chalcogen-containing pyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 54–63, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-8>

EVALUATION OF ANTIMICROBIAL ACTION OF CHALCOGEN-CONTAINING PYRROLO[1,2-*a*]QUINAZOLIN-5(1*H*)-ONES

The antimicrobial activity of recently synthesized by the authors 1-arylchalcogenylmethyl-substituted pyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones was investigated. The introductory part of the article is devoted to the disclosure of the medical and biological potential of angular synthetic analogues of natural pyrrolo[2,1-*b*]quinazolinones - pyrrolo[1,2-*a*]quinazolines derivatives, among which compounds with anti-inflammatory, antimicrobial, antibronchial and hypotensive activity, inhibitors of bromodomains of proteins PBI, SMARCA4 and SMARCA2 and PARP - an enzyme that participates in the repair of broken DNA strands have been identified.

The general scheme of synthesis of target 1-(arylchalcogenylmethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones based on cyclosulfenylation (selenylation) of 2-(3-butenyl)quinazolin-4(3*H*)-ones as a key process is given. The latter were obtained by sequential acylation of anthranilamides with allylacetyl chloride and high-temperature cyclocondensation of intermediate 2- (pentenoylamino) benzamides.

The obtained results of bioscreening of the synthesized compounds indicate their moderate antibacterial and antifungal activity: the minimum bacteriostatic concentration (MBsK) is in the range of 15.62-125.0 $\mu\text{g} / \text{ml}$, the minimum fungistatic concentration of MfsK = 62.5 $\mu\text{g} / \text{ml}$. When testing pyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones **1a-1** against *Pseudomonas aeruginosa* Proteus aeruginosa ATCC 27853, which can cause severe inflammatory diseases of various organs and tissues and is known to be resistant to many antibiotics, it was found that minimal bactericidal and bacteriostatic concentrations in most of them are at the control level (31.25 $\mu\text{g} / \text{ml}$) and above, and for compounds **1b** and **1c** MBsK is twice lower and is 15.62 $\mu\text{g} / \text{ml}$. The results obtained allow us to conclude about the possibility of using these compounds for more in-depth research.

Key words: pyrrolo[1,2-*a*]quinazolinones, arylchalcogen-containing pyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones, bioscreening, antibacterial activity, antifungal activity.

Хіназоліноновий фрагмент складає основу понад півтори сотні виділених на даний час алкалоїдів та значної кількості фармацевтичних препаратів [1-8]. В ряду конденсова-

них хіназолінонів особливе місце займають піроло[2,1-*b*]хіназолінони, молекулярний каркас яких є ключовим елементом структури алкалоїдів групи деоксивазицинону, най-

відомішим представником якої є вазіцинон (I). На не меншу увагу заслуговують і ангулярні синтетичні аналоги природних піролохіназолінонів, як перспективні об'єкти для медичної хімії [8]. Зокрема, піроло[1,2-*a*]хіназолін-1,5(2*H*,4*H*)-діони (II) виявляють протизапальну дію та запобігають місцевому карагенін-індукованому набряку [9,10]; активність проти грамозитивних і грамнегативних бактерій в експериментах *in vitro* продемонстрували 1,5-дизаміщені піроло[1,2-*a*]хіназоліни (III) [11]. Бронходилаторні властивості піроло[1,2-*a*]хіназолінів (IV) є передумовою їх застосування для лікування бронхіальної астми [12]. В свою чергу, похідні (V та VI) відзначаються гіпотензивною активністю і є депресантами центральної нервової системи [13,14], а піроло[1,2-*a*]хіназоліндіон (VII) проявляє здатність потенціювати барбітурати та може застосовуватись як допоміжний заспокійливий засіб при лікуванні безсоння, судом і психічних розладів [15]. Схильність 2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів (VIII) інгібувати бромодомени білків PB1, SMARCA4 та SMARCA2 та сполук (IX) пригнічувати активність PARP– фермента, який бере участь у репарації розривів ланцюгів ДНК, обумовлює їх протипухлинну дію [16-19].

В контексті викладеного вище та враховуючи важливість для сучасної медицини проблеми боротьби із мікробними інфекціями, видавалось обгрунтованим провести оцінку протибактеріальної та протигрибкової дії синтезованих нещодавно 1-(арилхалькогенілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **1** [20].

Досліджувані сполуки **1** отримували циклосульфенілюванням(селенілюванням) 2-(3-бутеніл)хіназолін-4(3*H*)-онів **2**, які в свою чергу були синтезовані ацилюванням антрапіламідів **3** хлорангідридом алілоцтової кислоти **4** з наступною високотемпературною циклоконденсацією утворених 2-(пентеноїламіно)бензамідів **5** у дифеніловому етері [21]. При дії на сполуки **2** арилсульфенілхлоридів або фенілселенілхлориду в нітротетані в присутності перхлорату літію (LiClO₄) за кімнатної температури реалізується внутрішньомолекулярна циклізація з переважним утворенням ангулярних 1-(арилхалькогенілметил)-

2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **1** з виходами 43-69%.

Скринінг протибактеріальної та протигрибкової активності сполук **1** проводили мікрометодом дворазових серійних розведень [22] у рідкому живильному середовищі згідно з діючими рекомендаціями щодо визначення чутливостей мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів [23,24]. Мінімальні бактериостатичні та фунгістатичні (МБсК, МФсК) концентрації і мінімальні бактерицидні та фунгіцидні (МБцК, МФцК) концентрації 1-{{арилтіо(селено)метил}}-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **1a-1** визначали щодо референс-штамів бактерій (*Staphylococcus aureus* 25923, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Bacillus cereus* 10702, *Proteus vulgaris* ATCC 4636, *Proteus aeruginosa* ATCC 27853, *Proteus mirabilis* ATCC 410) та грибка *Candida albicans* ATCC 885/653. Відомі протимікробні препарати «Декасан» (діюча речовина декаметоксин) та «Клотримазол» використовували як контроль, а диметилсульфоксид (ДМСО) в якості розчинника.

Отримані результати біоскринінгу похідних 1-(арилхалькогенілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів **1a-1** свідчать, що вони виявляють помірну протибактеріальну активність, мінімальна бактериостатична концентрація (МБсК) знаходиться в діапазоні 15,62-125,0 мкг/мл, та помірну протигрибкову активність: МФсК=62,5 мкг/мл (табл. 1). Для порівняння, МБсК препарату «Декасан», який використовували як контроль, знаходиться в межах 0,97-62,5 мкг/мл для досліджуваних мікроорганізмів. Цікавими виявились результати отримані при тестуванні сполук **1a-1** відносно синьогнійної палички *Proteus aeruginosa* ATCC 27853, що здатна спричиняти важкі запальні захворювання різних органів і тканин та відома резистентністю до багатьох антибіотиків. Мінімальні бактерицидні та бактериостатичні концентрації щодо синьогнійної палички у більшості досліджуваних сполук знаходяться на рівні контролю (31,25мкг/мл) і вище, а для сполук **1b** та **1c** МБсК вдвічі менша і становить 15,62 мкг/мл, що дозволяє зробити висновок відносно можливості використання даних сполук для більш поглиблених досліджень в даній області.

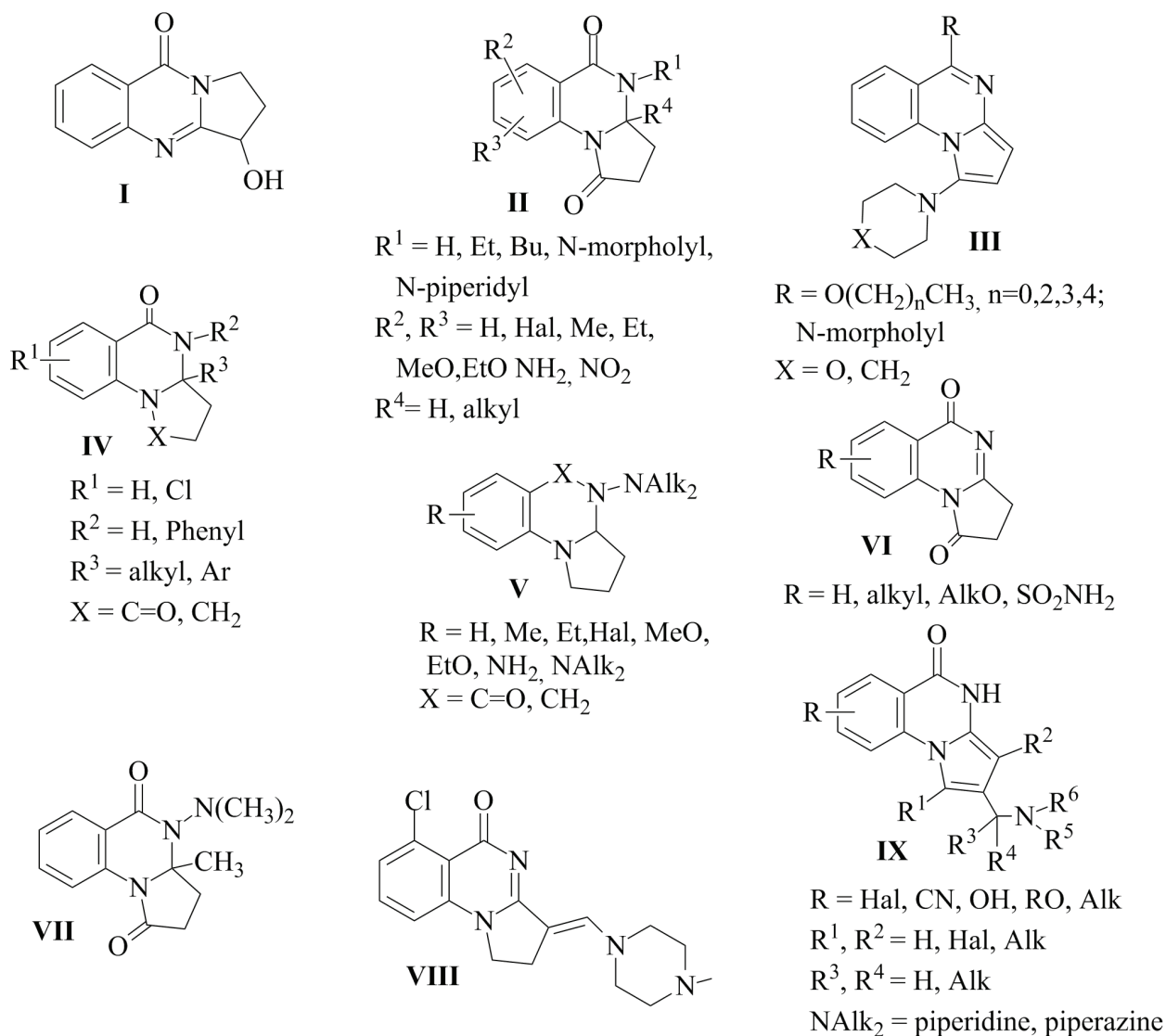


Рис. 1. Алкалоїд вазіцинон (I) та біологічно-активні піроло[1,2-а]хіназоліни (II-IX).

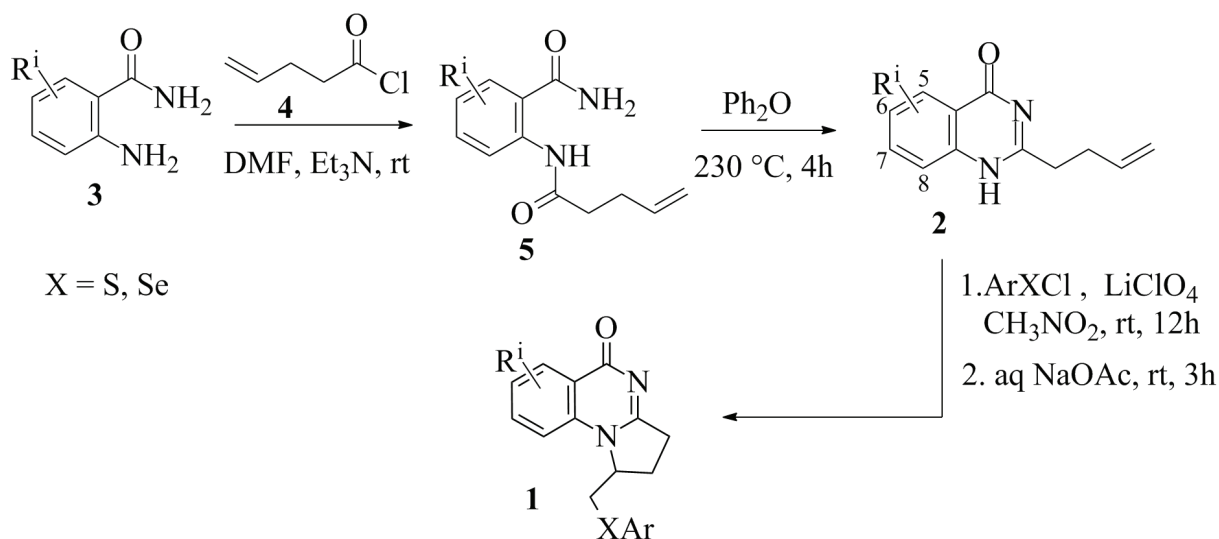


Схема 1. Загальна схема синтезу 1-(арилхалькогенілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-а]хіназолін-5(1H)-онів 1

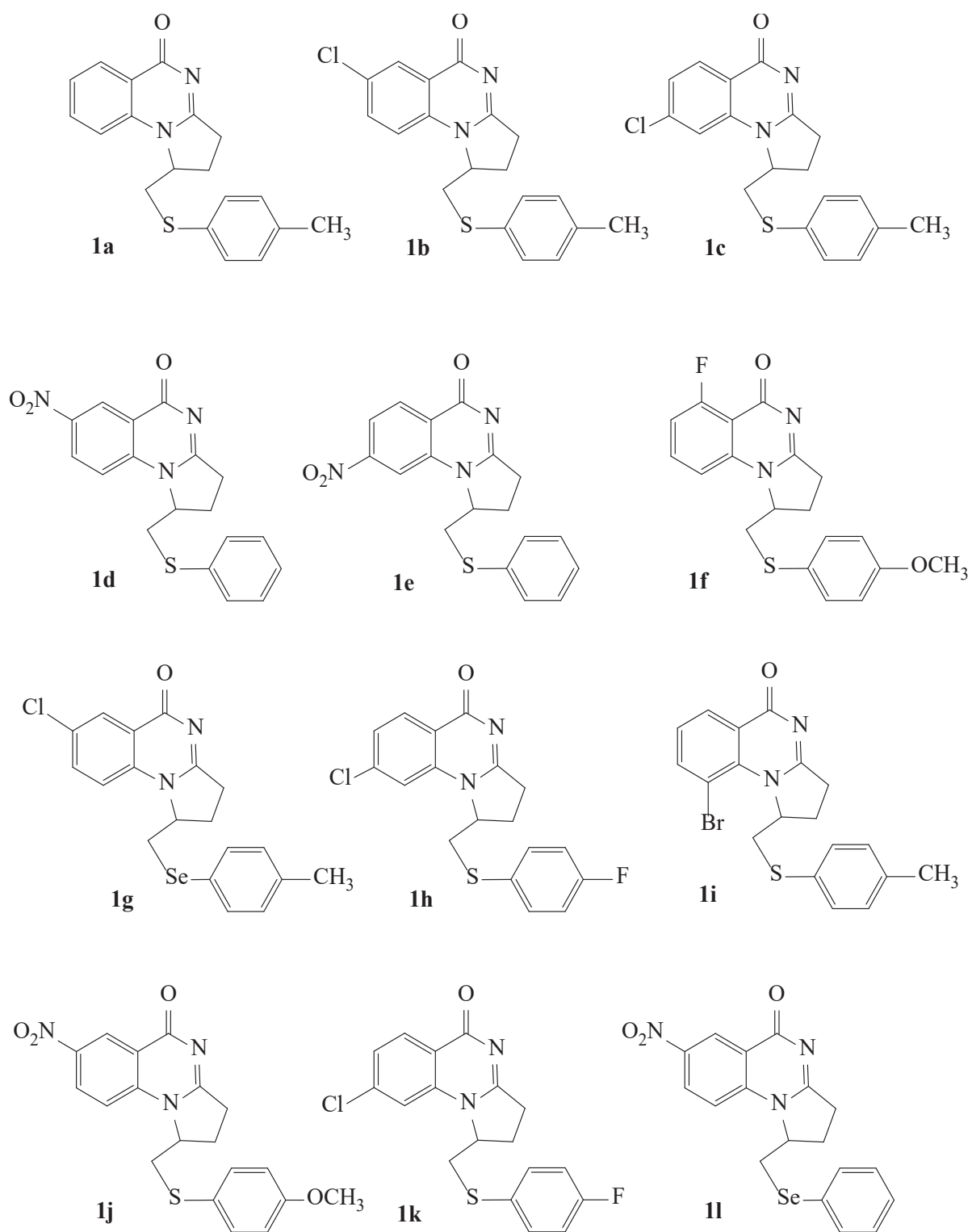


Рис. 2. Структура тестованих 1-(арилхалькогенілметил)-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів 1а-л

Таблиця 1

Протимікробна активність 1-{{арилтію(селено)}-метил}-2,3-дигідропіроло[1,2-*a*]хіназолін-5(1*H*)-онів 1*a*-1

№	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923		<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922		<i>Vacillus cereus</i> ATCC 10702		<i>Proteus vulgaris</i> ATCC 4636		<i>Proteus aeruginosa</i> ATCC 27853		<i>Proteus mirabilis</i> ATCC 410		<i>Candida albicans</i> ATCC 885/653	
	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МБсК	МБцК	МФсК	МФцК
1a	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5	62,5
1b	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5	31,25	31,25	15,62	31,25	31,25	62,5	62,5	62,5
1c	62,5	62,5	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5	62,5	15,62	31,25	62,5	62,5	62,5	62,5
1d	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	125	31,25	62,5	31,25	62,5	31,25	62,5	62,5	62,5
1e	31,25	62,5	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5	62,5	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5
1	62,5	62,5	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5	62,5	31,25	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5
1g	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5
1h	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5
1i	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	125	62,5	62,5	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5
1j	62,5	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5	31,25	62,5	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5
1k	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5
1l	31,25	31,25	31,25	31,25	62,5	62,5	31,25	62,5	31,25	62,5	31,25	31,25	62,5	62,5
DMSO*														
K**	1,95	3,9	1,95	3,9	0,97	1,95	3,9	15,62	31,25	31,25	15,62	31,25	7,8	7,8

*спостерігається ріст бактерії

**при визначенні протимікробної активності як контроль використовували препарат «Дексан» (1 мл розчину містить 0,2 мг декаметоксину) виробництва ТОВ «Юрія-Фарм», а при оцінюванні протигрибкової активності як контроль використовували препарат «Клотримазол» виробництва ЗАТ НВЦ «Борцясівський хіміко-фармацевтичний завод».

ЛІТЕРАТУРА:

1. Mhaske, S.B.; Argade, N.P. The chemistry of recently isolated naturally occurring quinazolinone alkaloids. *Tetrahedron*. 2006. 62(42). 9787–9826.
2. Kshirsagar, U.A. Recent developments in the chemistry of quinazolinone alkaloids. *Org. Biomol. Chem.* 2015. 13(36). 9336–9352.
3. Shang, X. F.; Morris-Natschke, S. L.; Liu, Y. Q.; Guo, X.; Xu, X.S.; Goto, M.; Li, J.C.; Yang, G.Z.; Lee, K.H. Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids. Part I. *Med. Res. Rev.* 2017. 38(3). 775–828.
4. Shang, X. F.; Morris-Natschke, S. L.; Yang, G. Z.; Liu, Y. Q.; Guo, X.; Xu, X.S.; Goto, M.; Li, J.C.; Zhang, G.Z.; Lee, K. H. Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids. Part II. *Med. Res. Rev.* 2018. 38(5). 1614–1660.
5. He, D.; Wang, M.; Zhao, S.; Shu, Y.; Zeng, H.; Xiao, C.; Lu, C.; Liu, Y. Pharmaceutical prospects of naturally occurring quinazolinone and its derivatives. *Fitoterapia*. 2017. 119. 136–149.
6. Dumitrascu, F.; Georgescu, F.; Georgescu, E.; Caira, M.R. Pyrroloquinolines, imidazoquinolines, and pyrroloquinazolines with a bridgehead nitrogen. *Advances in Heterocyclic Chemistry*. 2019. 155–244.
7. Alagarsamy, V.; Chitra, K.; Saravanan, G.; Solomon, V.R., Sulthana, M.; Narendhar, B. An overview of quinazolines: Pharmacological significance and recent developments. *Eur. J. Med. Chem.* 2018. 151. 628–685.
8. Dumitrascu, F.; Popa, M.M. Pyrrolo[1,2-*a*]quinazolines: synthesis and biological properties. *Arkivoc*. 2014. 2014(1). 428–452.
9. Bell, S.C.; Conklin, G.T. 3,3a-Dihydropyrrolo(1,2-*a*)quinazoline-1,5(2*H*,4*H*)-diones and related intermediates. *US Patent* 3707468. 1972.
10. Wolf, E.H.; Daffy, B.J. Quinazoline derivatives. *US Patent* 3883524. 1975.
11. Kazemi, S.S.; Keivanloo, A.; Nasr-Isfahani, H.; Bamoniri, A. Synthesis of novel 1,5-disubstituted pyrrolo[1,2-*a*]quinazolines and their evaluation for anti-bacterial and anti-oxidant activities. *RSC Advances*. 2016. 6(95). 92663–92669.
12. Houlihan, W. J. Method of treating bronchial asthma. *US Patent* 3743733. 1973. 13. Bernstein, J.; Spitzmiller, E.R. Pyrroloquinazoline derivatives. *US Patent* 3271400. 1966.
13. Bell, S.C., Wei, P.H.L. Pyrrolo(1,2- α)quinazoline-1,5-(2*H*,3*H*)diones. *US Patent* 3475432. 1969.
14. Krichner, F.K.; Zalay, A.W. 3-Amino-2,3-dihydro-4(1*H*)quinazolinones. *US Patent* 3843654. 1974.
15. Honda, T.; Enomoto, H.; Kawashima, K.; Takaoka, S.; Fujioka, Y.; Matsuda, M.; Ohashi, K.; Fujita, Y.; Hirai, S.-I.; Kurashima, H. Novel compound having PARP inhibitory activity *WO Patent* 2013008872/A1. 2013.
16. Sutherland, C. L.; Tallant, C.; Monteiro, O.P.; Yapp, C.; Fuchs, J.E.; Fedorov, O.; Siejka, P.; Müller, S.; Knapp, S.; Brenton, J. D.; Brennan, P. E.; Ley, S. V. Identification and development of 2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-one inhibitors targeting bromodomains within the switch/sucrose nonfermenting complex. *J. Med. Chem.* 2016. 59(10). 5095–5101.
17. Vangamudi, B.; Paul, T.A.; Shah, P.K.; Kost-Alimova, M.; Nottebaum, L.; Shi, X.; Zhan, Y.; Leo, E.; Mahadeshwar, H.S.; Protopopov, A.; Futreal, A.; Tieu, T.N.; Peoples, M.; Heffernan, T.P.; Marszalek, J.R.; Toniatti, C.; Petrocchi, A.; Verhelle, D.; Owen, D.R.; Andersen, J.N. The SMARCA2/4 ATPase domain surpasses the bromodomain as a drug target in SWI/SNF-mutant cancers: insights from cDNA rescue and PFI-3 inhibitor studies. *Cancer Research*. 2015. 75(18). 3865–3878.
18. Karnezis, A.N.; Wang, Y.; Ramos, P.; Hendricks, W.P.; Oliva, E.; D'Angelo, E.; Prat, J.; Nucci, M.R.; Nielsen, T.O.; Chow, C.; Leung, S.; Kommos, F.; Kommos, S.; Silva, A.; Ronnett, B.M.; Rabban, J.T.; Bowtell, D.D.; Weissman, B.E.; Trent, J.M.; Huntsman, D.G. Dual loss of the SWI / SNF complex ATPases SMARCA4 / BRG1 and SMARCA2 / BRM is highly sensitive and specific for small cell carcinoma of the ovary, hypercalcaemic type. *The Journal of Pathology*. 2015. 238(3). 389–400.
19. Vaskevych, A.I.; Savinchuk, N.O.; Vaskevych, R.I.; Rusanov, E.B.; Vovk, M.V. Arylsulfonyl(selenyl)chlorides in the reactions of chalcogenation/pyrrolo(pyrido) annulation of 2-(3-butenyl)quinazolin-4(3*H*)-ones. *Tetrahedron* 2022. In press.
20. Vaskevych, A.I.; Savinchuk, N.O.; Vaskevych, R.I.; Rusanov, E.B.; Grygorenko, O.O.; Vovk, M.V. PIFA-initiated oxidative cyclization of 2-(3-butenyl)quinazolin 4(3*H*)-ones – an efficient approach to 1-(hydroxymethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones. *Beilstein J. Org. Chem.* 2021. 17. 2787–2794.
21. Yakovychuk, N.D.; Deyneka, S.Y.; Grozav, A.M.; Humenna, A.V.; Popovych, V.B.; Djuiiak, V.S. Antifungal activity of 5-(2-nitrovinyl)imidazoles and their derivatives against the causative agents of vulvovaginal candidiasis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. 9(3). 369–373.
22. Некрасова, Л.С.; Свита, В.М.; Глушкевич, Т.Г. Визначення чутливості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів. Методичні вказівки МВ 9.9.5-143-2007. Київ: МОЗ України, Державна сан.-епід. служба, 2007. 79 с.
23. Волянський, Ю.Л.; Гриценко, І.С.; Ширококов, В.П. Вивчення специфічної активності протимікробних лікарських засобів: методичні рекомендації. Київ: ДФЦ МОЗ України, 2004. 38 с.

REFERENCES:

1. Mhaske, S.B.; Argade, N.P. The chemistry of recently isolated naturally occurring quinazolinone alkaloids. *Tetrahedron*. 2006. 62(42). 9787–9826 [in English].
2. Kshirsagar, U.A. Recent developments in the chemistry of quinazolinone alkaloids. *Org.Biomol.Chem.* 2015. 13(36). 9336–9352 [in English].
3. Shang, X. F.; Morris-Natschke, S. L.; Liu, Y. Q.; Guo, X.; Xu, X.S.; Goto, M.; Li, J.C.; Yang, G.Z.; Lee, K.H. Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids. Part I. *Med. Res. Rev.* 2017. 38(3). 775–828 [in English].
4. Shang, X. F.; Morris-Natschke, S. L.; Yang, G. Z.; Liu, Y. Q.; Guo, X.; Xu, X.S.; Goto, M.; Li, J.C.; Zhang, G.Z.; Lee, K. H. Biologically active quinoline and quinazoline alkaloids. Part II. *Med. Res. Rev.* 2018. 38(5). 1614–1660 [in English].
5. He, D.; Wang, M.; Zhao, S.; Shu, Y.; Zeng, H.; Xiao, C.; Lu, C.; Liu, Y. Pharmaceutical prospects of naturally occurring quinazolinone and its derivatives. *Fitoterapia*. 2017. 119. 136–149. [in English].
6. Dumitrascu, F.; Georgescu, F.; Georgescu, E.; Caira, M.R. Pyrroloquinolines, imidazoquinolines, and pyrroloquinazolines with a bridgehead nitrogen. *Advances in Heterocyclic Chemistry*. 2019. 155–244. [in English].
7. Alagarsamy, V.; Chitra, K.; Saravanan, G.; Solomon, V.R., Sulthana, M.; Narendhar, B. An overview of quinazolines: Pharmacological significance and recent developments. *Eur. J. Med. Chem.* 2018. 151. 628–685. [in English].
8. Dumitrascu, F.; Popa, M.M. Pyrrolo[1,2-*a*]quinazolines: synthesis and biological properties. *Arkivoc*. 2014. 2014(1). 428–452. [in English].
9. Bell, S.C.; Conklin, G.T. 3,3a-Dihydropyrrolo(1,2-*a*)quinazoline-1,5(2*H*,4*H*)-diones and related intermediates. *US Patent* 3707468. 1972. [in English].
10. Wolf, E.H.; Daffy, B.J. Quinazoline derivatives. *US Patent* 3883524. 1975. [in English].
11. Kazemi, S.S.; Keivanloo, A.; Nasr-Isfahani, H.; Bamoniri, A. Synthesis of novel 1,5-disubstituted pyrrolo[1,2-*a*]quinazolines and their evaluation for anti-bacterial and anti-oxidant activities. *RSC Advances*. 2016. 6(95). 92663–92669. [in English].
12. Houlihan, W. J. Method of treating bronchial asthma. *US Patent* 3743733. 1973. 13. Bernstein, J.; Spitzmiller, E.R. Pyrroloquinazoline derivatives. *US Patent* 3271400. 1966. [in English].
13. Bell, S.C., Wei, P.H.L. Pyrrolo(1,2- α)quinazoline-1,5-(2*H*,3*H*)diones. *US Patent* 3475432. 1969. [in English].
14. Krichner, F.K.; Zalay, A.W. 3-Amino-2,3-dihydro-4(1*H*)quinazolinones. *US Patent* 3843654. 1974. [in English].
15. Honda, T.; Enomoto, H.; Kawashima, K.; Takaoka, S.; Fujioka, Y.; Matsuda, M.; Ohashi, K.; Fujita, Y.; Hirai, S.-I.; Kurashima, H. Novel compound having PARP inhibitory activity *WO Patent* 2013008872/A1. 2013. [in English].
16. Sutherland, C. L.; Tallant, C.; Monteiro, O.P.; Yapp, C.; Fuchs, J.E.; Fedorov, O.; Siejka, P.; Müller, S.; Knapp, S.; Brenton, J. D.; Brennan, P. E.; Ley, S. V. Identification and development of 2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-one inhibitors targeting bromodomains within the switch/sucrose nonfermenting complex. *J. Med. Chem.* 2016. 59(10). 5095–5101. [in English].
17. Vangamudi, B.; Paul, T.A.; Shah, P.K.; Kost-Alimova, M.; Nottebaum, L.; Shi, X.; Zhan, Y.; Leo, E.; Mahadeshwar, H.S.; Protopopov, A.; Futreal, A.; Tieu, T.N.; Peoples, M.; Heffernan, T.P.; Marszalek, J.R.; Toniatti, C.; Petrocchi, A.; Verhelle, D.; Owen, D.R.; Andersen, J.N. The SMARCA2/4 ATPase domain surpasses the bromodomain as a drug target in SWI/SNF-mutant cancers: insights from cDNA rescue and PFI-3 inhibitor studies. *Cancer Research*. 2015. 75(18). 3865–3878. [in English].
18. Karnezis, A.N.; Wang, Y.; Ramos, P.; Hendricks, W.P.; Oliva, E.; D'Angelo, E.; Prat, J.; Nucci, M.R.; Nielsen, T.O.; Chow, C.; Leung, S.; Kommoss, F.; Kommoss, S.; Silva, A.; Ronnett, B.M.; Rabban, J.T.; Bowtell, D.D.; Weissman, B.E.; Trent, J.M.; Huntsman, D.G. Dual loss of the SWI / SNF complex ATPases SMARCA4 / BRG1 and SMARCA2 / BRM is highly sensitive and specific for small cell carcinoma of the ovary, hypercalcaemic type. *The Journal of Pathology*. 2015. 238(3). 389–400. [in English].
19. Vaskevych, A.I.; Savinchuk, N.O.; Vaskevych, R.I.; Rusanov, E.B.; Vovk, M.V. Arylsulfonyl(selenyl)chlorides in the reactions of chalcogenation/pyrrolo(pyrido) annulation of 2-(3-butenyl)quinazolin-4(3*H*)-ones. *Tetrahedron* 2022. In press. [in English].
20. Vaskevych, A.I.; Savinchuk, N.O.; Vaskevych, R.I.; Rusanov, E.B.; Grygorenko, O.O.; Vovk, M.V. PIFA-initiated oxidative cyclization of 2-(3-butenyl)quinazolin 4(3*H*)-ones – an efficient approach to 1-(hydroxymethyl)-2,3-dihydropyrrolo[1,2-*a*]quinazolin-5(1*H*)-ones. *Beilstein J. Org. Chem.* 2021. 17. 2787–2794.
21. Yakovychuk, N.D.; Deyneka, S.Y.; Grozav, A.M.; Humenna, A.V.; Popovych, V.B.; Djuiariak, V.S. Antifungal activity of 5-(2-nitrovinyl)imidazoles and their derivatives against the causative agents of vulvovaginal candidiasis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. 9(3). 369-373. [in English].
22. Nekrasova, L.S.; Suite, V.M.; Glushkevich, T.G. (2007). *Vy`znachennya chutly`vosti mikro-organizmiv do anty`bakterial`ny`x preparativ. Metody`chni v`kazivky` MV 9.9.5-143-2007 [Determination of sensitivity of microorganisms to antibacterial drugs. Methodical instructions MV 9.9.5-143-2007].*

УДК 547.78+547.789

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-9>

Наталія СИРОТА

інженер відділу механізмів органічних реакцій, Інститут органічної хімії Національної академії наук України, вул. Мурманська, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0001-8275-7514

Сергій КЕМСЬКИЙ

кандидат хімічних наук, науковий співробітник відділу механізмів органічних реакцій, Інститут органічної хімії Національної академії наук України, вул. Мурманська, 5, м. Київ, Україна, 02660

ORCID: 0000-0003-4313-0991

Ніна ЯКОВИЧУК

кандидат медичних наук, доцент кафедри мікробіології, Буковинський державний медичний університет, пл. Театральна, 2, м. Чернівці, Україна, 57000

ORCID: 0000-0003-1332-9510

Аліна ГРОЗАВ

кандидат хімічних наук, доцент кафедри медичної та фармацевтичної хімії, Буковинський державний медичний університет, пл. Театральна, 2, м. Чернівці, Україна, 57000

ORCID: 0000-0001-9821-0695

Леся САЛІЄВА

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Наталія СЛИВКА

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Михайло БОВК

доктор хімічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук України, завідувач відділу 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: Сирота, Н., Кемський, С., Яковичук, Н., Грозав, А., Салієва, Л., Сливка, Н., Вовк, М. (2022). Оцінка протимікробної активності 5-гідрокси(сульфаніл)[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 64–70, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-9>

ОЦІНКА ПРОТИМІКРОБНОЇ АКТИВНОСТІ 5-ГІДРОКСИ(СУЛЬФАНІЛ)[1,2,3]ТРИАЗОЛО[4,5-*e*][1,4]ДІАЗЕПІНІВ

*В короткій літературній довідці статті зацентована увага на серйозній небезпеці інфекційних хвороб, які приводять до високої захворюваності і смертності. Відзначено, що поява резистентності бактеріальних патогенів до старих і нових антибіотиків викликала в останні десятиліття потребу в нових типах антибактеріальних агентів. Саме тому як нові об'єкти для дослідження протимікробної дії були використані функціонально заміщені триазолодіазепінові системи – 5-гідрокси[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепіни, рані-*

ше синтезовані авторами внутрішньомолекулярною циклоконденсацією 5-аміно-*N*-(2,2-диметоксиетил)-1*H*-1,2,3-триазоло-4-карбоксамідів у мурашиній кислоті та їх 5-сульфанілпохідні, отримані із 5-гідроксипохідних дією *S*-нуклеофілів. Отримані результати біоскринінгу похідних 5-гідрокси-[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів показують, що вони виявляють помірну протибактеріальну активність (мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) становила 31.25-125 мкг/мл) та помірну протигрибкову дію (МІК становила 31.25-62.5 мкг/мл). В той же час активність по відношенню до тест-штамів бактерій *Staphylococcus aureus* та *Bacillus cereus* для дослідженої серії сполук не є вибірковою МІК = 125 мкг/мл (*Staphylococcus aureus*) та МІК = 62.5 мкг/мл (*Bacillus cereus*). 5-Сульфанилзаміщені [1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепіни проявляють бактеріостатичну дію в діапазоні концентрації 31.25-125 мкг/мл та фунгістатичний ефект із МІК = 31.25 мкг/мл. Відносно їх активності до тест-штамів бактерій *Bacillus cereus* та грибків *Candida albicans* і *Aspergillus niger* K9, то вона не є вибірковою, мінімальна інгібуюча концентрація становить 31.25 мкг/мл для всіх трьох типів вказаних мікробів. Натомість по відношенню до тест-штамів *Staphylococcus aureus* та *Escherichia coli* 25922 на особливу увагу заслуговують сполуки із фрагментом тіоалкілкарбонових кислот, які проявляють на порядок вищу активність, ніж їхні аналоги з досліджуваної серії.

Ключові слова: 5-аміно-*N*-(2,2-диметоксиетил)-1*H*-1,2,3-триазоло-4-карбоксаміди, 5-гідрокси(сульфаніл) [1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепіни, *S*-нуклеофіли, біоскринінг, протибактеріальна активність, фунгістатичний ефект, мінімальна інгібуюча концентрація.

Nataliia SYROTA

Engineer of the Department of Mechanisms of Organic Reactions, Institute of Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Murmanska str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0001-8275-7514

Serhiy KEMSKIY

Candidate of Chemistry Sciences, Researcher of the Department of Mechanisms of Organic Reactions, Institute of Organic Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine, 5 Murmanska str., Kyiv, Ukraine, 02660

ORCID: 0000-0003-4313-0991

Nina YAKOVYCHUK

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Microbiology, Bukovinian State Medical University, 2 Teatralna Square, Chernivtsi, Ukraine, 58000

ORCID: 0000-0003-1332-9510

Alina GROZAV

Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor of the Department of Medical and Pharmaceutical Chemistry, Bukovinian State Medical University, 2 Teatralna Square, Chernivtsi, Ukraine, 58000

ORCID: 0000-0003-1332-9510

Lesya SALIYEVA

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

ORCID: 0000-0002-1047-8652

Nataliia SLYVKA

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

ORCID: 0000-0002-3811-7138

Mykhailo VOVK

Doctor of Chemistry, Professor, Corresponding Member of 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: Syrota, N., Kemskyi, S., Yakovychuk, N., Grozav, N., Saliyeva, L., Slyvka, N., Vovk, M. (2022) Otsinka protymikrobnoyi aktyvnosti 5-hidroksy(sulfanyl) [1,2,3]triazolo[4,5-*e*][1,4]diazepiniv [Evaluation of the antimicrobial activity of 5-hydroxy(sulfanyl) [1,2,3]triazolo[4,5-*e*][1,4]diazepines]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 64–70, doi : <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-9>

EVALUATION OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF 5-HYDROXY(SULFANYL) [1,2,3]TRIAZOLO[4,5-*e*][1,4]DIAZEPINES

*A short literary summary of the article focuses on the grave danger of infectious diseases, which lead to high morbidity and mortality. It is noted that the emergence of resistance of bacterial pathogens to old and new antibiotics has led to the need for new types of antibacterial agents in the last decade. That is why 5-hydroxy[1,2,3]triazolo[4,5-*e*][1,4]diazepines were used as new objects for investigation of antimicrobial action, were previously synthesized by the authors by intramolecular cyclocondensation of 5-amino-*N*-(2,2-dimethoxyethyl)-1*H*-1,2,3-triazolo-4-carboxamide in muric acid and their 5-sulfanyl derivatives obtained from 5-hydroxy derivatives action by *S*-nucleophiles. The results of bioscreening of 5-hydroxy[1,2,3]triazolo[4,5-*e*][1,4]diazepines derivatives show that they exhibit moderate antimicrobial activity (minimum inhibitory concentration (MIC) was 31.25-125 mcg/ml) and moderate antifungal activity (MIC was 31.25-62.5 mcg/ml). At the same time, the activity in relation to test strains of bacteria *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* for the tested series of spores is not selective: MIK = 125 µg/ml (*Staphylococcus aureus*) and MIK = 62.5 µg/ml (*Bacillus cereus*). 5-Sulfanylsubstituted [1,2,3]triazolo[4,5-*e*][1,4]diazepines exhibit bacteriostatic activity in the concentration range of 31.25-125 µg/ml and fungistatic effect at MIK = 31.25 µg/ml. Regarding their activity to test strains of bacteria *Bacillus cereus* and fungi *Candida albicans* and *Aspergillus niger* K9, it is not selective, the minimum inhibitory concentration is 31.25 µg/ml for all three types of these microbes. In relation to *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* 25922 test strains, the spores with the thioalkylcarboxylic acid fragment deserve special attention as they exhibit an order of magnitude higher activity than their analogues of the studied series.*

Key words: 5-amino-*N*-(2,2-dimethoxyethyl)-1*H*-1,2,3-triazolo-4-carboxamides, 5-hydroxy(sulfanyl) [1,2,3]triazolo[4,5-*e*][1,4]diazepines, *S*-nucleophiles, bioscreening, antibacterial activity, fungistatic effect, minimum inhibitory concentration.

Інфекційні хвороби, викликані бактеріальними патогенами, є серйозною небезпекою для людства, оскільки приводять до високої захворюваності і смертності у всьому світі (Moore, Carter, Bronstrup, 2017). Їх лікування залишається важливою і складною проблемою, яка набуває особливого значення для пацієнтів із пригніченим імунітетом, хворих на СНІД та тих, які проходять протиракову та трансплантаційну терапію. Не дивлячись на те, що значна кількість антибіотиків та хіміотерапевтичних препаратів є доступними для медичного використання, поява стійкості до старих і нових антибіотиків викликала в останні десятиліття суттєву потребу в нових типах антибактеріальних агентів. Перспективним підходом до розв'язання проблеми резистентності є розроблення інноваційних агентів з іншим способом дії, щоб таким чином не виникала перехресна резистентність із існуючими препаратами (Drapak et al., 2020). В контексті сказаного особливу цікавість виявляють гетероциклічні сполуки, які є одними із найцінніших джерел нових хімічних речовин із різноманітною біологічною дією, завдяки унікальній здатності імітувати структуру пептидів та оборотно зв'язуватись з різними біомішенями (Piggott, Karuso, 2004). В ролі нового типу об'єктів для дослідження протимікробної

дії були використані нещодавно (Кемський и др., 2018) синтезовані нами перші представники функціонально заміщених триазолодіазепінових систем – 5-гідрокси[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепіни **1a-m** та їх 5-сульфанілзаміщені аналоги – **2a-e**. Вагомою підставою для вибору саме такого типу конденсованих гетероциклічних структур став виражений фармакологічний профіль як 1,2,3-триазольного циклу (Dhall et al., 2018), так і 1,4-діазепінового ядра (Roshid et al., 2019). Можна було очікувати, що поєднання в одній молекулярній платформі таких двох фармакофорних фрагментів буде сприяти прояву нових типів біоактивності.

Для одержання 5-гідроксипохідних **1a-m** придатною виявилась ефективна схема внутрішньомолекулярної циклоконденсації 5-аміно-*N*-(2,2-диметоксиетил)-1*H*-1,2,3-триазоло-4-карбоксамідів у мурашиній кислоті, а для 5-сульфанілзаміщених **2a-e** – послідовна дія на 5-гідроксипохідні **1a-e** *S*-нуклеофільних реагентів.

Скринінг протибактеріальної та протигрибової активності проводили мікрометодом дворазових серійних розведень (Crowley, Gallagher, 2014) у рідкому живильному середовищі згідно з діючими рекомендаціями щодо визначення

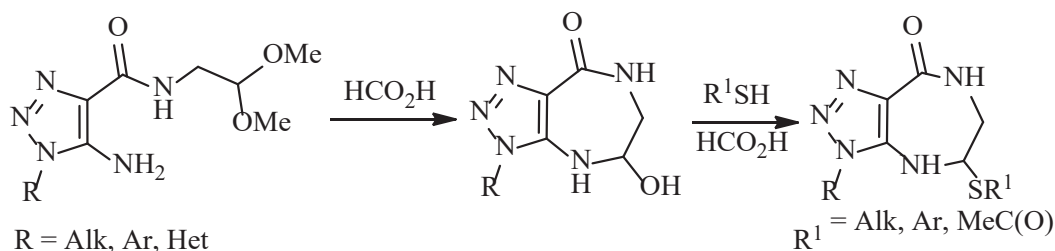


Схема 1. Загальна схема синтезу 5-гідрокси(сульфаніл)[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів

чутливостей мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів (Yakovychuk et al., 2019; Некрасова, Свита, Глушкевич та ін, 2007). Мінімальні інгібуючі концентрації 5-гідроксизаміщених **1a-m** та 5-сульфанілфункціоналізованих **2a-e** [1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів визначали щодо референс-штамів бактерій (*Staphylococcus aureus* 25923, *Escherichia coli* 25922, *Bacillus cereus* ATCC 10702) та грибів (*Candida albicans* ATCC 885/653, *Aspergillus niger* K9). Як контроль використовували відомий протимікробний препарат «Клотримазол» (Волянський, Гриценко, Ширококов та ін., 2004), а як розчинник – диметилсульфоксид (ДМСО).

Отримані результати біоскринінгу похідних 5-гідрокси-[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів **1a-m** (рис.1) свідчать, що вони виявляють помірну протибактеріальну активність (мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) становила

31.25-125 мкг/мл) та помірну протигрибкову дію (МІК становила 31.25-62.5 мкг/мл) (табл. 1).

Що стосується активності по відношенню до тест-штамів бактерій *Staphylococcus aureus* та *Bacillus cereus* то можна побачити, що вона для цілої серії сполук **1a-m** не є вибірковою: МІК = 125 мкг/мл (*Staphylococcus aureus*) та МІК = 62.5 мкг/мл (*Bacillus cereus*). Такі результати, найвірогідніше, пов'язані з тим, що основний вклад в прояв бактериостатичної активності привносить саме [1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]-діазепіновий скафолд. Аналогічна ситуація має місце і у випадку фунгіцидної дії відносно грибка *Aspergillus niger*: МІК = 31.25 мкг/мл. При дослідженні протибактеріальних властивостей відносно *Escherichia coli* найактивнішими виявилися 5-гідрокситриазолодіазепіни **1e,f,g** (МІК = 31.25 мкг/мл), проти МІК = 62.5 мкг/мл для інших сполук серії.

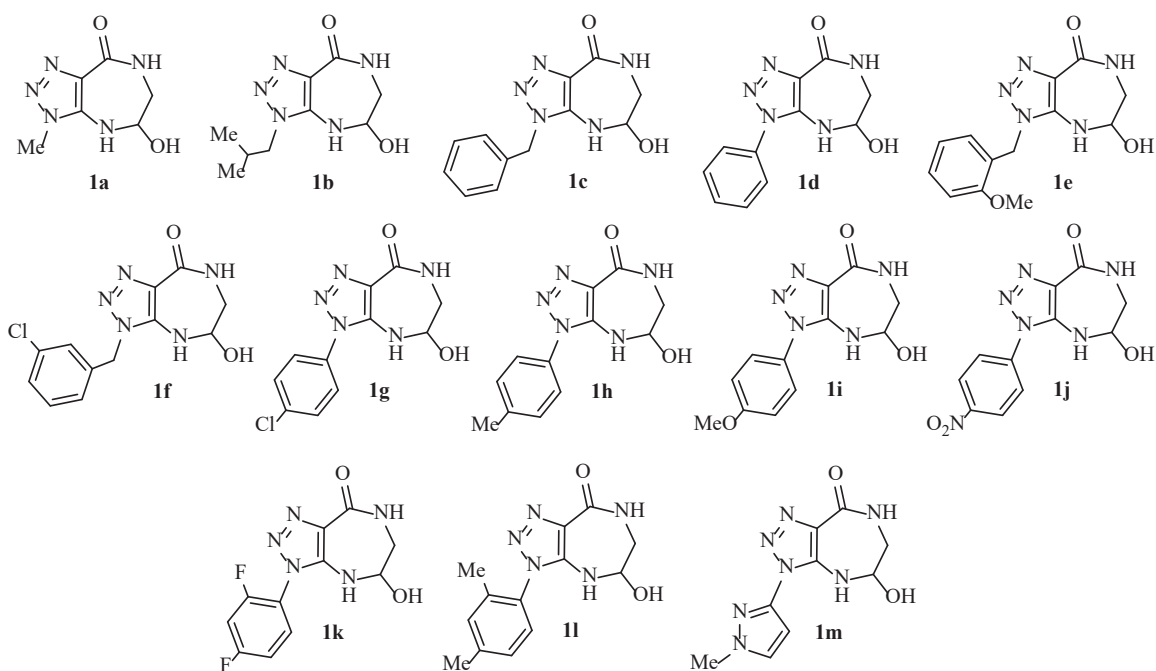


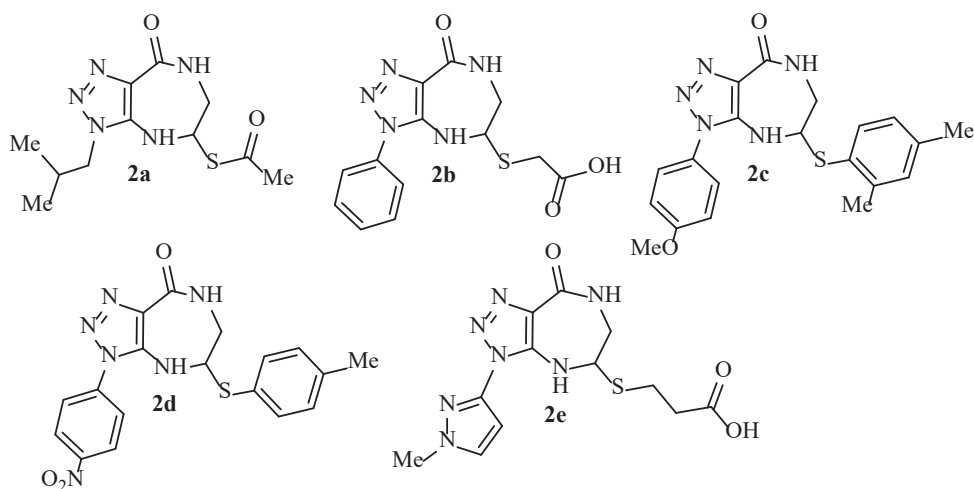
Рис. 1. Приклади тестованих 5-гідрокси[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів **1a-m**

Протимікробна активність 5-гідрокси-[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів 1a-m

№	<i>Staphylococcus aureus</i> 25923	<i>Escherichia coli</i> 25922	<i>Bacillus cereus</i> 10702	<i>Candida albicans</i> ATCC 885/653	<i>Aspergillus niger</i> K9
	МІК (мкг/мл)				
1a	125	62.5	62.5	31.25	31.25
1b	125	62.5	62.5	31.25	31.25
1c	125	62,5	62.5	62.5	31.25
1d	125	62.5	62.5	31.25	31.25
1e	125	31.25	62.5	62.5	31.25
1f	125	31.25	62.5	62.5	31.25
1g	125	31.25	62.5	31.25	31.25
1h	125	62.5	62.5	31.25	31.25
1i	125	62,5	62.5	31.25	31.25
1j	125	62.5	62.5	31.25	31.25
1k	125	62.5	62.5	31.25	31.25
1l	125	62.5	62.5	31.25	31.25
1m	125	62.5	62.5	31.25	31.25
DMSO*	+	+	+	+	+
K**	7.8	3.9	3.9	7.8	0.9

* спостерігається ріст бактерії

** як контроль використовували препарат «Клотримазол» виробництва ЗАТ НВЦ «Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод»

Рис. 2. Приклади тестованих 5-сульфаніл[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів 2a-e

Біоскринінговими дослідженнями похідних 5-сульфанілзаміщених [1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів **2a-e** встановлено, що вони проявляють бактериостатичну дію в діапазоні концентрацій 31.25-125 мкг/мл та фунгістатичний ефект із МІК = 31.25 мкг/мл (табл. 2). Відносно активності до тест-штамів бактерій *Bacillus cereus* та грибків *Candida albicans* і *Aspergillus niger* K9, то можна побачити, що вона для цілої серії сполук **2a-e**, аналогічно до 5-гідрокси-заміщених похідних **1a-m**, не є вибірковою,

мінімальна інгібуюча концентрація становить 31.25 мкг/мл для всіх трьох типів вказаних мікробів. У випадку ж тестування 5-сульфанілзаміщених похідних по відношенню до тест-штамів *Staphylococcus aureus* та *Escherichia coli* 25922, то на особливу увагу заслуговують сполуки, які містять у 5-ому положенні фрагмент тіоалкілкарбонових кислот **2b,e**, що проявляють на порядок вищу активність, ніж їхні тіоаналоги з досліджуваної серії **2a,c,d**.

ЛІТЕРАТУРА:

Протимікробна активність 5-сульфанілзаміщених[1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінів 2а-е.

№	<i>Staphylococcus aureus</i> 25923	<i>Escherichia coli</i> 25922	<i>Bacillus cereus</i> 10702	<i>Candida albicans</i> ATCC 885/653	<i>Aspergillus niger</i> K9
	МІК (мкг/мл)				
2a	125	62.5	31.25	31.25	31.25
2b	62.5	31.25	31.25	31.25	31.25
2c	125	62.5	31.25	31.25	31.25
2d	125	62.5	31.25	31.25	31.25
2e	62.5	31.25	31.25	31.25	31.25
DMSO*	+	+	+	+	+
K**	7.8	3.9	3.9	7.8	0.9

* спостерігається ріст бактерії

** як контроль використовували препарат «Клотримазол» виробництва ЗАТ НВЦ «Борцагієвський хіміко-фармацевтичний завод»

1. Moore B.S., Carter G.T., Bronstup M. Editorial: Are natural products the solution to antimicrobial resistance? *Nat. Prod. Rep.* 2017. № 34. P. 685–686.
2. Drapak I.V. et al. Synthesis and antimicrobial activity of 5-R-benzyl-2-(arylidenehydrazono)thiazolidin-4-ones. *Biopolimers and Cell.* 2020. № 36 (6). P. 457–465.
3. Piggott A.M., Karuso P. Quality, not quantity: the role of natural products and chemical proteomics in modern drug. *Comb. Chem. High Throughput Screen.* 2004. № 7 (7). P. 607–630.
4. Синтез 5-гідрокси- и 5-сульфанілзаміщених [1,2,3]триазоло[4,5-*e*][1,4]діазепінов / С.В. Кемський и др. *Хімія гетероцикл. соед.* 2018. № 54 (8). С. 789–795.
5. Dhall E. et al. Synthesis of Triazole Derivatives Manifesting Antimicrobial and Anti-Tubercular Activities. *Mini-Review in Organic Chemistry.* 2018. № 15. P. 291–314.
6. Roshid M.A. et al. 1,4-Diazepines: A Review on Synthesis, Reactions and Biological Significance. *Curr. Org. Synt.* 2019. № 16 (5). P. 709–729.
7. Crowley P.D., Gallagher H.C. Clotrimazole as a pharmaceutical: past, present and future. *J. Appl. Microbiol.* 2014. № 117 (3). P. 611–617.
8. Yakovychuk N.D. et al. Antifungal activity of 5-(2-nitrovinyl)imidazoles and their derivatives against the causative agents of vulvovaginal candidiasis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems.* 2018. № 9 (3). P. 369–373.
9. Некрасова Л.С., Світа В.М., Глушкевич Т.Г. та ін. Визначення чутливості мікроорганізмів до антибактеріальних препаратів. Методичні вказівки МВ 9.9.5-143-200. Київ : МОЗ України, Державна сан.-епід. служба., 2007. 79 с.
10. Волянський Ю.Л., Гриценко І.С., Ширококов В.П. та ін.. Вивчення специфічної активності протимікробних лікарських засобів: метод. рек. Київ : ДФЦ МОЗ України, 2004. 38 с.

REFERENCES:

1. Moore B.S., Carter G.T., Bronstup M. (2017) Editorial: Are natural products the solution to antimicrobial resistance? *Nat. Prod. Rep.* No. 34. P. 685-686. [in English].
2. Drapak I.V. et al. (2020) Synthesis and antimicrobial activity of 5-R-benzyl-2-(arylidenehydrazono)thiazolidin-4-ones. *Biopolimers and Cell.* No. 36 (6). P. 457-465. [in English].
3. Piggott A.M., Karuso P. (2004) Quality, not quantity: the role of natural products and chemical proteomics in modern drug. *Comb. Chem. High Throughput Screen.* No. 7 (7). P. 607-630. [in English].
4. Kemsii S. et al. (2018) Synthesis 5-hydroxy- and 5-sulfanyl substituted [1,2,3]triazolo[4,5-*e*][1,4]diazepines. *Chem. Heterocycl. Compd.* No. 54 (8). P. 789-795. [in English].
5. Dhall E. et al. (2018) Synthesis of Triazole Derivatives Manifesting Antimicrobial and Anti-Tubercular Activities. *Mini-Review in Organic Chemistry.* No. 15. P. 291-314. [in English].
6. Roshid M.A. et al. (2019). 1,4-Diazepines: A Review on Synthesis, Reactions and Biological Significance. *Curr. Org. Synt.* No. 16 (5). P. 709-729. [in English].
7. Crowley P.D., Gallagher H.C. (2014) Clotrimazole as a pharmaceutical: past, present and future. *J. Appl. Microbiol.* No. 117 (3). P. 611-617. [in English].
8. Yakovychuk N.D. et al. (2018) Antifungal activity of 5-(2-nitrovinyl)imidazoles and their derivatives against the

causative agents of vulvovaginal candidiasis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. No. 9 (3). P. 369-373. [in English].

9. Nekrasova L.S., Svyta V.M., Hlushkevych T.H. at al. (2007). Vyznachennia chutlyvosti mikroorganizmiv do antybioseval'nykh preparativ. Metodichni vkazivky MV 9.9.5-143-2007 [Determination of sensitivity of microorganisms to antibacterial drugs. Methodical instructions MV 9.9.5-143-2007]. Kyiv: MOZ Ukrainy, Derzhvna san.-epid. sluzhba. [in Ukrainian].

10. Volianskyi Iu.L., Hrytsenko I.S., Shyrokobokov V.P. at al. (2004). Vyvchennia spetsyfychnoi actyvnosti protymicrobnykh likars'kykh zasobiv [Study of the specific activity of antimicrobial drugs]. Kyiv : DFTS MOZ Ukraine [in Ukrainian].

УДК 543.3: 504.064

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-10>

Олена СТАДНІЧУК

кандидат хімічних наук, науковий співробітник науково-дослідної лабораторії (аналізу і прогнозування надзвичайних ситуацій), Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, вул. Героїв Майдану 32, м. Львів, Україна, 29026

ORCID: 0000-0002-9710-9015

Scopus Author ID: 9134184100

Лілія КРОПИВНИЦЬКА

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біології та хімії, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Івана Франка, 24, м. Дрогобич, Львівська область, Україна, 82100

ORCID: 0000-0002-4419-3727

Людмила КУЧЕР

кандидат економічних наук, доцент, старший викладач кафедри управління повсякденною діяльністю військ та тилового забезпечення, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, вул. Героїв Майдану 32, м. Львів, Львівська область, Україна, 29026

ORCID: 0000-0002-9592-7153

Бібліографічний опис статті: Стаднічук, О., Кропивницька, Л., Кучер, Л. (2022). Забруднення децентралізованих джерел питної води нітратами та оцінка ризику для здоров'я населення. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 71–80, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-10>

ЗАБРУДНЕННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ПИТНОЇ ВОДИ НІТРАТАМИ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

Подвоєння швидкості осідання нітрогену на землі, збільшення нітратного забруднення питної води та збільшення ризику виникнення певних захворювань при цьому є актуальним питанням для людства. Метою дослідження було визначення якості питної води децентралізованого водопостачання впродовж 2018-2021 років на території Волочиської МТГ, Війтівецької ОТГ та Наркевицької ОТГ Хмельницького району Хмельницької області та встановлення можливого ризику виникнення різних захворювань в умовах постійного зростання антропогенного навантаження. Використовувались польові, лабораторно-аналітичні та статистичні методи. Проведений аналіз якості децентралізованого водопостачання води впродовж 2018-2021 років з 297 точок відбору, що знаходяться на території Волочиської МТГ, Війтівецької ОТГ та Наркевицької ОТГ Хмельницького району Хмельницької області встановив, що більшість гідрохімічних показників мають допустимі значення. Винятком були поодинокі перевищення нітритів та йонів амонію. Крім того, усі зразки за твердістю відповідають твердому (35%) та дуже твердому (65%) типу природної води, що перевищує допустимі встановлені норми. Майже у 33% проб зафіксовано відхилення від нормативних значень за вмістом нітратів. У селах Криваченці, Гайдайки, Писарівка Війтівецької ОТГ, Ріпна, Поляни, Тарноруда, Канівка, Липівка, Гонорівка, Великі Жеребки Волочиської МТГ, Бубнівка Наркевицької ОТГ виявлено перевищення нітратів було у 1,3÷3,2 рази. Не рекомендується вживати воду з криниць, розташованих в освітніх закладах сіл Авратин, Лозова (Волочиська МТГ), Писарівка, Криваченці (Війтівецька ОТГ), Бубнівка, Дзеленці (Наркевицька ОТГ), оскільки вміст нітратів становить 59÷184 мг/м³. За усередненим значенням ІЗВ досліджувані проби належать до 3 класу (ІЗВ=1,2), а за усередненим значенням по нітратній групі – 7,1, що відповідає 6 класу. У десяти селах питна вода за нітратною групою відноситься до 7 класу. Коефіцієнт небезпеки можливого виникнення певних захворювань спричинених підвищеним вмістом нітратів становить 1,1÷4,6, що відповідає середньому рівню небезпеки. Коефіцієнт ризику для неповнолітніх є більший (0,6÷4,6), ніж для дорослого населення (0,03÷3,0). Вживання води з підвищеним вмістом нітратів небезпечно використовувати для господарських потреб, оскільки тривале споживання може привести до патологічних змін в організмі людини, а у дітей може викликати безсимптомну метгемоглобінемію.

Ключові слова: нітрати, децентралізоване водопостачання, якість води, оцінка ризику захворювання.

Olena STADNICHUK

Candidate of Chemical Sciences, Research Fellow at the Research Laboratory (Analysis and Forecasting of Emergencies), Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, 32 Heroiv Maidan str., Lviv, Ukraine, 29026

ORCID: 0000-0002-9710-9015

Scopus Author ID: 9134184100

Lilia KROPYVNYTSKA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Biology and Chemistry, Ivan Franko Drohobych State Pedagogical University, 24 Ivana Franka str., Drohobych, Lviv region, Ukraine, 82100

ORCID: 0000-0002-4419-3727

Liudmyla KUCHER

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Management of Routine Military Activities and Logistics, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, vul. Heroiv Maidan 32, Lviv, Lviv region, Ukraine, 29026

ORCID: 0000-0002-9592-7153

To cite this article: Stadnichuk, O., Kropyvnytska, L., Kucher, L. (2022). Zabrudnennia detsentralizovanykh dzherel pytnoi vody nitratamy ta otsinka ryzyku dlia zdorov'ia naselennia [Contamination of decentralized drinking water sources and risk assessment of public health]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 71–80, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-10>

CONTAMINATION OF DECENTRALIZED DRINKING WATER SOURCES WITH NITRATES AND RISK ASSESSMENT OF POPULATION HEALTH

Doubling the rate of nitrogen deposition on the ground, increasing nitrate pollution of drinking water and increasing the risk of certain diseases is an urgent issue for humanity. The aim of the study was to determine the quality of drinking water of decentralized water supply during 2018-2021 in Volochysk MTG, Viitivets OTG and Narkevytsya OTG Khmelnytsky district of Khmelnytsky region and to establish the possible risk of various diseases in a constantly growing anthropogenic load. Field, laboratory-analytical and statistical methods were used. The analysis of the quality of decentralized water supply during 2018-2021 from 297 sampling points located on the territory of Volochysk MTG, Viitivets OTG and Narkevichy OTG of Khmelnytsky district of Khmelnytsky region found that most hydrochemical indicators are acceptable. Exceptions were isolated excesses of nitrites and ammonium ions. In addition, all samples of hardness correspond to solid (35%) and very hard (65%) type of natural water, which exceeds the permissible standards. Deviations from the normative values for nitrate content were recorded in almost 33% of samples. In the villages of Kryvachentsi, Haidayky, Pisarivka of Viitivetska OTG, Ripna, Polyana, Tarnoruda, Kanivka, Lypivka, Honorivka, Velyki Zhrebky of Volochyska MTG, Bubnivka of Naprkevytska OTG, the excess of nitrates was 1.3÷3.2 times. It is not recommended to use water from wells located in educational institutions of Avratyn, Lozova (Volochyska MTG), Pisarivka, Kryvachentsi (Viitivetska OTG), Bubnivka, Dzelentsi (Narkevytska OTG) villages, as the nitrate content is $59 \div 184 \text{ mg/m}^3$. According to the average value of IBD, the studied samples belong to the 3rd class ($IR = 1.2$), and according to the average value for the nitrate group – 7.1, which corresponds to the 6th class. In ten villages drinking water by nitrate group belongs to the 7th class. The risk factor for the possible occurrence of certain diseases caused by high nitrate content is 1.1÷4.6, which corresponds to the average level of danger. The risk factor for minors is higher (0.6÷4.6) than for adults (0.03÷3.0). Drinking water high in nitrates is dangerous to use for household purposes, as prolonged consumption can lead to pathological changes in the human body, and in children can cause asymptomatic methemoglobinemia.

Key words: nitrates, decentralized water supply, water quality, disease risk assessment.

Актуальність проблеми: За минуле століття людство подвоїло природну швидкість осідання Нітрогену на землі через виробництва та внесення нітратних добрив, спалювання викопного палива та заміни природної рослинності нітрогенфіксуєчими культурами

(соєю, ріпаком тощо) (Vitousek, Aber & Tilman, 1997). Вагомою загрозою на сьогодні не лише в Україні, а й в усьому світі є нітратне забруднення довкілля, де нітратні добрива є основним антропогенним джерелом нітрогену. Найбільше внесення синтетичних добрив

у сільськогосподарські угіддя відбулося після 1980 року (Howarth, 2008). Неконтрольоване використання добрив і пестицидів сприяє накопиченню надмірної кількості нітрогену, який одночасно є і важливим поживним елементом для всіх живих організмів, і причиною багатьох проблем, що впливають на якість довкілля та здоров'я людини. Нітрати є сильними окиснювачами та типовими ксенобіотиками і, потрапляючи в живі організми, вступають в метаболічні процеси, спричинюючи тканинну гіпоксію та окисний стрес (Кабакова, Шульгай & Шульгай, 2017; Brender, Weyer & Canfield, 2013; Ward, Jones & van Breda, 2018).

Майже половина всього внесеного Нітрогену стікає з сільськогосподарських полів і забруднює поверхневі та підземні води, і як наслідок, концентрація нітратів у водних ресурсах зростає (ЕЕА, 2018; Yu, Wang, & Wang, 2020). Рекомендований ВООЗ, США та країнами Євросоюзу максимальний рівень для нітратів у комунальних (централізованих) системах постачання питної води становить 45-50 мг/дм³ (Sutton, Howard & Erismanetal, 2011; ЕЕА, 2018). Для зменшення або запобігання забрудненню нітратами від сільського господарства у Європі була створена Директива про нітрати (CD 91/676/ЕЕС, 1991). Території, які найбільше постраждали від забруднення нітратами, позначаються як «зони, уразливі до нітратів» і підпадають під дію обов'язкових Кодексів належної сільськогосподарської практики. Кожні чотири роки держави Європейського Союзу звітують про результати впровадження Директиви (CD 91/676/ЕЕС, 1991). Впродовж 1992-2012 рр. спостерігається стабільний середній рівень вмісту нітратів у підземних водах багатьох європейських країн (~17,5 мг/дм³): найнижчі середні концентрації характерні для Фінляндії (~1 мг/дм³) і найвищі на Мальті (~58,1 мг/дм³). Моніторинг річок Європи показує постійне зниження середньорічних концентрацій нітратів з 11,96 мг/дм³ у 1992 році до 9,3 мг/дм³ у 2012 році: найнижчі значення в Норвегії (0,88 мг/дм³) і найвищі у Греції (29,2 мг/дм³) (ЕЕА, 2018).

Доведено, що вживання питної води з високим рівнем нітратів впродовж першого триместру вагітності корелюється із вродженими вадами у новонароджених (Brender, Weyer & Canfield, 2013) та безпосередньо пов'язана

з метгемоглобінемією (Кабакова, Шульгай & Шульгай, 2017; Knobeloch, Salna & Anderson, 2000). Очевидно, що визначення якості води, зокрема підземної як основного джерела децентралізованого водопостачання, в умовах постійного зростання антропогенного навантаження та оцінка можливого ризику виникнення різних захворювань є доволі актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій:

Питання якості децентралізованих джерел питної води малих міст, селищ та сіл активно досліджуються як вітчизняними (Гловин, Павлів, 2018; Коткова, Федючка & Карась, 2018; Stadnichuk, Kropyvnytska & Kucher, 2019) так і зарубіжними науковцями (Howarth, 2008; Brender, Weyer & Canfield, 2013; Yu, Wang, & Wang, 2020). Окрім того, постійно вивчаються шляхи надходження окремих забруднювачів, зокрема нітратів, вплив на здоров'я людини та ризик виникнення певних захворювань (Vitousek, Aber & Tilman, 1997; Knobeloch, Salna & Anderson, 2000; Лотоцька, Кондратюк & Кучер, 2019; Ward, Jones & van Breda, 2018).

Загалом, децентралізоване водопостачання є основним джерелом питної води, що наповнюються підземними водами, для сільської місцевості багатьох країн. Зазвичай, ці джерела додатково не очищуються і можуть слугувати основою накопичення нітратів. Забруднення може бути точковим (промислове забруднення чи інтенсивне тваринництво) або множинним (використання добрив, фунгіцидів, опади тощо) (Валерко, Герасимчук, 2020; Sutton, Howard & Erismanetal, 2011). Кількість внесених добрив позитивно корелює з концентрацією нітратів у підземних водах (Валерко, Герасимчук, 2020; Sutton, Howard & Erismanetal, 2011; ЕЕА, 2021), а надмірне використання підвищує ризик забруднення питної води, що негативно впливає на здоров'я людей та довкілля (Brender, Weyer & Canfield, 2013; Ward, Jones & van Breda, 2018).

У Хмельницькій області основним забруднювачем довкілля є добре розвинений агропромисловий комплекс і лише третина населення області користується водою з централізованих водогонів, що на 100% забезпечується за рахунок експлуатації підземних джерел. Решта населення в зоні ризику, оскільки майже половина з обстежених джерел децентралізованого водопостачання є забрудненими (ХОЛЦ МОЗ

України). На території колишнього Волочиського району розмістились три об'єднані територіальні громади: Волочиська міська територіальна громада (Волочиська МТГ), Війтівецька об'єднана територіальна громада (Війтівецька ОТГ) та Наркевицька селищна об'єднана територіальна громада (Наркевицька СОТГ) Хмельницького району. Децентралізоване водопостачання є основним джерелом питної води на досліджуваних територіях (≈85%) (централізоване водогін та водовідведення є лише у м. Волочиськ) (Волочиське КП ВКГ «Джерело»), сільськогосподарські угіддя займають до 75,9% території.

Щорічні дослідження проб води з громадських криниць вказують на підвищений рівень бактеріального забруднення (до 39%), невідповідність води за фізико-хімічними показниками (до 30%) та стабільно високий відсоток вміст нітратів (майже 39,1%) (ХОЛЦ МОЗ України). Тривожним є і те, що в окремих районах зафіксоване перевищення за нітратами до 6 разів у садибах, де мешкають діти до трьох років (до 58%) (Волочиське КП ВКГ «Джерело»).

Мета дослідження: визначення забруднення питної води децентралізованого водопостачання впродовж 2018-2021 років на території Волочиської МТГ, Війтівецької ОТГ та Наркевицької ОТГ Хмельницького району Хмельницької області та встановлення можливого ризику виникнення різних захворювань в умовах постійного зростання антропогенного навантаження.

Виклад основного матеріалу: Для дослідження використовували зразки децентралізованих джерел водопостачання, а саме води відібрані з криниць на глибині 10-60 м впродовж 2018-2021 років на територіях, що піддаються антропогенному впливу, головно агробізнесу. Усі об'єкти дослідження за місцем відбору проб розділили на три групи: перша група – м. Волочиськ у якому 25% населення використовує воду із приватних криниць (91 точка відбору проб), друга група – 35 населених пункти району (161 точка відбору проб), третя група – освітні заклади району (школи, дитячі садочки), які знаходяться у 19 селах (45 точок відбору проб) (школи м. Волочиськ підключені до центрального водогону).

Для визначення вмісту гідрохімічних компонентів у зразках використовували польовий

(відбір проб, транспортування) та лабораторний методи. Зберігання та аналітичні дослідження відібраних зразків здійснювали в лабораторії Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка за загальноприйнятими методиками, що відповідають державним стандартам України.

Клас якості води, стану водного середовища і рівня антропогенного навантаження визначали за індексом забрудненості води (ІЗВ) (Коткова Федючка & Карась, 2018; Stadnichuk Kropyvnytska & Kucher, 2019), а кількісну оцінку потенційного ризику за результатом постійного споживання води без очищення від нітратів – за середньодобовою дозою перорального споживання (CDI), добовою дозою, поглиненою шкірою (DAD) та коефіцієнтом небезпеки (HQ) (Yu, et al., 2020):

$$CDI = (CW \times IR) / BW, \quad (1)$$

$$DAD = (CW \times K_1 \times SA \times EV \times CF) / BW, \quad (2)$$

$$HQ = HQ_{oral} + HQ_{derm} = CDI / RfD_{oral} + DAD / RfD_{derm}, \quad (3)$$

де: CW – середня концентрація нітратів у воді, мг/дм³; IR – добове споживання води (2 л/добу для дорослих і 1,4 л/добу для дітей), BW – середня маса тіла (70 кг для дорослих і 35 кг для дітей); K_1 – коефіцієнт проникності шкіри у воді (0,001 см/год); SA – площа поверхні контактної шкіри (1600 см² для дорослих і 3416 см² для дітей); EV – частота купання (1 раз/день); CF – коефіцієнт перерахунку (0,002 л/см³); HQ_{oral} – пероральний коефіцієнт небезпеки; RfD_{oral} – пероральна референтна доза (1,6 мг/кг/день); HQ_{derm} – нашкірний коефіцієнт небезпеки; RfD_{derm} – нашкірна референтна доза 0,8 мг/кг на добу.

Коефіцієнт небезпеки є найпоширенішим методом розрахунку кількісного ризику (Лотоцька, Прокопов, 2018; Yu, Wang, & Wang, 2020). Граничне значення потенційного ризику – 1. Чим вищий коефіцієнт небезпеки, тим вищі ризики для здоров'я. Якщо $HQ < 1$, то ризик, викликаний забруднювачем, для здоров'я людини є низьким та знаходиться у межах допустимого діапазону.

Аналіз органолептичних показників показав, що якість відібраних зразків води відповідає встановленим нормам і має достатньо високу якість (табл. 1).

Вміст загального заліза, хлоридів та рН відповідає нормам. У жодному із досліджуваних зразків перевищень не було, однак зауважено,

**Усереднені результати деяких гідрохімічних показників
досліджуваних зразків води за 2018-2021 роки**

Показники	Нормативні значення	Досліджувані об'єкти		
		Перша група	Друга група	Третя група
Запах, бали	≤ 3	0	0	0
Забарвленість, бали	≤ 35	13,1	7,6	7,3
Смак, бали	≤ 3	2,09	1,37	0,41
pH	6,5 ÷ 8,5	7,1	7,4	7,2
Загальна твердість, ммоль/дм ³	$\leq 10,0$	12,05	11,3	11,02
Окиснюваність, мг/дм ³	≤ 5	1,15	1,28	1,32
Залізо загальне, мг/дм ³	$\leq 1,0$	0,2	0,22	0,41
CL ⁻ , мг/дм ³	≤ 350	180,2	282,2	164,0
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	$\leq 2,6$	1,23	0,39	0,47
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	$\leq 0,5$	0,03	0,07	0,04
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	$\leq 50,0$	39,7	45,5	37,8

що вміст хлоридів у колодязній воді був вищим ніж у воді з водогонів, проведених у деяких селах. Важливим є не лише вміст хлоридів, який при перевищенні нормативних значень може збільшувати ризик виникнення певних захворювань, але й їхнє походження (Лотоцька, Кондратюк & Кучер., 2019; Ward Jones & van Breda, 2018). Ймовірно, присутність хлоридів у досліджуваних зразків пов'язана із попаданням відходів органічного походження до водоносних пластів.

За твердістю досліджувані зразки відповідають твердому (35%), та дуже твердому (65%) типу і перевищує допустимі встановлені норми. Значення твердості води коливаються в межах від 7,1 до 19,1 ммоль/дм³. За якісним складом досліджувані води характеризуються карбонатно-хлоридно-кальцієво-натрієвим складом.

Серед санітарно-токсикологічних показників неорганічних компонентів важливим є вміст групи нітрогену (амоніак, нітрити, нітрати). Наявні у воді сполуки групи нітрогену можуть вказувати на давнє і постійне забруднення протягом тривалого часу: наявність амоніаку може вказувати на свіже органічне забруднення, нітритів – на недавнє забруднення, а нітратів – про давні забруднення води органічними речовинами. Якщо у пробах води виявляють йони амонію та нітрити, то можемо говорити про систематичне забруднення органічними речовинами впродовж короткого проміжку часу. Загалом, перевищень за вмістом амонію та нітритами впродовж досліджуваного терміну виявлено не було, окрім поодиноких

випадків, переважно у першій групі. Ймовірно це пов'язано із несвоєчасним викачуванням вигрібних ям на території господарств. Спостерегалось незначне зростання нітритів навесні (0,4 ÷ 0,8 мг/дм³) та восени (0,1 ÷ 0,2 мг/дм³) у селах Авратин, Щаснівка, Великі Жеребки, Попівці (Волочиська МТГ) та с. Писарівка (Війтівецька ОТГ). Частково це може бути пов'язано із збільшенням атмосферних опадів, що зумовлює зростання поверхневого стоку з полів.

Проте найбільш забрудненою вода з колодязів та свердловин була нітратами (рис. 1). Майже третя частина проб має перевищення за вмістом нітратів у 1,5 ÷ 3,8 рази (рис. 2): с. Криваченці – 130 мг/дм³, с. Бубнівка – 162 мг/дм³, с. Липівка – 165 мг/дм³, м. Волочиськ (одне подвір'я) – 191,2 мг/дм³.

Серед досліджуваних груп розподіл за вмістом нітратів є нерівномірним: для першої групи частка проб води із вмістом нітратів до 10 мг/дм³ складає лише 7%, для другої – 11%, а для третьої – 31%. Частка проб з відхиленням від норми (в межах від 45 до 90 мг/дм³) для третьої групи є найменшою – 20%, але кількість проб, що мають вміст нітратів більше 90 мг/дм³ складає майже 9%, що є найвищою серед досліджуваних груп. Це має непокоїти громаду, адже діти, перебуваючи у школі чи дитячому садку сіл Дзеленці, Бубнівка (Наркевицька ОТГ), Писарівка (Війтівецьке ОТГ), Лозова, Авратин (Волочиська МТГ) споживають цю воду. Натомість у самих населених пунктах Авратин, Лозова та Дзеленці вміст нітратів не перевищує 40 мг/дм³.

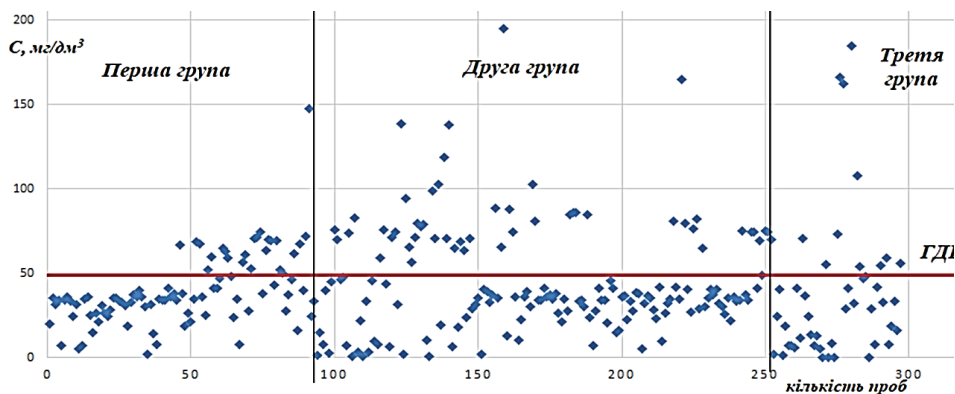


Рис. 1. Вміст нітратів у досліджуваних зразках води

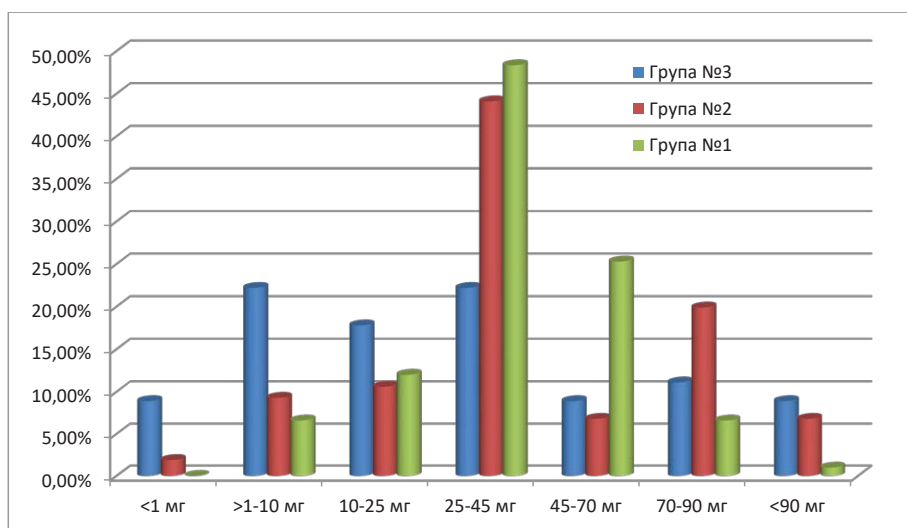


Рис. 2. Усереднений розподіл вмісту нітратів у досліджуваних зразках води

Підвищення концентрації нітратів корелювалось із сезонними змінами: вище навесні та восени, нижче взимку. Динаміка зміни вмісту групи нітрогену значною мірою залежала від кількості опадів: ряд водних об'єктів (річок, ставків, криниць, свердловин) в період з 2016 по 2018 роки обмілили, а деякі і взагалі висохли, тоді як у 2019-2021 роках кількість опадів збільшилась. Під час опадів у підземні води потрапляють небезпечні речовини з полів, оброблених пестицидами та нітратними добривами. Можливо, збільшення концентрації сполук нітрогену та твердості пов'язане із зменшенням кількості природних вод загалом. Оскільки у досліджуваному районі багато тваринницьких комплексів (свиноферми, птахофабрики), агрохолдингів та фермерських господарств, то ймовірність забруднення сполуками нітрогену від неконтрольованого поводження з мінеральними добривами є досить великою.

Досить забрудненими нітратами води були з криниць з невеликою глибиною залягання (до 6 м), оскільки водозабір здійснюється з поверхневих водоносних горизонтів. Для них характерний змінний водний режим та постійний фізико-хімічний склад. Частина свердловин та колодязів глибиною 20-30 м використовує ґрунтові води, які забруднені залишками добрив, пестицидів чи солями важких металів. Найменш забрудненими виявились свердловини, глибиною 50÷60 м.

Відповідно до розрахованих значенням ІЗВ досліджувані проби належать до 3 класу (ІЗВ=1,2, помірно забруднені). За усередненим значенням по нітратній групі ІЗВ = 7,1, що відповідає 6 класу (дуже брудні): ІЗВ першої групи – 5,7; другої групи – 8,6; третьої групи – 7,0. Цілком логічно, що проби першої групи зазнають меншого нітратного навантаження, тоді як другої – найбільшого. У десяти

селах питна вода за нітратною групою відноситься до 7 класу – надзвичайно забруднені (ІЗВ в межах 14,1÷19,5).

Аналіз середньорічної захворюваності дітей віком до 14 років показав, що рівень захворювань за основними групами хвороб у 1,7-2,3 рази більший в сільській місцевості по відношенню до дітей, що проживають у місті Волочиськ (ХОЛЩ МОЗ України). Зі скарг дітей, що споживають забруднену нітратами воду, на погане самопочуття, було виокремлено основні ознаки, притаманні нітратному отруєнню: бліді шкіра та слизові оболонки, сірий наліт на язичку, тіні під очима, тахікардія, запаморочення, підвищена втомленість, сонливість, ацетоновий запах з рота, біль у животі без чіткої локалізації (максимально больовий синдром проявлявся з правої сторони), алергічний висип.

Розрахований за формулами 1-3 коефіцієнт небезпеки за нітратами корелюється із підвищеним вмістом нітратів і був у межах 1,1÷4,6 (табл. 2), що відповідає середньому рівню небезпеки ($HQ > 1 \div 5$) і може призвести до розвитку певних захворювань (Лотоцька, Прокопов, 2018; Yu, Wang, & Wang, 2020). Домінантним був HQ_{oral} (0,1÷4,1), тоді як значення HQ_{derm} були незначними ($1 \times 10^{-4} \div 2 \times 10^{-2}$). Коефіцієнт ризику для неповнолітніх виявився прогнозовано більшим, ніж для дорослого населення. Найбільшим він був у тих населених пунктах, де проби відбирались із освітніх закладів (третя група спостережень) та спостерігалось перевищення нітратів. Частково це пов'язано з тим, що п'ять днів на тиждень діти перебувають у освітніх закладах (рис. 3).

Висновки і перспективи подальших досліджень: Проведений аналіз якості децентралізованого водопостачання води впродовж 2018-2021 років з 297 точок відбору, що знаходяться на території Волочиської МТГ, Війт-

вецької ОТГ та Наркевицької ОТГ Хмельницького району Хмельницької області встановив, що більшість гідрохімічних показників мають допустимі значення. Усі зразки за твердістю відповідають твердому (35%), та дуже твердому (65%) типу природної води і перевищує допустимі встановлені норми. Спостерігались поодинокі перевищення нітритів та йонів амонію. Найгіршою є ситуація із забрудненням нітратів. Майже у 33% проб зафіксовано відхилення від нормативних значень за вмістом нітратів. У селах Криваченці, Гайдайки, Писарівка Війтівецької ОТГ, Ріпна, Поляни, Тарноруда, Канівка, Липівка, Гонорівка, Великі Жеребки Волочиської МТГ, Бубнівка Наркевицької ОТГ перевищення нітратів було у 1,3÷3,2 рази.

Не рекомендується вживати воду з криниць, розташованих в освітніх закладах сіл Авратин, Лозова (Волочиська МТГ), Писарівка, Криваченці (Війтівецька ОТГ), Бубнівка, Дзеленці (Наркевицька ОТГ), оскільки вміст нітратів становить 59÷184 мг/м³. За усередненим значенням ІЗВ досліджувані проби належать до 3 класу (ІЗВ=1,2, помірно забруднені), а за усередненим значенням по нітратній групі – 7,1, що відповідає 6 класу (дуже брудні). У десяти селах питна вода за нітратною групою відноситься до 7 класу – надзвичайно забруднені (14,1÷19,5).

Коефіцієнт небезпеки можливого виникнення певних захворювань спричинених підвищеним вмістом нітратів становить 1,1÷4,6, що відповідає середньому рівню небезпеки. Коефіцієнт ризику для неповнолітніх є більший (0,6÷4,6), ніж для дорослого населення (0,03÷3,0). Найбільшим він був у тих населених пунктах, де проби також відбирались в освітніх закладів (третя група спостережень) та спостерігалось перевищення нітратів (0,1÷4,1).

Таблиця 2

Максимальне та мінімальне значення коефіцієнту ризику від споживання забрудненої нітратами води на досліджуваних територіях

Населені пункти	Категорії населення	Район досліджуваних територій		
		Волочиська МТГ	Війтівецька ОТГ	Наркевицька ОТГ
Усі населені пункти	дорослі	0,03÷3,0	0,1÷2,9	0,6÷1,4
	діти	0,9÷1,5	0,9÷4,1	1,2÷4,6
Населені пункти третьої групи	дорослі	0,6÷1,3	0,1÷2,5	0,2÷1,4
	діти	0,9÷1,4	0,7÷2,9	1,8÷4,1

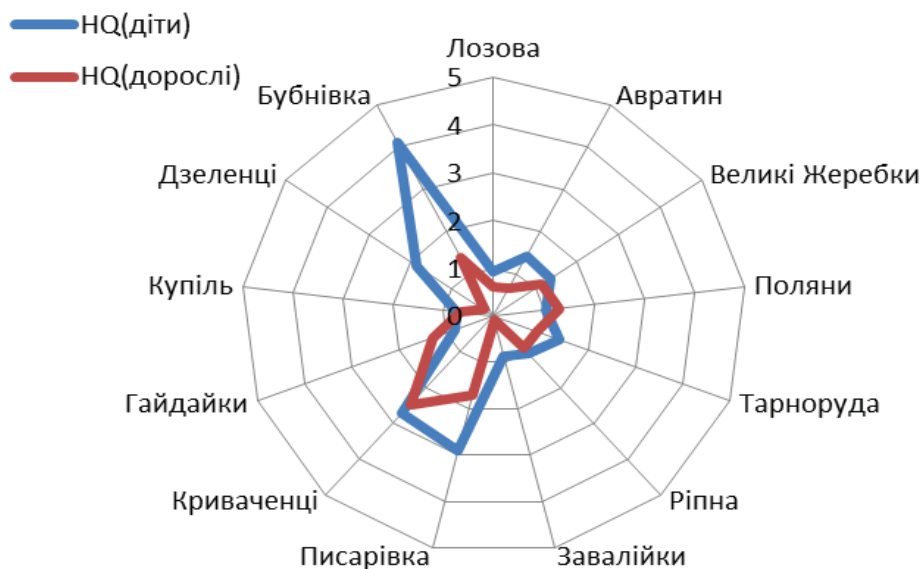


Рис. 3. Коефіцієнт ризику від споживання питної води, забрудненої нітратами дорослого та неповнолітнього населення на досліджуваній території

Воду з підвищеним вмістом сполук Нітрогену небезпечно використовувати для господарських потреб, оскільки тривале споживання такої води може привести до патологічних змін в організмі людини, а у дітей може викликати безсимптомну метгемоглобінемію. Працівникам Волочиського міжрайонного лабораторного відділення Державної установи «Хмельницький обласний лабораторний центр» МОЗ України

потрібно постійну проводити роботу із населенням щодо правильного споживання води, особливо з власниками криниць та свердловин, де виявили перевищення норми; рекомендувати постійно контролювати вміст нітратів, а забруднену воду використовувати лише для технічних потреб, зокрема, якщо на господарстві є малі діти; проводити своєчасну очистку від намулу та дезінфікувати криниці.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Валерко Р.А., Герасимчук Л.О. Органічне сільське господарство як фактор впливу на вміст нітратів у питній воді джерел нецентралізованого водопостачання сільських населених пунктів. *Екологічні науки*. 2020. № 3 (30). 2020. С. 124-128. DOI:10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.21
2. Гловин, Н.М.; Павлів, О.В. Дослідження якості водних ресурсів децентралізованого водопостачання сільських місцевостей у межах Бережанського району. *Науковий вісник ЛНУВМБ*, 2018, т 20, № 84. С. 109–114. doi: 10.15421/nvlvet8420
3. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 року № 400
4. Хмельницький обласний лабораторний центр МОЗ України. URL: <https://духолцмоз.укр>
5. Інформація про якість питної води. Волочиське КП ВКГ «Джерело» (djerelovol.info). URL: <https://www.djerelovol.info/informatsiia-pro-iakist-pytnoi-vody>
6. Кабакова, А.Б.; Шульгай, О.М.; Шульгай, А.-М.А. Аліментарна водно-нітратна метгемоглобінемія в дітей Тернопільської області. *Здоров'я дитини*. Т. 12, № 2.1, 2017. doi: 10.22141/2224-0551.12.2.1.2017.100989.
7. Коткова, Т.М., Федючка М.І., Карась І.Ф. Екологічна оцінка питної води Лугинського району Житомирської області на вміст хлоридів, сульфатів та нітратів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2018, т. 28, № 7, С. 83–87; doi: 10.15421/40280718
8. Лотоцька, О.В.; Кондратюк, В.А.; Кучер С.В. Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в західному регіоні України. *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*. 2019. № 1 (79). С. 12–18; doi: 10.11603/1681-2786.2019.1.10278.
9. Лотоцька, О.В.; Прокопов В.О. Оцінка ризику споживання питної води з підвищеним вмістом нітратів на здоров'я населення Тернопільської області. *Довкілля та здоров'я*. 2018. № 4. С. 20–24. doi:10.32402/dovkil2018.04.020

10. Brender, JD; Weyer, PJ; Romitti, PA; Mohanty, BP; Shinde, MU; Vuong, AM; Sharkey, JR; Dwivedi, D; Horel, SA; Kantamneni, J; Huber, JC Jr; Zheng, Q; Werler, MM; Kelley, KE; Griesenbeck, JS; Zhan, FB; Langlois, PH; Suarez, L; Canfield, MA. Prenatal nitrate intake from drinking water and selected birth defects in offspring of participants in the national birth defects prevention study. *Environ Health Perspect.* 2013 Sep;121(9):1083-9. doi: 10.1289/ehp.1206249.
11. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 Concerning the Protection of Waters against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources. European Commission, 1991. 8 p.
12. European Environment Agency (EEA). Groundwater Nitrate. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/groundwater-nitrate>
13. Howarth, R.W. Coastal nitrogen pollution: A review of sources and trends globally and regionally. *Harmful Algae.* 2008, 8, pp. 14–20.
14. Knobeloch, L; Salna, B; Hogan, A; Postle, J; Anderson, H. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environ Health Perspect.* 2000; 108(7):675–8.
15. Stadnichuk, O.; Kropyvnytska, L.; Martyniuk, I.; Platonov, M.; Kucher, M.; Nitrate content of drinking water and their effects on population health. *Periodyk naukowy Akademii Polonijnej*, 2019. 6 (37). pp. 148–156. doi: 10/23856/3715.
16. Sutton M.A., Howard C.M., Erismanetal J.W. (Eds.) *The European Nitrogen Assessment: Sources. Effects and Policy Perspectives.* Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 664 p.
17. Vitousek, P.M.; Aber, J.D.; Howarth, R.W.; Likens, G.E.; Matson, P.A.; Schindler, D.W.; Schlesinger, W.H.; Tilman, D. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecol. Appl.* 1997, 7, pp. 737–750.
18. Ward MH, Jones RR, Brender JD, de Kok TM, Weyer PJ, Nolan BT, Villanueva CM, van Breda SG. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2018; 15 (7):1557. doi: 10.3390/ijerph15071557.
19. Yu, G.; Wang, J.; Liu, L.; Li, Y.; Zhang, Y.; Wang S. The analysis of groundwater nitrate pollution and health risk assessment in rural areas of Yantai, China. *BMC Public Health.* 2020. 20, 437. doi:10.1186/s12889-020-08583-y

REFERENCES:

1. Valerko, R.A, Gerasimchuk, L.O. (2020). Orhanichne silske gospodarstvo yak faktor vplyvu na vmist nitrativ u pytnii vodi dzherel netsentralizovanoho vodopostachannia silskykh naselenykh punktiv [Organic agriculture as a factor influencing the content of nitrates in drinking water sources of decentralized water supply in rural areas]. *Ekolohichni nauky – Environmental sciences*, 3 (30), 124–128. doi: 10.32846/2306-9716/2020.eco.3-30.21 [in Ukrainian].
2. Glovin, N.M, Pavlov, O.V. (2018). Doslidzhennia yakosti vodnykh resursiv detsentralizovanoho vodopostachannia silskykh mistsevosti u mezhakh Berezhanskoho raionu [Research of quality of water resources of decentralized water supply of rural areas in Brzezany district]. *Naukovyi visnyk LNUVMB – Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, Vols. 20, 84, 109–114. doi: 10.15421/nvlvet8420. [in Ukrainian].
3. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Hihiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu». Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ia Ukrainy vid 12.05.2010 roku № 400 [State sanitary norms and rules of the «Hygienical requirements to the water drinkable, intended for a consumption a man». Order of the Ministry of Health of Ukraine]. (May, 12, 2010. № 400). [in Ukrainian]
4. Khmelnytskyi oblasnyi laboratornyi tsentr MOZ Ukrainy [Khmelnitsky Regional Laboratory Center of the Ministry of Health of Ukraine]. Retrieved from: <https://духолцмоз.укр>. [in Ukrainian].
5. Informatsiia pro yakist pytnoi vody. Volochyske KP VKH «Dzherelo» [Information on drinking water quality. Volochysk CP VKG «Source»]. Retrieved from <https://www.djerevolov.info/informatsiia-pro-iyakist-pytnoi-vody> [In Ukrainian].
6. Kabakova, A.B., Shulgay, O.M., Shulgay, A.-M.A. (2017). Alimentarna vodno-nitratna methemoglobinemiia v ditei Ternopilskoi oblasti [Alimentary water-nitrate methemoglobinemia in children of Ternopil region]. *Zdorov'ia dityny – Child health*, Vols. 12, 2.1, doi: 10.22141/2224-0551.12.2.1.2017.100989. [In Ukrainian].
7. Kotkova, T.M.; Fedyuchka, M.I.; Karas, I.F. (2018). Ekolohichna otsinka pytnoi vody Luhynskoho raionu Zhytomyrskoi oblasti na vmist khlorydiv, sulfativ ta nitrativ [Environmental assessment of drinking water of Luhyn district of Zhytomyr region on the content of chlorides, sulfates and nitrates]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, Vols. 28, 7, 83–87; doi: 10.15421/40280718. [In Ukrainian].
8. Lototska, O.V., Kondratyuk, V.A., Kucher S.V. (2019). Yakist pytnoi vody yak odna z determinant hromadskoho zdorov'ia v zakhidnomu rehioni Ukrainy [Drinking water quality as one of the determinants of public health in the western region of Ukraine]. *Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorov'ia Ukrainy – Bulletin of social hygiene and health care organization of Ukraine*, 1 (79), 12–18; doi: 10.11603/1681-2786.2019.1.10278. [In Ukrainian].
9. Lototska, O.V., Prokopov, V.O. (2018). Otsinka ryzyku spozhyvannia pytnoi vody z pidvyschenym vmistom nitrativ na zdorov'ia naselennia Ternopilskoi oblasti [Assessment of the risk of drinking water consumption with the

increased content of nitrates for the health of the people of the Ternopil Region]. *Dovkillia ta zdorov'ia – Environment & Health*, 4, 20–24. doi: 10.32402/dovkil2018.04.020. [in Ukrainian].

10. Brender, J.D.; Weyer, P.J.; Romitti, P.A.; Mohanty, B.P.; Shinde, M.U. et al. Prenatal nitrate intake from drinking water and selected birth defects in offspring of participants in the national birth defects prevention study. *Environ Health Perspect.* 2013 Sep;121(9):1083-9. doi: 10.1289/ehp.1206249. [in English]

11. Council Directive of 12 December 1991 Concerning the Protection of Waters against Pollution Caused by Nitrates from Agricultural Sources (91/676/EEC9; European Union. 1991. 8 p. [in English]

12. European Environment Agency (EEA). Groundwater Nitrate. Available online: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/groundwater-nitrate>. [in English]

13. Howarth, R.W. Coastal nitrogen pollution: A review of sources and trends globally and regionally. *Harmful Algae*. 2008, 8, 14–20. [in English]

14. Knobeloch, L.; Salna, B.; Hogan, A. et al. Blue babies and nitrate-contaminated well water. *Environ Health Perspect.* 2000; 108(7):675–8. [in English]

15. Stadnichuk, O.; Kropyvnytska, L.; Martyniuk, I.; Platonov, M.; Kucher, M.; Nitrate content of drinking water and their effects on population health. *Periodyk naukowy Akademii Polonijnej*, 2019. 6 (37). 148-156. doi:10/23856/3715 [in English]

16. Sutton M.A., Howard C.M., Erismanetal J.W. (Eds.) *The European Nitrogen Assessment: Sources. Effects and Policy Perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 664 p. [in English]

17. Vitousek, P.M.; Aber, J.D.; Howarth, R.W.; Likens, G.E.; Matson, P.A. et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecol. Appl.* 1997, 7, 737–750. [in English]

18. Ward, M.H.; Jones R.R., Brender J.D., de Kok T.M., Weyer P.J. et al. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2018; 15 (7):1557. doi: 10.3390/ijerph15071557. [in English]

19. Yu, G.; Wang, J.; Liu, L.; Li, Y.; Zhang, Y.; Wang S. The analysis of ground-water nitrate pollution and health risk assessment in rural areas of Yantai, China. *BMC Public Health*. 2020. 20, 437. doi:10.1186/s12889-020-08583-y [in English]

УДК 504.05:504.064.2

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-11>

Ольга ЧЕРБА

аспірант, науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», вул. Бакуліна, 6, м. Харків, Україна, 61166

ORCID: 0000-0001-8600-1319

Володимир КВАСОВ

кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», вул. Бакуліна, 6, м. Харків, Україна, 61166

ORCID: 0000-0003-2331-1082

Бібліографічний опис статті: Черба, О., Квасов, В. (2022). Оцінювання антропогенного впливу на довкілля. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 81–87, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-11>

ОЦІНЮВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

Людська діяльність дуже сильно впливає на стан довкілля і цей вплив збільшується з кожним роком. Негативні наслідки антропогенної діяльності превалюють над позитивними, що призводить до деградації навколишнього середовища. При цьому вплив на довкілля здійснюється опосередковано, через фактори забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів. Тому дуже важливо окрім постійного моніторингу стану навколишнього природного середовища, контролювати розмір антропогенного впливу; відслідковувати, які складові довкілля страждають від нього найбільше; приймати відповідні адміністративні рішення.

Метою дослідження є розробка методики інтегральної оцінки антропогенного впливу на навколишнє природне середовище.

Методологія. В основу методики покладено європейський підхід до проведення екологічної оцінки, а саме, рекомендації ЄЕК ООН щодо моніторингу й оцінки навколишнього природного середовища.

Наукова новизна полягає в розробці набору екологічних показників, який дозволяє максимально повно та достовірно враховувати антропогенний вплив на довкілля; математичного апарату для проведення оцінювання (механізм ранжирування складових методики, розрахунок внеску кожної складової в загальну оцінку).

Висновки. Методика розроблена у відповідності з принципами сталого розвитку та європейського законодавства. Її можна використовувати для прийняття коректних управлінських рішень, ранжирування регіонів України за рівнем техногенного навантаження, інформування громадськості про якість довкілля в їх регіоні та на території України в цілому. Особливої актуальності це набуде після припинення дії воєнного стану в Україні, коли до «мирних» антропогенних впливів на навколишнє природне середовище додадуться наслідки руйнування екосистем, спричинені бойовими діями на окремих територіях.

Ключові слова: інтегральна оцінка, антропогенний вплив, навколишнє середовище, нормування, вагові коефіцієнти.

Olga CHERBA

Postgraduate, Researcher of the Laboratory of Research of Ecological Stability of Objects of Environment and Natural Territories of Special Protection, Research Institution “Ukrainian Research Institute of Environmental Problems”, 6 Bakulina str., Kharkiv, Ukraine, 61166

ORCID: 0000-0001-8600-1319

Volodymyr KVASOV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Ecologically Safe Nature Management, Means and Methods of Environmental Monitoring, Research Institution “Ukrainian Research Institute of Environmental Problems”, 6 Bakulina str., Kharkiv, Ukraine, 61166

ORCID: 0000-0003-2331-1082

To cite this article: Cherba, O., Kvasov, V. (2022). Otsiniuvannia antropohennoho vplyvu na dovkillia [Assessment of anthropogenic impact on the environment]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 81–87, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-11>

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT

Human activities have a very strong impact on the environment and this impact is increasing every year. The negative consequences of anthropogenic activity prevail over the positive ones, which leads to environmental degradation. At the same time, the impact on the environment is carried out indirectly, due to factors of air pollution, water resources, soils. Therefore, in addition to constant monitoring of the state of the environment, it is very important to control the amount of anthropogenic impact; monitor which components of the environment suffer from it the most; make appropriate administrative decisions.

The purpose of the study is to develop a methodology for integrated assessment of anthropogenic impact on the environment.

Methodology. The methodology is based on the European approach to environmental assessment, namely, the UNECE recommendations on environmental monitoring and assessment.

The scientific novelty is to develop a set of environmental indicators that allows you to fully and reliably take into account the anthropogenic impact on the environment; mathematical apparatus for evaluation (the mechanism of ranking the components of the methodology, the calculation of the contribution of each component in the overall assessment).

Conclusions. The methodology is developed in accordance with the principles of sustainable development and European legislation. It can be used to make correct management decisions, ranking the regions of Ukraine by the level of man-made load, informing the public about the quality of the environment in their region and in Ukraine as a whole. This will become especially relevant after the end of martial law in Ukraine, when the "peaceful" anthropogenic impacts on the environment will be compounded by the effects of ecosystem destruction caused by hostilities in certain areas.

Key words: *integrated assessment, anthropogenic impact, environment, rationing, weights.*

Актуальність проблеми. В сучасному світі все більше уваги приділяється вирішенню екологічних проблем, які спричинені діяльністю людини. Проблеми зміни клімату, забруднення атмосфери, водних та земельних ресурсів, виснаження ґрунтів, збільшення кількості відходів, збереження біорізноманіття – одні із найбільш нагальних і гострих проблем сучасності, які вимагають вирішення як на рівні держав, так і на рівні свідомості та обізнаності кожного з нас.

Проте, щоб бути обізнаними та ефективно впливати на екологічну політику, громадськість повинна мати змогу отримувати інформацію щодо забрудненості довкілля як на окремих адмінтериторіях, так і в цілому в Україні. При цьому інформація повинна доходити до населення в узагальненому та зрозумілому вигляді.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні є багато розробок щодо оцінки екологічного ризику та оцінки стану навколишнього природного середовища. Однак у більшості вони стосуються окремих частин біосфери (атмосфери, літосфери, гідросфери) і не надають інформації щодо сумарної оцінки антропогенних навантажень.

Остання офіційна методика щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля в Україні була розроблена у 2008 році (Керівництво щодо,

2008). Однак на сьогоднішній день показників, за якими проводиться оцінка, замало для охоплення всіх факторів, які впливають на стан навколишнього природного середовища, і не всі вони забезпечені статистичними даними.

Мета дослідження. Розробка методології інтегральної оцінки антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, заснованої на європейських стандартах, забезпеченої статистичною інформацією та зрозумілої для громадськості.

Виклад основного матеріалу. Наразі в Україні йде активний процес інтеграції екологічного законодавства з європейським. У зв'язку з цим є актуальним те, що в основу методології покладено «Руководство по применению экологических показателей в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии», розроблене Робочою групою ЄЕК ООН (Руководство по, 2006; Основной набор, 2003). З множини екологічних показників (ЕП), які пропонує «Руководство...» та напрямів дослідження обрано ті, що безпосередньо відображають тиск на довкілля. Однак їх кількість розширено у відповідності з потребами українського законодавства (Про основні засади, 2019), із врахуванням розробок українських дослідників (Іванюта, 2013; Белогуров, 2014; Розробка показників, 2007; Палагута, 2014; Гадецька,

Кузьмич, 2012; Обиход, 2012) та екологічних індикаторів сталого розвитку.

Представлена методологія інтегральної оцінки антропогенного впливу на довкілля включає в себе напрями дослідження, які або відчувають антропогенний вплив, або характеризують його, а саме: атмосферне повітря, водні ресурси, земельні ресурси і ґрунти, сільське господарство, відходи та зміна клімату (рис. 1). Кожен напрям дослідження містить певний набір екологічних та статистичних показників, що дозволяє врахувати усі складові антропогенного тиску на довкілля.

З математичної точки зору ця система представляє собою набір множин, які підпорядковуються законам теорії множин.

Сукупність всіх напрямів дослідження A_i ($i= 1...6$), за якими проводиться інтегральна оцінка, складає множину M :

$$M = \cup A_i \quad (1)$$

При цьому всі множини A_i є підмножинами множини M :

$$A_i \subset M \quad (2)$$

Кожен напрям дослідження A_i складається з певного набору екологічних показників (ЕП) A_i^j .

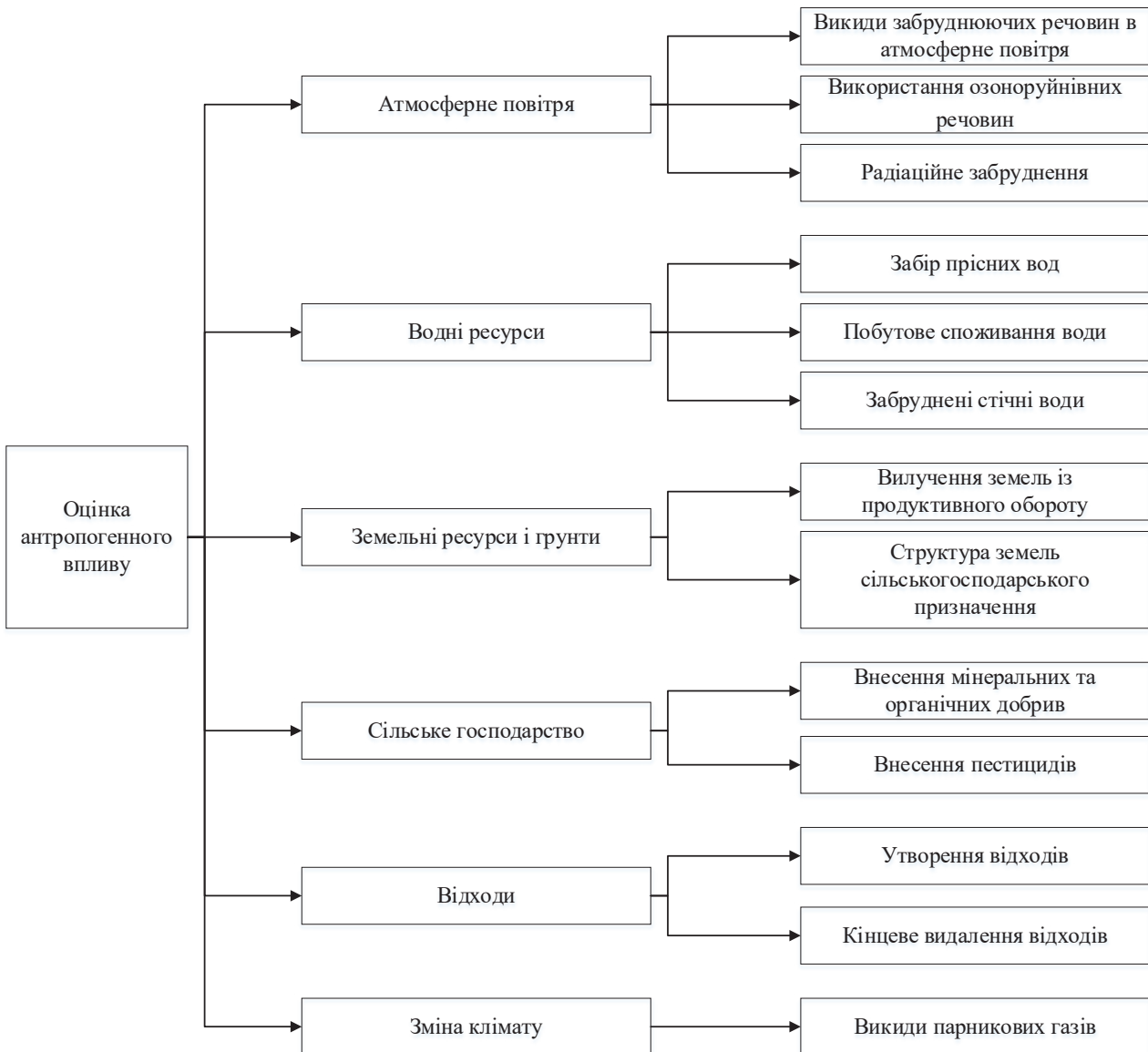


Рис. 1. Напрями дослідження та екологічні показники, за якими проводиться оцінка антропогенного впливу на довкілля

При цьому:

$$A_i^j \subset A_i, \quad (3)$$

де j варіюється від 1 до m_i в залежності від множини A_i .

Кожна множина A_i^j містить множину статистичних показників (СП) ξA_i^j , за якими вони визначаються:

$$\xi A_i^j \subset A_i^j, \quad (4)$$

де ξA_i^j – ξ -й статистичний показник, потрібний для визначення j -го ЕП за i -м напрямом. ξ варіюється від 1 до n_i^j в залежності від множини A_i^j .

Статистичні показники представляють собою конкретні статистичні дані, які надаються уповноваженими державними органами (Державна служба статистики України, Державне агенство водних ресурсів України, Український гідрометеорологічний центр, Міндовкілля та ін.).

Інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище складається з інтегральних оцінок по кожному з напрямів (\widetilde{A}_i), які, в свою чергу, визначаються на підставі всіх визначених ЕП (A_i^j) цього напрямку, тобто є функцією всіх ЕП напрямку A_i :

$$\widetilde{A}_i = f(U_j A_i^j) \quad (5)$$

Оскільки статистичні та екологічні показники визначаються в різних фізичних одиницях, то їх згортка у пряму вигляду неможлива. Тому значення цих показників представляються у відносному вигляді, тобто проводиться нормування їх значень.

Крім того, показники мають різний рівень впливу на довкілля. Для оцінки сукупного впливу великої кількості показників їм надаються вагові значення, що враховують їх різну значимість і нерівний внесок в інтегральний індекс.

Таким чином, важливою складовою інтегральної оцінки є обґрунтований відбір найбільш інформативних статистичних показників, які входять до складу кожного екологічного показника, їх визначення з статистичних даних, нормування (для отримання відносних значень) та лінійна згортка з ваговими коефіцієнтами. Весь процес інтегральної оцінки складається з трьох етапів:

1. Оцінка ЕП.

2. Проведення інтегральної оцінки за кожним напрямом дослідження.

3. Проведення інтегральної оцінки за усіма напрямками.

На першому етапі виконується оцінка ЕП на підставі статистичних показників.

Для цього необхідно:

1. визначити значення СП (ξA_i^j) з статистичних даних.

2. унормувати всі статистичні показники ξA_i^j . Для цього кожний статистичний показник перетворюють у безрозмірну величину:

$$\left| \widetilde{\xi A_i^j} \right| = \frac{\left| \xi A_i^j \right|_{\text{звіт.рік}}}{\left| \xi A_i^j \right|_{\text{max}}} \times 10, \quad (6)$$

де $\left| \widetilde{\xi A_i^j} \right|$ – ξ - ий статистичний показник, необхідний для визначення j - го екологічного показника за i - м напрямом;

$\left| \xi A_i^j \right|_{\text{звіт.рік}}$ – значення ξ - того статистичного показника за звітний рік для визначення j - го екологічного показника за i - м напрямом;

$\left| \xi A_i^j \right|_{\text{max}}$ – максимальне значення ξ - го статистичного показника, що обирають з переліку років, для яких розраховують j - ий екологічний показник за i - им напрямом (для оцінки антропогенного впливу на довкілля України пропонуємо визначати максимальне значення ξ - го статистичного показника за останні 20 років незалежності України);

10 – максимальне значення N-бальної (безрозмірної) шкали.

3. визначити вагові коефіцієнти ξb_i^j для кожного статистичного показника.

Визначення вагових коефіцієнтів ξb_i^j здійснюється експертним методом (в даній роботі для цієї функції обрано метод аналізу ієрархій (МАІ) згідно Т. Сааті) [11, 12]. Значення вагових коефіцієнтів для статистичних показників знаходяться в межах від 0 до 10 ($0 < \xi b_i^j < 10$). Визначення статистичного показника з ваговим коефіцієнтом проводять за формулою:

$$\left| \xi A_i^j \right| = \left| \widetilde{\xi A_i^j} \right| \times \xi b_i^j, \quad (7)$$

де ξb_i^j – ваговий коефіцієнт ξ - го статистичного показника, що необхідний для визначення j - го екологічного показника за i - м напрямом.

4. провести оцінювання екологічних показників. Для цього проводиться лінійна згортка значень статистичних показників (ξA_i^j) з урахуванням їх вагових коефіцієнтів за формулою:

$$\left| A_i^j \right| = \frac{\sum_{\xi} b_{\xi} \times \left| \xi A_i^j \right|}{n_i^j}, \quad (8)$$

де $\left| A_i^j \right|$ – значення j -го екологічного показника за i -им напрямом;

$\sum_{\xi} b_{\xi} \times |\xi^{\sim j}_i|$ – сума всіх ξ -х значень статистичних показників, складових j -го екологічного показника за i -м напрямом;

n_i^j – кількість статистичних показників, що входять до складу j -го екологічного показника ($\xi = 1 \dots n_i^j$).

Отримані значення ЕП знаходяться в інтервалі від 0 до 10 (чим більше значення екологічного показника, тим більше його вплив на значення екологічного показника).

На другому етапі виконується інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище на підставі екологічних показників за кожним з напрямів дослідження (A_i).

Для цього необхідно:

1. визначити вагові коефіцієнти b_i^j для кожного екологічного показника.

Визначення вагових коефіцієнтів b_i^j також здійснюється за допомогою МАІ. Визначення ЕП з ваговим коефіцієнтом проводять за формулою:

$$|A_i^j| = |\widetilde{A}_i^j| \times b_i^j, \quad (9)$$

де b_i^j – ваговий коефіцієнт j -го екологічного показника за i – им напрямом дослідження.

2. для проведення інтегральної оцінки необхідно зробити лінійну згортку унормованих екологічних показників даного напрямку за формулою:

$$|A_i| = \frac{\sum_j b_j \times |\widetilde{A}_i^j|}{m_i}, \quad (10)$$

де $|A_i^j|$ – значення j -го екологічного показника за i -им напрямом;

$\sum_j b_j \times |\widetilde{A}_i^j|$ – сума всіх j -х значень екологічних показників за i -м напрямом;

m_i – кількість екологічних показників, що входять до складу i -го напрямку ($j = 1 \dots m_i$).

На третьому етапі виконується інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище на підставі екологічних показників за усіма напрямками дослідження (A_i).

Для цього необхідно:

1. визначити вагові коефіцієнти b_i для кожного напрямку дослідження (за допомогою МАІ). Визначення напрямку з ваговим коефіцієнтом проводять за формулою:

$$|A_i| = |\widetilde{A}_i| \times b_i, \quad (11)$$

де b_i – ваговий коефіцієнт i -ого напрямку дослідження.

2. для проведення інтегральної оцінки необхідно зробити лінійну згортку унормованих напрямів за формулою:

$$\|\widetilde{M}\| = \frac{\sum_i b_i \times |\widetilde{A}_i|}{6}, \quad (12)$$

де $|\widetilde{A}_i|$ – значення i -го напрямку дослідження;

$\sum_i b_i \times |\widetilde{A}_i|$ – сума всіх i -х значень напрямів;

6 – кількість напрямів.

Таким чином, інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище визначається в межах від 0 до 10 балів (чим більше значення інтегральної оцінки, тим більше антропогенний вплив на довкілля).

Для проведення порівняльних оцінок окремих адмінтериторій та планування практичних дій по охороні та оцінці стану довкілля на підставі введеної 10-бальної шкали оцінювання за напрямками пропонується розмежувати отримані результати щодо інтегральної оцінки за п'ятьма класами (F1, ..., F5) антропогенного впливу на довкілля (табл. 1).

Таблиця 1

Градування величини антропогенного впливу згідно з бальною оцінкою

Клас впливу	Інтервал зміни класу впливу	Характеристика
F1	$0,1 \leq F1 \leq 2$	нормальний стан
F2	$2 < F2 \leq 4$	незначні відхилення від нормального стану
F3	$4 < F3 \leq 6$	істотні порушення
F4	$6 < F4 \leq 8$	небезпечні порушення
F5	$8 < F5 \leq 10$	критичний стан

10 – ти бальна шкала спрямована на визначення критеріїв для інтегральної оцінки антропогенного впливу на довкілля та динаміки його змін за роками.

Висновки. Інтегральна оцінка антропогенного впливу на навколишнє природне середовище є частиною системного підходу під час проведення екологічного моніторингу і має велике значення для визначення ключових факторів, що впливають на стан екосистем. В основі цього підходу лежить широке впровадження комп'ютерних методів збору, обробки і аналізу даних, математичного моделювання та прогнозування якості навколишнього середовища.

Методологія заснована на європейських стандартах та забезпечена всією необхідною

статистичною інформацією. Вона надає повну, достовірну та своєчасну інформацію про техногенне навантаження на довкілля, ступінь забрудненості довкілля та ефективність вжитих природоохоронних заходів; сприяє інформованості громадськості про екологічні проблеми; допомагає підвищити ефективність діяльності органів державної влади та оперативність прийняття рішень з питань охорони довкілля на території України та в транскордонному контексті.

Наразі ведеться робота щодо розширення сфери використання методики оцінки антропогенного впливу, а саме: розробляються показники, які будуть враховувати вплив на екосистеми наслідків збройного конфлікту в країні (руйнування об'єктів інфраструктури, знищення лісових насаджень, флори та фауни у місцях ведення бойових дій, розкидані залишки бойової техніки і боєприпасів та ін.).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Керівництво щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні: нормативний документ. Київ: М-во охорони навколишнього природного середовища України, 2008. 54 с.
2. Руководство по применению экологических показателей в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: Рабочее совещание по применению экологических показателей и подготовке оценочных докладов по окружающей среде. Донецк, 2006. 82. с. URL: <http://www.myshared.ru/slide/513719>.
3. Основной набор экологических показателей для стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: информ. документ / Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций. Киев, 2003. 22 с.
4. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 № 2697-VIII. / *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
5. Іванюта С. П. Екологічна безпека регіонів України: порівняльні оцінки. Стратегічні пріоритети. 2013. № 3. С. 157-164. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/spa_2013_3_23.
6. Белогуров В.П. Разработка методологии интегрального оценивания экологического состояния территорий. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 5/10 (71), С. 146.
7. Розробка показників для інтегральної оцінки стану довкілля та динаміки його змін, їх опробування на реальних даних і впровадження інтегральної екологічної оцінки регіону: звіт про НДР. К.: НАНУ. 2007. 85 с.
8. Палагута О.В. Оцінка впливу на навколишнє природне середовище за екологічними індикаторними показниками: дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / УКРНДІЕП. Харків, 2014. 275 с.
9. Гадецька З.М., Кузьмич Н.В. Оцінка екологічного ризику на території України. Ефективна економіка. 2015. № 12. С. 111.
10. Обиход Г.В. Методичні підходи щодо оцінки рівня екологічної небезпеки регіонів України. Ефективна економіка. 2012. № 10. С. 5.
11. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
12. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: ЛКИ, 2008. 360 с.

REFERENCES:

1. Kerivnytstvo shchodo zdiisnennia intehralnoi otsinky stanu dovkillia na rehionalnomu rivni: normatyvnyi document [Care for the establishment of an integral assessment of the state of dovkillia at the regional level: a normative document]. (2008). Kyiv: M-vo okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Ukrainy. [in Ukrainian].
2. Rukovodstvo po pryumeneniyu ekolohycheskykh pokazatelei v stranakh Vostochnoy Yevropy, Kavkaza i Tsentralnoi Azyy: Rabocheye soveshchaniye po pryumeneniyu ekolohycheskykh pokazatelei y podgotovke otsenochnykh dokladov po okruzhaiushchey srede [Guidelines for the Application of Environmental Indicators in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia: Workshop on the Application of Environmental Indicators and the Preparation of Environmental Assessment Reports.]. Donetsk, 2006. Retrieved from: <http://www.myshared.ru/slide/513719>. [in Russian].
3. Osnovnoi nabor ekolohycheskykh pokazateley dlia stran Vostochnoy Yevropy, Kavkaza i Tsentralnoi Azyy [A core set of environmental indicators for countries in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia]. (2003). Yevropeiskaia ekonomycheskaya komysiya Orhanyzatsyy Ob"yedinennykh Natsiy – United Nations Economic Commission for Europe. Kiev [in Russian].
4. Pro osnovni zasady (stratehiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky na period do 2030 roku: Zakon Ukrainy vid 28.02.2019 № 2697-VIII [On the basic principles (strategy) of state environmental policy for the period up to 2030: Law of Ukraine of 28.02.2019 № 2697-VIII]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>. [in Ukrainian].

5. Ivanuyta, S.P. (2013). Ekolohichna bezpeka rehioniv Ukrainy: porivnialni otsinky [Ecological safety of the regions of Ukraine: comparative assessments]. *Strategic priorities – Stratehichni priorytety*, 3, 157-164. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/spa_2013_3_23. [in Ukrainian].
6. Belohurov V.P. (2014). Razrobotka metodolohyy yntehralnoho otsenyvanya ekolohycheskoho sostoianya terrytoryi [Development of a methodology for integrated assessment of the ecological condition of territories]. *Eastern European Journal of Advanced Technology – Vostochno-Evropeiskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*, 5/10 (71), 146. [in Ukrainian].
7. Rozrobka pokaznykiv dlia intehralnoi otsinky stanu dovkillia ta dynamiky yoho zmin, yikh oprobuvannia na realnykh danykh i vprovadzhennia intehralnoi ekolohichnoi otsinky rehionu: zvit pro NDR [Development of indicators for integrated assessment of the state of the environment and the dynamics of its changes, their testing on real data and the implementation of integrated environmental assessment of the region: a report on research]. (2007). Kyiv: NANU [in Ukrainian].
8. Palahuta, O.V. (2014). Otsinka vplyvu na navkolysnhie pryrodne seredovyshe za ekolohichnymy indykatornymy pokaznykamy [Environmental impact assessment according to ecological indicator indicators]. Candidate's thesis. UKRNDIEP. Kharkiv [in Ukrainian].
9. Hadetska, Z.M., Kuzmych, N.V. (2015). Otsinka ekolohichnoho ryzyku na terytorii Ukrainy [Environmental risk assessment on the territory of Ukraine]. *Efektivna ekonomika – Efficient economy*, 12 [in Ukrainian].
10. Obykhod, H.V. (2012). Metodychni pidkhody shchodo otsinky rinvia ekolohichnoi nebezpeky rehioniv Ukrainy [Methodical approaches to assessing the level of environmental danger in the regions of Ukraine]. *Efektivna ekonomika – Efficient economy*, 10 [in Ukrainian].
11. Saaty, T.L. (1993). Pryniatye resheniy. Metod analiza yerarkhiy [Making decisions. Hierarchy analysis method]. Moscow: Radio i svyaz' [in Russian].
12. Saaty T.L. (2008). Prinyatiye resheniy pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analytycheskye sety [Decision making under dependencies and feedbacks: Analytical networks]. Moscow: LKY [in Russian].

УДК 502:504

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-12>

Ангеліна ЧУГАЙ

доктор технічних наук, професор, декан природоохоронного факультету, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

ORCID: 0000-0002-8091-8430

Лариса ПОЛЕТАЄВА

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

ORCID: 0000-0002-4576-4958

Володимир ТЕРЗЕМАН

магістрант кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет, вул. Львівська, 15, м. Одеса, Україна, 65016

Бібліографічний опис статті: Чугай, А., Полетаєва, Л., Терземан, В. (2022). Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеса діоксидом азоту. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 1, 88–93, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-12>

КОРОТКОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА ДІОКСИДОМ АЗОТУ

Якість атмосферного повітря є основною складовою, яка впливає на стан здоров'я населення. Для м. Одеса якість атмосферного повітря є важливою складовою, оскільки місто є одним з рекреаційних і курортних центрів України. Поряд з цим Одеса – промислове місто зі значною кількістю автотранспорту, а також вантажоперевезень через наявність на території міста морського порту. З метою зменшення рівня забруднення атмосферного повітря в регіонах України здійснюється ряд заходів на основі даних моніторингу. Одним з таких заходів є прогнозування забруднення з метою попередження високих рівнів концентрацій окремих забруднюючих речовин. Розробка прогностичної схеми забруднення атмосферного басейну міста може дозволити превентивно реагувати на погіршення якості атмосферного повітря. В цілому питання розробки ефективних схем прогнозу забруднення повітряного басейну є важливою і актуальною задачею для м. Одеса. Метою роботи є дослідження практичного використання методу короткострокового прогнозу рівня забруднення атмосферного повітря на незалежному матеріалі різних років. Прогностична схема була побудована для прогнозування забруднення повітряного басейну м. Одеса діоксидом азоту в літній період. Як прогнозована величина використана середня за добу і по місту нормована концентрація кожної домішки Q , яка являє собою відношення абсолютної концентрації до середньосезонної концентрації домішки. В цілому було складено 108 прогнозів. Для перевірки справджуваності прогнозів були побудовані графіки динаміки фактичних та прогностичних значень рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту. При цьому відзначено узгодженість фактичних і прогностичних показників за період дослідження. Отримані результати свідчать про те, що обрані предиктори добре описують процес забруднення атмосфери м. Одеса у літній період. Зазначена прогностична схема може бути рекомендована для впровадження для оперативного прогнозування забруднення атмосфери міста діоксидом азоту.

Ключові слова: забруднення, атмосферне повітря, прогнозування, предиктор.

Angelina CHUGAI

Doctor of Science (Technical), Professor, Dean of Nature Protection Faculty, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106

ORCID: 0000-0002-8091-8430

Larysa POLETAIEVA

Ph.D (Geography), Associate Professor at the Department of Environmental Science and Environmental Protection, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106

ORCID: 0000-0002-4576-4958

Volodymyr TERZEMAN*Undergraduate of the Department of Environmental Science and Environmental Protection, Odesa State Environmental University, 15 Lvivska str., Odesa, Ukraine, 65106*

To cite this article: Chugai, A., Poletaeva, L., Terzeman, V. (2022). Korotkostrokovyi prohnoz zabrudnennia atmosferного povitria mista Odesa dioksydom azotu [Short-term forecast of air pollution in Odesa with nitrogen dioxide]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 1, 88–93, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-1-12>

SHORT-TERM FORECAST OF AIR POLLUTION IN ODESSA WITH NITROGEN DIOXIDE

Atmospheric air quality is a major component of public health. For the city of Odesa, air quality is an important component, as the city is one of the recreational and resort centers of Ukraine. Along with this, Odesa is an industrial city with a significant number of vehicles, as well as freight traffic due to the presence of a seaport in the city. In order to reduce the level of air pollution in the regions of Ukraine, a number of measures are taken on the basis of monitoring data. One such measure is pollution forecasting in order to prevent high levels of concentrations of individual pollutants. The development of a forecast scheme for air pollution in the city may allow to respond preventively to the deterioration of air quality. In general, the issue of developing effective air pollution forecasting schemes is an important and urgent task for the city of Odesa. The aim of the work is to study the practical use of the method of short-term forecasting of the level of air pollution on the independent material of different years. The forecast scheme was built to predict the pollution of the air basin of Odesa with nitrogen dioxide in the summer. The average value per day and the city normalized concentration of each impurity Q , which is the ratio of the absolute concentration to the average seasonal concentration of the impurity, was used as the predicted value. A total of 108 forecasts were made. To verify the accuracy of the forecasts, graphs of the dynamics of actual and forecast values of the level of air pollution with nitrogen dioxide were constructed. The consistency of actual and prognostic indicators for the study period was noted. The obtained results indicate that the selected predictors well describe the process of air pollution in Odesa in the summer. This forecasting scheme can be recommended for implementation for operational forecasting of urban air pollution by nitrogen dioxide.

Key words: *pollution, atmospheric air, forecasting, predictor.*

Вступ. Якість атмосферного повітря є основою складовою, яка впливає на стан здоров'я населення. У великих містах України з високою концентрацією населення якість атмосферного повітря здебільшого не відповідає вимогам, що можна пояснити великою кількістю автотранспорту, густотою забудови і наявністю значної кількості промислових підприємств.

Для м. Одеса якість атмосферного повітря є критичною важливою складовою, оскільки місто є одним з рекреаційних і курортних центрів України. Поряд з цим Одеса – це місто-мільйонник з великою кількістю автотранспорту, а також вантажоперевезень через наявність на території міста морського порту.

З метою зменшення рівня забруднення атмосферного повітря в регіонах України здійснюється ряд заходів на основі даних моніторингу. Одним з таких заходів є прогнозування забруднення з метою попередження високих рівнів концентрацій окремих забруднюючих речовин (ЗР). Прогнозування дозволяє визначати зміни рівня забруднення певною ЗР в атмосферному басейні міста при стабільно незмінних викидах

комплексу речовин. Прогноз є одним з основних способів вирішення проблем якості атмосферного повітря мегаполісу. Розробка прогностичної схеми забруднення атмосферного басейну міста може дозволити превентивно реагувати на погіршення якості атмосферного повітря.

В останні роки прогностичні схеми розроблялись для різних міст України. У роботі (Кіптенко та ін., 2019) розроблена прогностична схема для м. Маріуполь з урахуванням особливостей метеорологічних умов. Цікавим є врахування економічного підходу при прогнозуванні забруднення повітряного басейну, наведеного авторами роботи (Тимошенко, Ус, 2016). Даний підхід був реалізований для промислових міст Дніпропетровської області. Раніше комплексна робота щодо прогнозування високих рівнів забруднення атмосферного повітря для окремих міст України була виконана співробітниками УкрНДГМІ (Кіптенко, Козленко, 2002; Кіптенко, Козленко, 2007).

Стосовно м. Одеса, то в останні роки виконано декілька робіт, в тому числі комплексних НДР щодо вдосконалення схем прогнозу з ура-

хуванням впливу метеорологічних факторів (Розробка та вдосконалення..., 2017; Чугай, Сердега, 2018). Виходячи з вище викладеного, питання розробки ефективних схем прогнозу забруднення повітряного басейну є важливою і актуальною задачею для регіонів України, в тому числі і для м. Одеса.

Матеріали і методи досліджень. Метою роботи є дослідження практичного використання методу короткострокового прогнозу рівня забруднення атмосферного повітря, розробленого УкрНДГМІ, на незалежному матеріалі різних років.

Прогностична схема була побудована для прогнозування забруднення повітряного басейну м. Одеса діоксидом азоту в літній період. В якості вихідних даних у дослідженні використані значення концентрацій діоксиду азоту за літній період 2013 і 2017 рр., а також синхронізовані з ними метеорологічні параметри. Вихідні дані були надані лабораторією спостережень за забрудненням атмосферного Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів. Також окремі метеорологічні характеристики були визначені за допомогою ресурсу (Deutscher Wetterdiest, 2020).

Основою для складання прогнозу була прогностична схема, розроблена науковцями УкрНДГМІ та апробована для різних міст України (Кіптенко, Козленко, 2002). Прогнозується середня за добу і по місту нормована концентрація кожної домішки Q , яка являє собою відношення абсолютної концентрації до середньосезонної концентрації домішки. Основною вимогою використання даного методу є наявність достатнього лінійного зв'язку між характеристиками забруднення повітря та певними предикторами.

У прогностичну схему можуть включатися такі показники:

- температура повітря (t) в приземному шарі в 03:00 і 15:00 год.;
- різниця між температурою повітря в суміжні дні;
- напрямок (D) та швидкість вітру (V) у 03:00 і 15:00 год.;
- тип синоптичного процесу (C) в 03:00 год.;
- середня за добу і по місту нормована концентрація ЗР за попередню добу (Q').

Оцінка справджуваності проводилась відповідно до груп забруднення згідно «Методичних

вказівок щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України» (КД 52.9.4.01–09, 2010).

Результати дослідження та їх обговорення.

Оскільки прогностична модель заснована на спостереженнях, проведених набагато раніше, то були використані дані перерахунку значень метеопараметрів в середнє значення нормованої концентрації діоксиду азоту за літній період (табл. 1 – 4).

На основі перетворених параметрів, які наведені в табл. 5, було побудовано рівняння множинної регресії.

Так, рівняння множинної регресії для прогнозування вмісту діоксиду азоту в літній період у м. Одеса прийняло такий вид:

$$\bar{Q}_{NO_2} = 0,70Q(V_{03}) + 0,50Q(t_{15}) + 0,70Q(C) + 0,97Q(Q') - 1,87$$

Розрахувавши за допомогою цих рівнянь прогнозовані значення концентрації діоксиду азоту за червень, липень, серпень, було побудовано динаміку фактичних і прогностичних значень Q – рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту за літній період 2013 і 2017 рр. В якості прикладу наведемо динаміку фактичних і прогностичних значень концентрацій за червень 2017 р. (рис. 1).

Аналіз всіх побудованих прогностичних графіків показав, що фактичне значення середньої нормованої концентрації діоксиду азоту у переважній більшості випадків співпадає зі значеннями прогнозованої середньої нормованої концентрації.

Для більш точної оцінки адекватності прогностичної моделі було складено таблиці для оцінки справджуваності прогнозів (приклад наведено у табл. 6).

В цілому за літній період 2013 р. складено 48 прогнозів. Загальна справджуваність прогнозів склала 100 %. При цьому прогнозувалось 0 випадків високого забруднення, 48 – помірного та 0 – низького. Фактично спостерігалось 0 випадків високого забруднення, 48 – помірного та 0 – низького. За літній період 2017 р. було складено 60 прогнозів. Справджуваність прогнозів склала 96,67 % (58 прогнозів з 60 справдилися). З цих прогнозів 0 – високе забруднення, 58 – помірне, 2 – низьке.

Слід відзначити, що окремі результати досліджень були висвітлені у роботах авторів

Таблиця 1

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях швидкості вітру за 03.00 (літо)

$V03$	0	1	2	3	4	5	6	7
Q	1,08	1,02	1,00	0,96	0,95	1,02	1,06	1,02

Таблиця 2

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях температури за 15.00 (літо)

$T15$	5,1 – 10,0	10,1 – 15,0	15,1 – 20,0	20,1 – 25,0	25,1 – 30,0
Q	1,00	0,99	0,99	1,01	0,97

Таблиця 3

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях синоптичної ситуації (літо)

C	1	2	3	4	5	6	7	8
Q	0,88	0,97	0,96	1,06	0,98	0,97	0,85	0,88

Таблиця 4

Середні значення нормованої концентрації NO_2 при різних градаціях нормованої концентрації NO_2 за попередню добу (літо)

Q'	0,0 – 0,3	0,4 – 0,7	0,8 – 1,1	1,2 – 1,5	1,6 – 1,9	2,0 – 2,3
Q	0,55	0,79	0,99	1,25	1,36	-

Таблиця 5

Параметри рівняння регресії

ЗР	Перетворені предиктори									Вільний член
	$T03$	$\Delta T03$	$D03$	$V03$	$T15$	$D15$	$V15$	C	Q'	
	літо									
NO_2	-	-	-	0,70	0,50	-	-	0,70	0,97	-1,87

Таблиця 6

Оцінка справджуваності прогнозу (NO_2 , м. Одеса, червень 2017 р.)

Q	Клас Q	Q'	Клас Q'	Справджуваність
1,01	2	0,99	2	+
1,02	2	0,99	2	+
1,01	2	0,80	2	+
1,07	2	0,92	2	+
1,00	2	1,03	2	+
0,98	2	0,90	2	+
0,92	2	0,85	2	+
1,00	2	0,79	1	-
0,97	2	0,90	2	+
0,94	2	0,93	2	+
0,97	2	0,79	1	-
0,91	2	1,03	2	+
0,95	2	0,95	2	+
0,95	2	1,03	2	+
0,97	2	1,07	2	+
1,00	2	0,96	2	+
0,97	2	1,01	2	+
0,91	2	1,03	2	+

(Терземан, Полетаєва, 2021; Полетаєва, Терземан, 2021).

Висновки. У роботі побудована модель короткострокового прогнозу забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту в м. Одеса для літнього періоду на основі даних фактичних спостережень 2013 і 2017 рр.

Для перевірки справджуваності прогнозів були побудовані графіки динаміки фактичних та прогностичних значень рівня забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту. При цьому відзначено узгодженість фактичних і прогностичних показників за період дослідження.

Виконано оцінку справджуваності за відповідними градаціями. Так, у 2013 р. справджуваність склала 100 % (усі прогностичні значення віднесені до другого класу небезпеки – помірне забруднення), а у 2017 р. – 96,67 % (58 випадків з 60 склали другий клас небезпеки).

Отримані результатами свідчать про те, що предиктори, обрані у методиці короткострокового прогнозу УкрНДГМІ, добре описують процес забруднення атмосфери м. Одеса у літній період. Зазначена прогностична схема може бути рекомендована для впровадження для оперативного прогнозування забруднення атмосфери міста діоксидом азоту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В., Надточій Л.М. Методика короткострокового прогнозу рівнів забруднення атмосферного повітря з урахуванням метеорологічних умов для міста Маріуполь. *Часопис картографії*. 2019. № 20. С. 84–99. URL: http://maptimes.inf.ua/CH_20/Ch20_Article6_Prognosis-of-air-pollution-level.html (дата звернення: 19.02.2022).
2. Тимошенко Л.В., Ус О.М. Еколого-економічні аспекти оцінювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря у промисловому місті. *Економічний вісник*. 2016. № 1. С. 156–168.
3. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Прогнозування рівнів високого забруднення атмосферного повітря у містах України. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2002. Вип. 250. URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24_Kiptenko.pdf (дата звернення: 19.02.2022).
4. Кіптенко Є.М., Козленко Т.В. Вплив метеорологічних умов забруднення повітря у промислових містах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2007. № 13. С. 208–216.
5. Розробка та вдосконалення методів прогнозу метеорологічних умов забруднення атмосфери над промисловими районами Одеси. Звіт про НДР. № ДР 0113U007881. Одеса: ОДЕКУ, 2017. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/2159/1/Zvit_K_Ivus_0113U007881_2017.pdf (дата звернення: 20.02.2022).
6. Чугай А.В., Сердега І.Л. Оцінка метеорологічного потенціалу забруднення атмосфери міст Одеса та Миколаїв. *Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей*. 2018. № 1 (21). С. 76–82.
7. Deutscher Wetterdienst. Електронний ресурс: URL: http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html (дата звернення: 06.11.2020).
8. КД 52.9.4.01–09. Методичні вказівки щодо прогнозування метеорологічних умов формування рівнів забруднення повітря в містах України. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2010. 84 с.
9. Терземан В.В., Полетаєва Л.М. Порівняння двох прогностичних методів забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту у літній період. *Четверта Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку»: збірник матеріалів*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 279–282.
10. Полетаєва Л.М., Терземан В.В. Короткостроковий прогноз забруднення атмосферного повітря міста Одеси діоксидом азоту у літній період 2013 та 2017 років. *Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2021. С. 58–59.

REFERENCES:

1. Kiptenko Ye.M., Kozlenko T.V., Nadtochii L.M. (2019). Metodyka korotkostrokovoho prohnozu rivniv zabrudnennia atmosferneho povitria z urakhuvanniam meteorolohichnykh umov dlia mista Mariupol. [Methods of short-term forecast of air pollution levels taking into account meteorological conditions for the city of Mariupol]. *Chasopys kartohrafi – Journal of Cartography*, 20, 84 – 99. Retrieved from: http://maptimes.inf.ua/CH_20/Ch20_Article6_Prognosis-of-air-pollution-level.html. [in Ukrainian]
2. Tymoshenko L.V., Us O.M. (2016). Ekoloho-ekonomichni aspekty otsiniuvannia ta prohnozuvannia zabrudnennia atmosferneho povitria u promyslovomu misti. [Environmental and economic aspects of air pollution assessment and forecasting in an industrial city]. *Ekonomichniy visnyk – Economic Bulletin*, 1, 156–168. [in Ukrainian]

3. Kiptenko Ye.M., Kozlenko T.V. (2002). Prohnozuvannia rivniv vysokoho zabrudnennia atmosferneho povitria u mistakh Ukrainy. [Forecasting the levels of high air pollution in the cities of Ukraine]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI – Scientific works of UkrNDGMI*, 250. Retrieved from: https://uhmi.org.ua/pub/np/250/24_Kiptenko.pdf. [in Ukrainian]
4. Kiptenko Ye.M., Kozlenko T.V. (2007). Vplyv meteorolohichnykh umov zabrudnennia povitria u promyslovykh mistakh Ukrainy. [Influence of meteorological conditions of air pollution in industrial cities of Ukraine]. *Hidrolohii, hidrokimiia i hidroekolohii – Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 13, 208–216. [in Ukrainian]
5. Rozrobka ta vdoskonalennia metodiv prohnozu meteorolohichnykh umov zabrudnennia atmosfery nad promyslovymy raionamy Odesy. Zvit pro NDR. № DR 0113U007881. (2017). [Development and improvement of methods for forecasting meteorological conditions of air pollution over industrial areas of Odessa. Research report. № SR 0113U007881]. Odessa. Retrieved from: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/2159/1/Zvit_K_Ivus_0113U007881_2017.pdf. [in Ukrainian]
6. Chugai A.V., Serdeha I.L. (2018). Otsinka meteorolohichnoho potentsialu zabrudnennia atmosfery mist Odesa ta Mykolaiv. [Estimation of meteorological potential of air pollution of the cities of Odessa and Mykolayiv]. *Vestnyk Hydromettsentra Chernoho y Azovskoho morei – Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*, 1 (21), 76–82. [in Ukrainian].
7. Deutscher Wetterdiest. (2020). Retrieved from: http://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html [in German].
8. KD 52.9.4.01–09. Metodychni vказivky shchodo prohnozuvannia meteorolohichnykh umov formuvannia rivniv zabrudnennia povitria v mistakh Ukrainy. (2010). [GD 52.9.4.01-09. Guidelines for forecasting meteorological conditions for the formation of air pollution levels in the cities of Ukraine]. Kyiv. [in Ukrainian].
9. Terzeman V.V., Poletaieva L.M. (2021). Porivniannia dvokh prohnostychnykh metodiv zabrudnennia atmosferneho povitria mista Odesy dioksydom azotu u litnii period. [Comparison of two prognostic methods of air pollution of the city of Odessa with nitrogen dioxide in the summer]. *Chetverta Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Ekolohichni problemy navkolyshnoho seredovyscha ta ratsionalnoho pryrodokorystuvannia v konteksti staloho rozvytku»: zbirnyk materialiv*. Kherson, 279–282. [in Ukrainian].
10. Poletaieva L.M., Terzeman V.V. (2021). Korotkostrokovyi prohnoz zabrudnennia atmosferneho povitria mista Odesy dioksydom azotu u litnii period 2013 ta 2017 rokiv. [Short-term forecast of air pollution of the city of Odessa with nitrogen dioxide in the summer of 2013 and 2017]. *Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh «Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii»*. Zhytomyr, 58–59. [in Ukrainian].

ЗМІСТ

Людмила ГЕРАСИМЧУК, Руслана ВАЛЕРКО, Єлизавета ЗАЛУЖНА ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕРИТОРІЙ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ОБСЯГАМИ УТВОРЕННЯ ВІДХОДІВ.....	3
Ольга КАРАЇМ, Мирослава АХНЮК, Зоряна ЛАВРИНЮК, Олена ДЖАМ, Любомир ГУЛАЙ ГІДРОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД В АСПЕКТІ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ РІЧКИ ЖИДУВКА.....	10
Людмила КЛИМЕНКО СТАН РЕКРЕАЦІЙНИХ ЗОН МІСТА РІВНОГО.....	18
Алла КОЛІСНИК, Заряна НАКОНЕЧНА ОЦІНКА СТАНУ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ МІСТА ОДЕСИ ЗА КОМПЛЕКСНИМ ІНДЕКСОМ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ.....	25
Валентина ЛИТВИН, Марина СЕМЕНОВА, Юлія СМЕТЕНКО ЗАЛІЗО-КАРБОНОВІ НАНОКОМПОЗИТИ НА ОСНОВІ СИНТЕТИЧНИХ ГУМІНОВИХ РЕЧОВИН ТА ЇХ МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ.....	31
Галина МАРТИНЮК, Олена АКСІМЕНТЬЄВА ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ ГІБРИДНИХ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТИВ.....	40
Алла ПРИЩЕПА, Ольга ВАРЖЕЛЬ ДІАГНОСТИКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ РЕСУРСНОЇ СКЛАДОВОЇ.....	46
Наталія САВІНЧУК, Алла ВАСЬКЕВИЧ, Ніна ЯКОВИЧУК, Аліна ГРОЗАВ, Ангеліна ВАСЬКЕВИЧ, Ольга ПАНЧУК, Леся САЛІЄВА, Наталія СЛИВКА, Михайло ВОВК ОЦІНКА ПРОТИМІКРОБНОЇ ДІЇ ХАЛЬКОГЕНОВМІСНИХ ПІРОЛО[1,2-А]ХІНАЗОЛІН-5(1Н)-ОНІВ.....	54
Наталія СИРОТА, Сергій КЕМСЬКИЙ, Ніна ЯКОВИЧУК, Аліна ГРОЗАВ, Леся САЛІЄВА, Наталія СЛИВКА, Михайло ВОВК ОЦІНКА ПРОТИМІКРОБНОЇ АКТИВНОСТІ 5-ГІДРОКСИ(СУЛЬФАНІЛ)[1,2,3]ТРИАЗОЛО[4,5-Е][1,4] ДІАЗЕПІНІВ.....	64
Олена СТАДНІЧУК, Лілія КРОПИВНИЦЬКА, Людмила КУЧЕР ЗАБРУДНЕННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ПИТНОЇ ВОДИ НІТРАТАМИ ТА ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ.....	71
Ольга ЧЕРБА, Володимир КВАСОВ ОЦІНЮВАННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ.....	81
Ангеліна ЧУГАЙ, Лариса ПОЛЕТАЄВА, Володимир ТЕРЗЕМАН КОРОТКОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСТА ОДЕСА ДІОКСИДОМ АЗОТУ.....	88

CONTENTS

<i>Liudmyla HERASYMCHUK, Ruslana VALERKO, Yelyzaveta ZALUZHNA</i> ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF ZHYTOMYR REGION TERRITORIES BY VOLUME OF WASTE GENERATION.....	3
<i>Olha KARAIM, Myroslava AKHNIUK, Zoryana LAVRYNYUK, Olena DZHAM, Lubomir GULAY</i> HYDROCHEMICAL ANALYSIS OF THE SURFACE WATER IN THE ASPECT OF MANAGEMENT OF THE WATER RESOURCES OF THE ZYDUWKA RIVER.....	10
<i>Liudmyla KLYMENKO</i> THE STATE OF RECREATION AREAS OF RIVNE.....	18
<i>Alla KOLISNYK, Zaryana NAKONECHNAYA</i> ASSESSMENT OF THE CONDITION OF THE AIR BASIN OF THE ODESA CITY ACCORDING TO THE COMPLEX INDEX OF ATMOSPHERIC POLLUTION.....	25
<i>Valentina LITVIN, Marina SEMENOVA, Yulia SMETENKO</i> IRON CARBON NANOCOMPOSITES BASED ON SYNTHETIC HUMIC SUBSTANCES AND THEIR MAGNETIC PROPERTIES.....	31
<i>Galyna MARTYNIUK, Olena AKSIMENTYEVA</i> INVESTIGATION OF CONDITIONS OF FORMATION AND MICROHARDNESS OF HYBRID ORGANIC-INORGANIC COMPOSITES.....	40
<i>Alla PRYSHCHEPA, Olga VARZHEL</i> DIAGNOSTICS OF ECOLOGICAL SAFETY OF RIVNE REGION ACCORDING TO THE INDICES OF RESOURCE COMPONENT.....	46
<i>Nataliya SAVINCHUK, Alla VASKEVYCH, Nina YAKOVYCHUK, Alina GROZAV, Anhelina VASKEVYCH, Olha PANCHUK, Lesya SALIYEVA, Nataliia SLYVKA, Mykhailo VOVK</i> EVALUATION OF ANTIMICROBIAL ACTION OF CHALCOGEN-CONTAINING PYRROLO[1,2-A] QUINAZOLIN-5(1H)-ONES.....	54
<i>Nataliia SYROTA, Serhiy KEMSKIY, Nina YAKOVYCHUK, Alina GROZAV, Lesya SALIYEVA, Nataliia SLYVKA, Mykhailo VOVK</i> EVALUATION OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF 5-HYDROXY(SULFANYL)[1,2,3]TRIASOLO[4,5-E][1,4]DIAZEPINES.....	64
<i>Olena STADNICHUK, Lilia KROPYVNYTSKA, Liudmyla KUCHER</i> CONTAMINATION OF DECENTRALIZED DRINKING WATER SOURCES WITH NITRATES AND RISK ASSESSMENT OF POPULATION HEALTH.....	71
<i>Olga CHERBA, Volodymyr KVASOV</i> ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT.....	81
<i>Angelina CHUGAI, Larysa POLETAIEVA, Volodymyr TERZEMAN</i> SHORT-TERM FORECAST OF AIR POLLUTION IN ODESSA WITH NITROGEN DIOXIDE.....	88

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Випуск 1

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Юрій Васильович Ковальчук

Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсет. Цифровий друк. Ум.-друк. арк. 11,16. Замов. № 0522/169. 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.