

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 6

Науковий журнал,
заснований у 2022 році



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка
(протокол № 22 від 27.12.2023 року).

Головний редактор

Овчаренко Микола – габлітований доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, професор Інституту біології та охорони середовища Поморської академії наук (Слупськ, Республіка Польща)

Заступник головного редактора

Шелюк Юлія – доктор біологічних наук, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Відповідальний секретар

Пацюк Марина – кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Члени редакційної колегії

Атасарал Шебнем – доктор наук, професор відділу розробки технології рибальства факультету морських наук Караденізького технічного університету (Трабзон, Турецька Республіка)

Балашова Галина – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу біотехнології, овочевих культур та картоплі, Інститут зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, Україна)

Біляєва Ірина – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу маркетингу, трансферу інновацій та економічних досліджень Інституту зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, Україна)

Боймуродов Хуснідін – доктор біологічних наук, професор кафедри біотехнології Самаркандського інституту ветеринарної медицини (Самарканд, Республіка Узбекистан)

Власенко Руслана – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Воловик Володимир – доцент, професор кафедри географії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (Вінниця, Україна)

Гарбар Олександр – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Жовнерчук Ольга – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України (Київ, Україна)

Зайонц Тадеуш – доктор біологічних наук, професор Інституту захисту природи Польської академії наук (Краків, Польща)

Киричук Галина – доктор біологічних наук, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кичкирук Ольга – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Корнійчук Наталія – кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кусяк Наталія – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Кюрчев Володимир – доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН, радник ректора, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (Мелітополь, Україна)

Лаврик Олександр – доктор географічних наук, професор кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Листван Віталій – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Малярчук Микола – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу зрошуваного землеробства Інституту зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, Україна)

Мудрак Галина – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету (Вінниця, Україна)

Нестерчук Інна – кандидат географічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Оксентюк Ярослава – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри медико-біологічних дисциплін Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Островський Ілля – доктор філософії (біологія/лімнологія), професор, старший науковий співробітник Інституту Океанографії і Лімнології, Кінеретська лімнологічна лабораторія (Хайфа, Ізраїль)

Пілярська Олена – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник відділу інноваційної діяльності, трансферу технологій та інтелектуальної власності, Інститут зрошуваного землеробства НААН України (Херсон, Україна)

Семенюк Наталія – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту гідробіології НАН України (Київ, Україна)

Сидоренко Сергій – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник лабораторії екології лісу, Українського ордена «Знак пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького Державного агентства лісових ресурсів України та НАН України (Харків, Україна)

Стадниченко Агнеса – доктор біологічних наук, професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Стунженас Вірмантас – доктор філософії (біологія і екологія), науковий співробітник лабораторії паразитології Центру дослідження природи Інституту екології (Вільнюс, Литовська Республіка)

Тітов Юрій – доктор хімічних наук, старший науковий співробітник Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)

Томашик Василь – доктор хімічних наук, професор Інституту фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України (Київ, Україна)

Хом'як Іван – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Чайка Микола – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Чехній Віктор – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту географії НАН України (Київ, Україна)

Чумак Володимир – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії Житомирського державного університету імені Івана Франка (Житомир, Україна)

Наукове періодичне видання

Український журнал природничих наук: науковий журнал / [гол. ред. Овчаренко Микола, відп. ред. Шелюк Юлія]. Житомир: 2023. № 6. 168 с.

Свідоцтво про державну реєстрацію: Серія КВ № 25169-15109Р від 09.06.2022

Фахова реєстрація (категорія «Б»): Наказ МОН України № 491 від 27.04.2023 року (додаток 3)

Спеціальності: 091 Біологія, 101 Екологія, 102 Хімія, 106 Географія, 201 Агрономія;
(галузі науки: біологічні, хімічні, географічні, сільськогосподарські)

Сайт видання: journals.univ.zhitomir.ua/index.php/ujns
Макетування: Молодецька О. І.

В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.

Підписано до друку 28.12.2023 р. Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 19,53. Обл.-вид. арк 20,25. Тираж 300. Замовлення 0124/036

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

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

© Житомирський державний університет імені Івана Франка, 2023

Ministry of Education and Science of Ukraine
Zhytomyr Ivan Franko State University

Ukrainian Journal of Natural Sciences

№ 6

Scientific journal,
founded in 2022



Publishing House
"Helvetica"
2023

*Approved for publication by the Academic Council of Zhytomyr Ivan Franko State University
(protocol № 22 dated from 27.12.2023).*

Editor-in-chief

Ovcharenko Mykola – Doctor habilitatus of Sciences (Biology), Senior Researcher, Professor of Institute of Biology and Earth Sciences Pomeranian University in Słupsk (Słupsk, Republic of Poland)

Co-editor-in-chief

Shelyuk Yulya – Doctor of Sciences (Biology), Professor of Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biodiversity Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Executive Secretary

Patsyuk Maryna – PhD (Biology), Associate Professor of Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biological Diversity Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Members of the Editorial Board

Atasaral Şebnem – Doctor Sciences in Fisheries Technology Engineering, Assistant Professor of the Department of Fisheries Technology Engineering of Karadeniz Technical University (Trabzon, Turkey)

Balashova Halyna – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher, Head of Biotechnology, Vegetables and Potatoes Department of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

Biliaieva Iryna – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher, Head of the Department of Marketing, Innovation Transfer and Economic Research of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

Boymurodov Husniddin – Doctor of Sciences (Biology), Professor of Biotechnology Department of Samarkand Institute of Veterinary and Medicine (Samarkand, Uzbekistan Republic)

Vlasenko Ruslana – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Volovyk Volodymyr – Doctor of Sciences (Geography), Professor of the Department of Geography Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi Pedagogical University (Vinnytsia, Ukraine)

Harbar Oleksandr – Doctor of Sciences (Biology), Professor, Head of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Zhovnerchuk Olga – PhD (Biology), Senior Researcher of I. I. Schmalhausen Institute of Zoology NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Zajac Tadeusz – PhD (Biology), Professor of the Institute of Nature Conservation of the Polish Academy of Sciences (Krakow, Poland)

Kyrychuk Halyna – Doctor of Sciences (Biology), Professor of Department of Botany, Biological Resources and Conservation of Biological Diversity Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Kychkyruk Olga – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Korniichuk Nataliia – PhD (Biology), Associate Professor of Department of Medical and Biological Bases of Physical Education and Sport Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Kusiak Nataliia – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Kyurchev Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dmytro Motomyi Tavria State Agrotechnological University, (Melitopol, Ukraine)

Lavryk Oleksandr – Doctor of Sciences (Geography), Professor of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Lystvan Vitalii – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Maliarchuk Mykola – Doctor of Sciences (Agricultural), Senior Researcher of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

Mudrak Halyna – PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection, Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine)

Nesterchuk Inna – PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Oksentiuk Yaroslava – PhD (Biology), Senior Lecturer of Department of Medical and Biological Bases of Physical Education and Sport Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Ostrovsky Iliia – PhD (Aquatic Biology/Limnology), Professor, Senior Scientist of Israel Oceanographic and Limnological Research, Yigal Allon Kinneret Limnological Laboratory (Haifa, Israel)

Piliarska Olena – PhD (Agricultural), Senior Researcher, Head of the Department of Marketing, Innovation Transfer and Economic Research of Institute of Irrigated Agriculture NAAS of Ukraine (Kherson, Ukraine)

Semenyuk Nataliia – Doctor of Sciences (Biology), Senior Researcher of Institute of Hydrobiology NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Sydorenko Serhii – PhD (Agricultural), Senior Researcher Laboratory of Forest Ecology, *Ukrainian order “Sign of Honour” Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky* State Forest Resources Agency of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Stadnychenko Agnesa – Doctor of Sciences (Biology), Professor of Department of Zoology, Biological Monitoring and Nature Conservation Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Stunžėnas Virmantas – PhD (Biology and Ecology), Senior researcher of Parasitology laboratory of the Nature Research Centre of the Institute of Ecology (Vilnius, Lithuania)

Titov Yuriy – Doctor of Sciences (Chemistry), Senior Research at Taras Shevchenko National University (Kyiv, Ukraine)

Tomashyk Vasyl – Doctor of Sciences (Chemistry), Professor of Lashkariov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Khomyak Ivan – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Geography Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Chayka Mykola – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Chekhniy Viktor – PhD (Geography), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute of Geography of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Chumak Volodymyr – PhD (Chemistry), Associate Professor of the Department of Chemistry Zhytomyr Ivan Franko State University (Zhytomyr, Ukraine)

Scientific Periodical

Ukrainian Journal of Natural Sciences/ [editor **Ovcharenko Mykola**, co-editor-in-chief **Sheliuk Yuliia**].
Zhytomyr: 2023. № 6. 168 p.

Certificate of state registration: Series KB № 25169-15109P dated 09.06.2022

Professional registration (category «B»): Decree of MES No. 491 (Annex 3) dated 27.04.2023

Specialties: 091 Biology, 101 Ecology, 102 Chemistry, 106 Geography, 201 Agronomy;
(fields of science: biological, chemical, geographical, agricultural)

Website: journals.univ.zhitomir.ua/index.php/ujns
Modelling: Molodetska O. I.

Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles.

Signed for printing 28.12.2023 p. Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman
Risograph printing. Conventional printed sheets 19.53. Printed sheets 20.25. Number of copies 300. Order 0124/036

Publishing House "Helvetica" 65101,
Ukraine, Odessa, 6/1 Inglizi St.
Telephone: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of a publishing entity ДК No 7623 dated 22.06.2022

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

© Zhytomyr Ivan Franko State University, 2023



БІОЛОГІЯ

УДК 574(477.51)

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.1>

СИНТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД ТА АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕНОСТІ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ПРИБЕРЕЖНО-ВОДНОЇ ТА ВОДНОЇ РОСЛИННОСТІ ЕКОСИСТЕМ ЗАПЛАВИ РІЧОК СНОВ, РЕВНА, ІРПА В МЕЖАХ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

О. Б. Мехед¹, С. В. Кирієнко²

Здатність вищих водних рослин та донних відкладів накопичувати речовини в концентраціях, що перевищують їх значення у водному середовищі, зумовила їх використання у системі моніторингу та контролю стану водойм. Метою дослідження було проаналізувати сучасний стан рослинності та техногенного забруднення прибережно-водних та водних екосистем річок в межах Чернігівської області. Дослідження ґрунтувалися на геоботанічному вивченні екосистем та хімічному аналізу води і донних відкладень на вміст важких металів, визначенні ступеня забруднення окремих видів рослин важкими металами. За результатами складено продромус синтаксонів водної та прибережно-водної рослинності екосистем річок Снов, Ревна та Ірпа, який включає 4 класи, 8 порядків, 11 союзів і 36 асоціації. Проаналізовано динаміку вмісту та особливості міграції важких металів (Zn, Mn, Fe, Co, Ni, Pb) у воді малих річок Чернігівщини. Хімічний аналіз проб води показав перевищення вмісту заліза і мангану у воді всіх річок, у донних відкладеннях відмічено перевищення вмісту міді від 1,1 до 3 разів. Найбільше міді виявлено у органах *Sium latifolium* L, цинку – у *Lemna trisulca* L., вміст свинцю і кадмію не перевищує фоновий. У всіх зразках зафіксоване значне підвищення вмісту цинку – від 12,11 мг/кг (*Poa pratensis* L) до 22,17 мг/кг (*Lemna trisulca* L), при фоновому вмісті – 1,41 мг/кг. Серед екологічних груп найбільший коефіцієнт накопичення міді, цинку, свинцю і кадмію зафіксовано у ряски триборозенчатої, яку можна вважати акумулятивним індикатором хімічного забруднення водойм.

Підвищений фоновий уміст хімічних елементів у донних відкладах часто просторово збігається з поширенням на водозбірних площах ґрунтових різновидів, які також відзначаються високим умістом цих елементів.

Ключові слова: екологічний стан річок, важкі метали, забруднення, донні відкладення, екологічні групи рослин, синтаксономія.

¹ кандидат біологічних наук, доктор педагогічних наук, професор, завідувачка кафедри біології (Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів) e-mail: mekhedolga@gmail.com ORCID: 0000-0001-9485-9139

² кандидат біологічних наук доцент кафедри екології, географії та природокористування (Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів) e-mail: vettavl@ukr.net ORCID: 0000-0002-2960-8656

SYNTAXONOMIC COMPOSITION AND ANALYSIS OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF COASTAL WATER AND AQUATIC VEGETATION ECOSYSTEMS OF THE FLOODPLAIN OF THE SNOV, REVNA, AND IRPA RIVERS WITHIN THE CHERNIHIV REGION

O. B. Mehed, S. V. Kiriienko

The ability of higher aquatic plants and bottom sediments to accumulate substances in concentrations exceeding their values in the aquatic environment has led to their use in the system of monitoring and control of the state of water bodies.

The purpose of the study was to analyse the current state of vegetation and anthropogenic pollution of coastal and aquatic ecosystems of rivers within the Chernihiv region. The research was based on the geobotanical study of ecosystems and chemical analysis of water and bottom sediments for heavy metals, as well as determining the degree of heavy metal contamination of certain plant species. Based on the results, a prodromus of syntaxa of aquatic and riparian vegetation of the ecosystems of the Snov, Revna and Irpa rivers was compiled, which includes 4 classes, 8 orders, 11 unions and 36 associations. The dynamic of content and peculiarities of migration of heavy metals in small rivers of Chernihiv region were analyzed (Zn, Mn, Fe, Co, Ni, Pb).

*Chemical analysis of water samples showed an excess of iron and manganese in the water of all rivers, and an excess of copper in the bottom sediments ranging from 1.1 to 3 times. The highest levels of copper were found in the organs of *Sium latifolium* L, zinc – *Lemna trisulca* L, the content of lead and cadmium did not exceed the background level. A significant increase in zinc content was recorded in all samples – from 12.11 mg/kg (*Poa pratensis* L) to 22.17 mg/kg (*Lemna trisulca* L), with a background content of 1.41 mg/kg. Among the ecological groups, the highest coefficient of accumulation of copper, zinc, lead and cadmium was recorded in triborozean duckweed, which can be considered an accumulative indicator of chemical pollution of water bodies. Elevated background levels of chemical elements in sediments often spatially coincide with the distribution of soil types in the catchment areas that are also characterised by high levels of these elements.*

Key words: ecological state of rivers, heavy metals, pollution, bottom sediments, ecological groups of plants, syntaxonomy.

Вступ

Водні екосистеми, як елементи природного середовища, відчувають значний вплив антропогенного фактора. В більшості випадків система контролю базується на аналізі водного середовища, але його динамічність та нестійкість концентрації хімічних елементів значно знижують поінформованість даних. На теперішній час при оцінці стану водних об'єктів велике значення надається аналізу депонуючих середовищ, зокрема вищої водної рослинності та донних відкладів (Власов, 2002). Здатність вищих водних рослин та донних відкладів накопичувати речовини в концентраціях, що перевищують їх значення у водному середовищі, зумовила їх використання у системі моніторингу та контролю стану навколишнього середовища. Аквафлора займає особливе місце у рослинному світі завдяки специфічним морфологічним, біологічним та екологічним особливостям гідрофітів. Видовий склад та поширення водної рослинності залежать від особливостей морфологічної будови водного об'єкту, а також від фізичних і хіміч-

них властивостей доквілля. Вищі водні рослини становлять невід'ємний компонент водної екосистеми, формують біологічну різноманітність, є біологічними ресурсами, індикаторами стану водного середовища. Вони створюють основну частину первинної органічної речовини – матеріальну та енергетичну основу існування водних та навколоводних тварин, змінюють газовий режим води, беруть участь в обміні макрота мікроелементів, а також трансформації донних відкладів.

Забруднення води важкими металами є одним з основних видів забруднення, яке може негативно позначитися на біотичній спільноті у водних екосистемах. Важкі метали мають особливе значення в екотоксикології, оскільки вони дуже стійкі і потенційно можуть бути токсичними для живих організмів (Kamarguzaman et al., 2020).

Прибережно-водні та водні екосистеми у всьому світі постійно знаходяться під загрозою забруднення: евтрофікація, токсичні речовини, важкі метали, замулення внаслідок антропогенної діяльності (Tavakoly Sany et al., 2013). Близько 80% забруднень водних

екосистем відбувається через промислову, сільськогосподарську та іншу антропогенну наземну діяльність (Tiquio et al., 2017).

Хімічний склад рослин, як відомо, відображає елементний склад ґрунтів та води, тому надмірне накопичення важких металів рослинами обумовлено, насамперед, їх високими концентраціями у ґрунтах та воді. Однак здатність ґрунтів зв'язувати та інактивувати важкі метали має свої межі, тому важливе значення набуває наявність у самих рослин фізіолого-біохімічних механізмів, що перешкоджають їх надходженню (Трус та ін., 2021). Іншим шляхом надходження важких металів до рослин є їх некоренева поглинання з повітряних потоків. Воно має місце при значному випадінні металів з атмосфери на листовий апарат, найчастіше поблизу великих промислових підприємств. Надходження елементів до рослин через листя (або фоліарне поглинання) відбувається, головним чином, шляхом неметаболічного проникнення через кутикулу. Важкі метали, поглинені листям, можуть переноситися до інших органів і тканин та включатися в обмін речовин. Показник ефективності переходу окремих важких металів у тканини рослин значно коливається залежно від їх виду (Гришко та ін., 2012).

Вивчення стану рослинності прибережно-водних та водних екосистем території досліджень проводилося фрагментарно (Дубина, 2006; Андрієнко, 2006; Аніщенко, 2014; Лукаш, 2014). Також епізодично проводилися і спеціальні дослідження рослинності та техногенного забруднення біотопів північних регіонів Чернігівщини (у прикордонній смугі з Брянською областю) (Лукаш та ін., 2012; Аніщенко, 2014). Тому метою дослідження було проаналізувати сучасний стан рослинності та техногенного забруднення прибережно-водних та водних екосистем річок Снов, Ревна і Ірпа.

Матеріал і методи

Дослідження проводилися протягом 2019–2021 рр. на річках Новгород-Сіверського району Чернігівської області: Снов, Ревна та Ірпа. Описи рослинності проводилися на ділянках з однорідними умовами – слабковиражені долини і широкі заплави, без значної течії. Об'єктами досліджень були прибережно-водні екосистеми. Було проаналізовано екосистеми трьох річок: р. Снов, права притока р. Десни (182 км, с. Тимоновичі, Семенівської громади Новгород-Сіверського району); р. Ірпа,

права притока р. Снов (2 км, с. Городок, Семенівської громади Новгород-Сіверського району) та р. Ревна, ліва притока р. Снов (52 км, с. Леонівка, Семенівської громади Новгород-Сіверського району). Програма досліджень включала геоботанічне вивчення та еколого-флористичну класифікацію за методом Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964; Matuszkiewicz W., 2001.) прибережно-водних та водних екосистем; відбір зразків рослин, проб донних відкладів та води прибережно-водних та водних екосистем для хімічного аналізу на вміст важких металів; порівняльний аналіз ступеня забруднення видів рослин прибережно-водних та водних екосистем з акумуляції важких металів.

Для визначення хімічного складу фітомаси відбір рослинного матеріалу проводили на вибраних ділянках річок вручну. Видовий склад визначали за визначниками вищих рослин України. Після доставки рослинного матеріалу до лабораторії його висушували до повітряно-сухого стану при температурі 65 °С. Для визначення важких металів рослинний матеріал подрібнювали та спалювали в муфельній печі (сухий спосіб мінералізації), потім отриману золу переводили солянокислою витяжкою в мірні колби, і проводили визначення важких металів за методикою спектрального аналізу (Скоробагатий, 1993).

Для визначення акумуляції важких металів було використано коефіцієнт біологічного накопичення (КБН). КБН показує здатність рослин вибірково поглинати хімічні елементи. Його обчислювали за формулою: $КБН = \frac{\text{вміст елемента в рослині}}{\text{вміст у ґрунті}}$. Вважається, якщо $КБН > 1$, то рослина є концентратором досліджуваного елемента. Якщо $КБН < 1$, то вид не акумулює метал у своєму організмі (Аніщенко та ін., 2014).

Визначення донних відкладів проводився пробовідбірником ГР-89. Відібрані проби донних відкладів після доставки до лабораторії висушували до повітряно-сухого стану у фарфорових чашках при температурі 75 °С. Потім проби подрібнювали в агатовій ступці та упаковували в поліетиленові пакети для подальшого елементного аналізу (Методи ..., 2019).

Відбір проб води із природних горизонтів водної товщі виконували батометром ПВ-1,0. Пробу води відбирали в зоні скупчення водних рослин на глибині 20–30 см від поверхні. Об'єм проби води на хімічний

аналіз становив 2 л. Крім того, попередня обробка, транспортування та зберігання проб проводили таким чином, щоб у вмісті та складі визначених компонентів та властивостях води не відбувалося істотних змін. Для цього пробу води консервували хлороформом (додавали 2–4 мл CHCl_3 на 1 л проби). У день відбору проби доставляли до лабораторії, де їх фільтрували та аналізували на предмет вмісту важких металів (Pb, Cd, Cu, Mn, Ni, Co, Cr, Fe). Аналізи виконували в спеціалізованій лабораторії. У залежності від загальної площі водойми була проведена серія відборів води, на різних ділянках водойми з метою одержання узагальнених результатів їх гідрохімічного стану. У таблицях наведено усереднені показники. Порівняння ГДК проводили за ДСанПіН 2.2.4-171-10 (Гігієнічні вимоги до води, 2010.) Згідно з ним ГДК у воді для міді – 0,001 мг/дм³, цинку – 0,01 мг/дм³, заліза – 0,1 мг/дм³, хрому – 0,001 мг/дм³, свинцю – 0,1 мг/дм³, нікелю – 0,01 мг/дм³, кадмію – 0,005 мг/дм³. Отримані експериментальні дані опрацьовані загальноприйнятими методами варіаційної статистики.

Результати та обговорення

Відповідно до класифікації річок України р. Снов відноситься до середніх річок, р. Ревна та р. Ірпа – до малих річок. Річка Снов є правою притокою р. Десна, бере початок біля села Сновське (Риловичі) біля міста Новозибкова Брянської області. Протягом 20 км річкою проходить кордон України та Росії. Річка Снов впадає в р. Десна за 12 км вище Чернігова. Довжина річки 253 км (в тому числі по території Семенівської громади 41,2 км), площа басейну річки 8700 м², долина річки 10–12 м, заплава 60 м. Переважна ширина долини 1,5–4 км, річища – від 4 до 14 м у верхів'ї, до 20–40 м у нижній течії, найбільша – 200 м. Витрати води – 24 м³/с. Основне живлення снігове. Замерзає в листопаді – грудні, скресає в квітні. Використовується для водопостачання, в нижній течії судноплавна. На східній частині міста Семенівка протікає р. Ревна – ліва притока р. Снов. Вона має

загальну довжину 81 км (в тому числі по території Семенівської громади – 71,4 км), ширина русла 7–10 м, глибина 0,5–3 м, швидкість течії 0,1 м/сек, нахил русла 30 м на 1 км, ширина заплави річки 2 км, площа річкового басейну 1660 м². Основне живлення – снігове, в зимовий період – підземними джерелами. Річка Ірпа є правою притокою річки Снов (Новгород-Сіверський район), довжина річки 35 км, площа басейну – 491 км². Бере початок на північний схід від села Попівка. Долина коритоподібна, ширина до 2,5 км, глибина до 20 м. Заплава широка (до 1,5 км), подекуди заболочена. Річище завширшки 5 м. Похил річки 0,7 м/км. Живлення снігове і дощове. Замерзає наприкінці листопада, скресає у березні.

За комплексною оцінкою якості на основі індексу забруднення води (ІЗВ), води річок Снов, Ревна та Ірпа можна віднести до 3 класу якості (помірно забруднена) ($1,0 < \text{ІЗВ} \leq 2,5$).

Хімічний аналіз проб води р. Снов (табл. 1) показав, що перевищення значення ГДК по мангану спостерігалось у 2021р. – у 7,1 рази; у 2020 році – у 5,9 рази та у 2019 р. – у 4,7 рази. По залізу було незначне перевищення у 2019 р. та у 2021р. – у 1,1 та 1,4 рази відповідно. І лише у 2020 р. вміст заліза виявився нижчим за ГДК. Інші елементи – мідь, кобальт, свинець, хром та нікель не перевищували значень ГДК.

Хімічний аналіз проб донних відкладів (таблиця 2) р. Снов показав, що за вмістом міді в 2020 р. донні відклади перевищували ГДК більш ніж у 3 рази, в 2021 р. вміст міді виявився вищим за норму в 1,3 рази. За іншими досліджуваними елементами не встановлено перевищення гранично допустимої концентрації.

Аналіз проб води р. Ревна (табл. 3) показав, що було виявлено перевищення ГДК по залізу тільки у 2020 р., але за кількістю мангану перевищення відзначалося у всі роки (у 6,3; 8,3 та 6,6 рази відповідно). За рештою елементів не виявлено перевищення ГДК у воді.

Таблиця 1

Вміст важких металів у воді р. Снов

Рік	Вміст важких металів, мг/л								
	Fe	Mn	Cu	Zn	Co	Cd	Pb	Cr	Ni
2019	0,334	0,474	0,0025	0,054	<0,001	0,0015	0,0079	<0,001	<0,0010
2020	0,290	0,591	<0,0010	0,046	<0,001	0,0007	0,0039	<0,001	<0,0010
2021	0,412	0,712	0,0027	0,076	<0,001	<0,0001	0,0064	<0,001	<0,0010

Таблиця 2

Вміст важких металів у донних відкладах р. Снов

Рік	Вміст важких металів, мг/кг							
	Mn	Cu	Zn	Co	Cd	Pb	Cr	Ni
2019	68,35	2,49	8,55	0,48	0,089	0,75	0,6741	0,368
2020	28,00	11,06	19,22	0,59	0,126	4,12	1,5494	2,989
2021	11,77	3,89	7,44	<0,09	0,073	5,63	0,0864	1,2920

Таблиця 3

Вміст важких металів у воді р. Ревна

Рік	Вміст важких металів, мг/л								
	Fe	Mn	Cu	Zn	Co	Cd	Pb	Cr	Ni
2019	0,122	0,638	0,0001	0,0093	<0,001	0,0026	0,0024	<0,001	0,0040
2020	0,436	0,829	<0,0010	0,0065	<0,001	0,0004	0,0109	<0,001	<0,0010
2021	0,254	0,658	0,0034	0,0028	<0,001	<0,0001	<0,001	<0,001	<0,0010

Аналізом проб донних відкладів р. Ревна (табл. 4) було встановлено, що за всіма досліджуваними елементами перевищення ГДК не спостерігалось.

Аналіз вмісту важких металів (табл. 5) у воді р. Ірпа виявив, що у всі роки вміст мангану перевищував ГДК у 3,1–8,3 рази. У 2020 р. та 2021 р. вміст заліза був дещо вище ГДК (у 2,1 та 1,5 рази відповідно). Вміст інших елементів відповідав вимогам нормативу.

Аналіз вмісту важких металів у донних відкладах р. Ірпа (таблиця 6) показав, що тільки вміст міді дещо перевищував ГДК

(у 1,1–1,5 рази), інші елементи відрізнялися нижчими за рівень ГДК вмістом.

За результатами проведених досліджень рослинного покриву було складено продромус синтаксонів водної та прибережно-водної рослинності екосистем річок Снов, Ревна та Ірпа.

Продромус синтаксонів прибережно-водної та водної рослинності:

Клас Lemnetea R. Tx 1955

Порядок *Lemnetalia minoris* R. Tx 1955

Союз *Lemnion minoris* R. Tx. ex de Bolos et Masclans 1955

Таблиця 4

Вміст важких металів у донних відкладах р. Ревна

Рік	Вміст важких металів, мг/кг							
	Cu	Zn	Co	Mn	Pb	Cd	Ni	Cr
2019	0,83	3,21	<0,025	64,55	1,33	<0,07	0,67	0,76
2020	0,17	3,67	<0,025	80,41	<0,33	<0,07	<0,2	0,31
2021	0,57	1,54	<0,025	58,16	<0,33	<0,07	<0,2	0,22

Таблиця 5

Вміст важких металів у воді р. Ірпа

Рік	Вміст важких металів, мг/л								
	Fe	Mn	Cu	Zn	Co	Cd	Pb	Cr	Ni
2019	0,112	0,314	0,0026	0,0094	< 0,01	<0,0001	<0,0010	<0,001	<0,001
2020	0,631	0,831	0,0011	0,0059	< 0,01	<0,0001	<0,0010	<0,001	<0,001
2021	0,447	0,569	0,0015	0,0029	< 0,01	<0,0001	<0,0010	<0,001	<0,001

Таблиця 6

Вміст важких металів у донних відкладах р. Ірпа

Рік	Вміст важких металів, мг/кг							
	Mn	Cu	Zn	Co	Cd	Pb	Cr	Ni
2019	11,28	3,34	1,781	<0,09	0,144	0,24	0,043	<0,060
2020	8,22	4,29	1,870	<0,09	0,105	0,10	<0,030	<0,060
2021	175,34	4,62	2,012	0,28	0,089	0,50	0,529	0,252

- Acc. *Lemnetum minoris* Soó 1927
Acc. *Lemno-Spirodeletum polyrhizae*
W. Koch 1954 em. Müll. et Görs. 1960
Acc. *Lemnetum gibbae* Miyaw. et Tx. 1960
Союз *Lemnion trisulcae* den Hartog et Segal
1964
Acc. *Lemnetum trisulcae* Kelh. Ex Knapp et
Stoffers 1962
Порядок *Hydrocharietalia* Rübel 1933
Союз *Lemno minoris-Hydrocharion morsus-
ranae* Rübel 1933
Acc. *Lemno-Hydrochartietum morsus-ranae*
Oberd. 1957
Acc. *Ceratophylletum demersi* (Soó 1928)
Egglar 1933
Союз *Hydrocharion* Rübel 1933
Acc. *Stratiotetum aloidis* (Nowiński 1930)
Miljan 1933
**Клас Potamogetonetea Klika in Klika et
Novak 1941**
Порядок *Potamogetonetalia* W. Koch 1926
Союз *Potamogetonion pectinati* W. Koch
1926 em. Oberd. 1957
Acc. *Potamogetonetum pectinati* Carston
1955
Acc. *Potamogetonetum perfoliati* (Koch.
1926) Passarge 1964
Acc. *Potamogetonetum natantis* Soó 1927
Acc. *Potamogetonetum lucentis* Huek 1931
Acc. *Potameto perfoliati-Ranunculetum
circinati* Sauer 1937
Acc. *Potamogetonetum nodosi* (Soó 1960)
Segal 1964
Acc. *Polygonetum natantis* Soó 1927
Acc. *Elodeetum canadensis* Egglar 1933
Союз *Nymphaeion albae* Oberd. 1957
Acc. *Potameto natantis-Nymphaeetum
candidae* Hejný in Dykyjva et Kvet 1978
Acc. *Potameto natantis-Nupharetum luteae*
Müller et Görs 1960
Acc. *Nymphaeo-Nupharetum luteae*
Nowiński 1928
Acc. *Trapetum natantis* (Karpati 1963) Th.
Müller et Görs 1960
**Клас Isoëto-Nanojuncetea Br.-Bl. et
Tx. 1943**
Порядок *Cyperetalia fusci* Pietsch 1963
Союз *Nanocyperion* Koch ex Malcuit 1929
Acc. *Cypero-Limoselletum* (Oberd. 1957)
Korneck 1960
**Клас Phragmito-Magnocaricetea Klika
in Klika et Novak 1941**
Порядок *Phragmitietalia* Koch 1926
Союз *Phragmiton communis* Koch 1926
Acc. *Phragmitetum communis* (Gams 1927)
Schmale 1939
Acc. *Acoretum calamii* Knapp et Stoff. 1962
Acc. *Glycerietum maximae* Hueck 1931
Acc. *Equisetetum fluviatilis* Steffen 1931
Acc. *Scirpetum lacustris* (Allorge 1922)
Chourd 1924
Acc. *Sparganietum erecti* Roll 1938
Acc. *Thyphetum latifoliae* (Soó 1927) Long
1973
Acc. *Thyphetum angustifoliae* (Allorge 1921)
Pignatti 1953
Acc. *Butometum umbellati* (Konczak 1968)
Philippi 1973
Порядок *Nasturtio-Glycerietalia* Pignatti
1953
Союз *Sparganio-Glycerion fluitantis* Br.-Bl.
et Siss. in Boer 1942
Acc. *Glycerietum fluitantis* Gams 1927
Порядок *Oenanthetalia aquatica* Hejný in
Korecky et Hejny 1965
Союз *Oenanthion aquatica* Hejný 1948 ex
Neuhäsl 1959
Acc. *Oenantho aquatica-Rorippetum
amphibiae* Lohm. 1950
Acc. *Sagittario-Sparganietum emersi*
Tx. 1953
Порядок *Magnocaricetalia* Pignatti 1953
Союз *Magnocaricion elatae* Koch 1926
Acc. *Caricetum gracilis* Almquist 1929
Acc. *Carici acutae-Glycerietum maximae*
Jilek et Valisek 1964
Acc. *Caricetum vesicariae* Br.-Bl. et
Denis 1926
Acc. *Phalaridetum arundinaceae* Koch ex
Libb. 1931
Відбір зразків рослин для аналізу прово-
дився з прибережно-водних та водних еко-
систем кожної річки.
В межах річки Снов досліджували еко-
системи меліоративного каналу на ліво-
бережній заплаві: а) водне угруповання
каналю відноситься до асоціації *Lemnetum
minoris* ass. nov. prov. союзу *Lemno minoris-
Salvinion natantis* Slavnić 1956 em. R.Tx. et
Schwabe 1981, порядку *Lemnetalia minoris*
R.Tx.1955, класу *Lemnetea minoris* R.Tx.1955
(домінантним видом є сальвінія плава-
юча); б) прибережно-водне угруповання
представлене асс. *Thyphetum latifoliae* Soó
1297 союзу *Phragmiton* Koch 1926, порядку
Phragmitetalia Koch 1926, класу *Phragmito-
Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941
(домінантний вид рогоз широколистим);
в) рослинне угруповання поблизу мелі-
оративного каналу, входить до складу
асс. *Caricetum gracilis* (Almquist 1929)
R.Tx.1937 союзу *Magnocaricion elatae* Koch
1926, порядку *Magnocaricetalia* Pignatti
1953, класу *Phragmito-Magnocaricetea* Klika

in Klika et Novak 1941 (утворене доміантним видом осокою гострою). З досліджуваних ділянок було відібрано зразки рослин жовтеця закрученого, лепешняка великого, осоки лисячої, очеретянки звичайної, мітлиці повзучої.

Екосистеми правобережної притерасної заплави досліджували на річці Ревна: а) западина з водою на поверхні зайнята ас. *Agrostietum stoloniferae* Soo 1957 союзу *Agropyro-Rumicion crispi* Nordh. 1940, порядку *Agrostietalia stoloniferae* Oberd. in Oberd. et al. 1967, класу *Molinio – Arrhenatheretea* R. Tx. 1937 (утруповання утворене мітлицею повзучою); б) лучна екосистема на заплаві зайнята ас. *Caricetum gracilis* (Almquist 1929) союзу *Magnocaricion elatae* Koch 1926, порядку *Magnocaricetalia Pignatti* 1953, класу *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 (асоціація. утворена доміантним видом осокою гострою); в) лучна екосистема в западині притерасної заплави відноситься до ас. *Phalaroidetum arundinaceae* Libb. 1931, союзу *Magnocaricion elatae* Koch 1926, порядку *Magnocaricetalia Pignatti* 1953, класу *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 (доміантний вид очеретянка звичайна). З досліджуваних ділянок було відібрано зразки рослин ряски триборозенчастої, рогозу широколистого, осоки гострої, веху широколистого, кропиви дводомної, лопуха великого, молочаю блискучого, мітлиці повзучої.

В межах річки Ірпа досліджували екосистеми заплави (протоки поблизу русла): а) ас. *Oenanthon aquaticae-Rorippetum amphibiae* Lohm. 1950, союзу *Oenanthon aquaticae* Hejný 1948 ex Neuhäsl 1959, порядку *Oenanthetalia aquaticae* Hejný in Kopecky et Hejny 1965, класу *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 (з води протоки відібрані зразки рослин омег водяний і водяний хрін земноводний), б) схил протоки представлений угрупованням асоціації *Carici acutae-Glycerietum maximae* Jilek et Valisek 1964, союзу *Magnocaricion elatae* Koch 1926, порядку *Magnocaricetalia Pignatti* 1953, класу *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 (доміант лепешняк великий з домішкою осоки гострої). З досліджуваних ділянок було відібрано зразки рослин рогозу широколистого, лепешняка великого, осоки лисячої, частухи подорожникової, веху широколистого, тонконогу лучного, водяного хрину земноводного, омегу водяного.

Аналіз вмісту важких металів в рослинних зразках (табл. 7) показав, що у вкоріненого еугідрофіта – жовтеця закрученого, вміст міді був вищий фонового у 1,78 раз, а у вільноплаваючого плейстогідрофіта – ряски триборозенчастої у 1,6 раз. Накопичення міді рослинами в усіх екологічних групах прибережно-водних екосистем, перевищувало фоновий вміст – від 1,7 до 2,93 рази, що корелюється з аналізом наявності важ-

Таблиця 7

Вміст важких металів у рослинах прибережно-водних та водних екосистем

Вид рослин, територія досліджуваної екосистеми	Показники, мг/кг			
	Cu	Zn	Pb	Cd
1	2	3	4	5
<i>еугідрофіти з повітряними генеративними органами, вкорінені</i>				
Жовтець закручений, (р. Снов)	6,25 13,02	12,84 17,35	0,0343 0,01	0,0024 0,04
<i>плейстогідрофіти невикорінені, вільно плаваючі</i>				
Ряска триборозенчаста, (р. Ревна)	5,61 93,97	22,17 1508,16	0,0334 2,29	0,0034 0,87
<i>аерогідрофіти високорослі</i>				
Рогіз широколистий, (р. Ревна)	6,41 10,51	12,88 8,64	0,0386 0,03	0,0024 0,01
Рогіз широколистий, (р. Ірпа)	8,46 9,84	14,22 16,93	0,0363 0,02	0,0030 0,06
Лепешняк великий, (р. Снов)	5,95 12,40	12,62 17,05	0,0356 0,02	0,0031 0,06
Лепешняк великий, (р. Ірпа)	5,83 6,78	12,39 14,75	0,0317 0,01	0,0028 0,06
Середній вміст	5,68 7,67	12,65 10,93	0,03 0,02	0,0030 0,04

Продовження таблиці 7

1	2	3	4	5
<i>аерогідрофіти середньорослі</i>				
Осока гостра, (р.Ревна)	<u>8,21</u> 13,46	<u>14,11</u> 9,47	<u>0,0340</u> 0,03	<u>0,0029</u> 0,01
Осока лисяча, (р. Снов)	<u>6,41</u> 16,29	<u>16,23</u> 18,55	<u>0,0314</u> 0,02	<u>0,0028</u> 0,05
Осока лисяча, (р. Ірпа)	<u>7,82</u> 15,03	<u>13,73</u> 25,90	<u>0,0330</u> 0,02	<u>0,0027</u> 0,04
Частуха подорож- никова, (р. Ірпа)	<u>9,65</u> 11,22	<u>16,58</u> 19,74	<u>0,0379</u> 0,02	<u>0,0035</u> 0,07
Середній вміст	<u>7,00</u> 10,15	<u>13,00</u> 14,02	<u>0,03</u> 0,02	<u>0,035</u> 0,05
<i>Гігрофіти: еугігрофіти високорослі</i>				
Очеретянка звичайна, (р. Снов)	<u>6,10</u> 13,26	<u>12,63</u> 25,77	<u>0,0346</u> 0,02	<u>0,0030</u> 0,25
<i>Гігрофіти: еугігрофіти середньорослі</i>				
Вех широколистий, (р. Ревна)	<u>10,27</u> 18,34	<u>16,12</u> 8,62	<u>0,0439</u> 0,03	<u>0,0030</u> 0,01
Вех широколистий, (р. Ірпа)	<u>8,24</u> 15,85	<u>17,35</u> 32,74	<u>0,0321</u> 0,02	<u>0,0026</u> 0,04
Кропива дводомна, (р. Ревна)	<u>6,38</u> 11,39	<u>13,37</u> 7,15	<u>0,0400</u> 0,03	<u>0,0039</u> 0,02
Середній вміст	<u>7,66</u> 10,81	<u>13,49</u> 13,31	<u>0,03</u> 0,05	<u>0,003</u> 0,03
<i>Гігrogелoфіти: гігrogелoфіти середньорослі</i>				
Мітлиця повзуча, (р. Снов)	<u>9,00</u> 19,57	<u>18,95</u> 38,67	<u>0,0374</u> 0,03	<u>0,0024</u> 0,03
Мітлиця повзуча, (р. Ревна)	<u>6,16</u> 11,00	<u>14,64</u> 7,83	<u>0,0269</u> 0,02	<u>0,0027</u> 0,01
Тонконіг лучний, (р. Ірпа)	<u>5,77</u> 11,10	<u>12,11</u> 22,85	<u>0,0280</u> 0,01	<u>0,0034</u> 0,05
Водяний хрін земноводний, (р. Ірпа)	<u>9,68</u> 18,62	<u>14,81</u> 27,94	<u>0,0318</u> 0,02	<u>0,0032</u> 0,05
Середній вміст	<u>7,37</u> 11,70	<u>14,48</u> 17,43	<u>0,05</u> 0,02	<u>0,002</u> 0,003
<i>Гігrogелoфіти: гігrogелoфіти високорослі</i>				
Лопух великий, (р. Ревна)	<u>8,81</u> 15,73	<u>18,05</u> 9,65	<u>0,0385</u> 0,03	<u>0,0036</u> 0,02
Омег водяний, корні, (р. Ірпа)	<u>5,98</u> 11,50	<u>12,42</u> 23,43	<u>0,0401</u> 0,02	<u>0,0022</u> 0,03
Омег водяний, (р. Ірпа)	<u>6,75</u> 12,98	<u>18,40</u> 34,72	<u>0,0260</u> 0,01	<u>0,0022</u> 0,03
Молочай блискучий, (р. Ревна)	<u>10,26</u> 18,32	<u>13,58</u> 7,26	<u>0,0457</u> 0,04	<u>0,0025</u> 0,01
Середній вміст	<u>7,62</u> 13,14	<u>14,95</u> 16,63	<u>0,03</u> 0,02	<u>0,003</u> 0,02
Фоновий вміст	3,5	1,41	2,38	0,01
в числівнику – вміст елемента в рослині, в знаменнику – коефіцієнт біологічного накопичення.				

ких металів у донних відкладах річок Снов та Ірпа, де показник міді перевищував ГДК.

Прогнозовано встановлено, що усі рослини екологічних груп накопичували *цинк*, хоча показано, що його вміст у воді річок

має лише слабо виявлену тенденцію до зростання, однак його оксиди і гідроксиди володіють більшою розчинністю і він рухливіший за мідь і залізо (Зубко і Линник, 2004). Здатність рослин до акумуляції цього металу

може бути використана при моніторингу забруднення водойм і водотоків, оскільки значна кількість металу надходить у водні об'єкти з техногенними забрудненнями. Рослини використовують його у вуглеводневому та фосфорному обміні. Найбільше накопичення цинку відмічено у плейстогідрофіта – ряски триборозенчастої, перевищення фонового показника у 15,72 рази; найменше у гірогелофіта – тонконігу лучного, перевищення фонового показника у 8,5 раз.

Аналіз результатів вмісту свинцю і кадмію показав, що в усіх рослинних зразках не спостерігалось фонового перевищення цих елементів, і їх кількість була відносно невеликою.

Найвищий коефіцієнт накопичення міді відмічений у плейстогідрофіта – ряски триборозенчастої – 93,97 (р. Ревна) У аерогідрофітов високорослих КН виявився набагато нижчий, середній вміст – 7,67. Розмах коливань коефіцієнтів накопичення у рослинних зразках інших екологічних груп – 10,15 – 13,14 (усереднені показники).

Найбільший КН цинку спостерігався у ряски триборозенчастої – 1508,16 У інших екологічних груп рослин, які досліджувалися, коефіцієнти накопичення коливалися від 7,15 до 25,90, що у 210,93 – 58,23 рази менше у порівнянні з найвищим КН у плейстогідрофіта вільно плаваючого.

Найбільший КН свинцю і кадмію відмічено у того ж виду, у якого відзначався високий КН міді і цинку – ряска триборозенчастої. У інших рослинних зразках коефіцієнти накопичення були дуже незначні.

Дослідження по біонакопиченню важких металів у рослинах потребують продовження і оцінки з огляду на сезонні зміни, вплив факторів середовища (температури, рН води, гранулометричного складу ґрунту тощо) на здатність до акумуляції.

Висновки

За результатами проведення досліджень був складений продромус синтаксонів прибережно-водної і водної рослинності на основі еколого-флористичного підходу, який включає 4 класи, 8 порядків, 11 союзів

і 36 асоціацій. Виявлені фітоценози поширені уздовж русел річок, в заплавах.

Отримані показники вмісту важких металів у воді, донних відкладеннях та тканинах рослин інформативні і відображають процеси накопичення та перерозподіл забруднюючих речовин в межах річок Полісся.

Хімічний аналіз проб води показав перевищення вмісту заліза і мангану у воді всіх річок – Снов, Ревна, Ірпа, що може свідчити про забруднення стічних вод і використання великої кількості добрив на сільськогосподарських угіддях. У донних відкладеннях відмічено перевищення вмісту міді, особливо у р. Снов. Хронічне зростання забруднення Cu, ймовірно, може бути пов'язано зі зростаючим інтересом і активним використанням сполук міді для профілактики і боротьби з грибковими захворюваннями рослин. Ділянки з високими показниками акумуляції металів є потенційно небезпечними, оскільки здатні при змінених фізико-хімічних умовах збагачувати воду додатковими кількостями важких металів.

Аналіз середнього вмісту важких металів в рослинних зразках прибережно-водних та водних екосистем показав, що найбільший вміст міді виявлений у еугідрофіта середньорослого – веху широколистого, (р. Ревна), цинку – у плейстогідрофіта ряска триборозенчастої, свинцю і кадмію – практично в усіх групах був однаковий вміст, який не перевищує фоновий. Серед екологічних груп найбільший КН міді, цинку, свинцю і кадмію зафіксовано у ряска триборозенчастої.

Більшість видів акумуляють Cu, Zn і Pb в генеративних органах. Найбільш переобтяжені рослини цинком, у всіх зразках зафіксоване значне підвищення його вмісту від 12,11 (тонконіг лучний) до 22,17 (ряска триборозенчаста), при фоновому вмісті – 1,41.

Стабільно високий вміст важких металів у тканинах ряска триборозенчастої та відповідні високі значення коефіцієнта накопичення дозволяють вважати цей вид акумулятивним індикатором хімічного забруднення водойм.

Список використаної літератури

Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель (методично-нормативне забезпечення). Київ : Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.

Аніщенко А.Н., Булохов А.Д., Дайнеко Н.М. та інші. Прибережно-водна рослинність прикордонних територій Брянської (Росія), Гомельської (Білорусь) та Чернігівської (Україна) областей. Чернігів : Десна Поліграф, 2014. 176 с.

Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 89 с.

Гришко В.М. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна безпека. Донецьк : Донбас, 2012. 304 с.

Дубина Д.В. Вища водна рослинність. Lemnetaea, Potametea, Ruppiaetea, Zosteretea, Isoëto-Littorelletea (Eleocharition acicularis, Isoetion lacustris, Potamion graminei, Sphagno-Utricularion), Phragmito-Magnocaricetea (Glycerio-Sparganion, Oenanthion aquaticaе, Phragmition communis, Scirpion maritimi) / Відп. ред. Ю.Р. Шеляг-Сосонко. *Рослинність України*. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 412 с.

Зубко О.В., Линник П.М. Вплив різних чинників на міграцію Zn та Pb в системі «донні відклади–вода». *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2004. Т. 253. С. 205–218.

Лукаш О.В., Сапегін А.М., Кириєнко С.В., Дайнеко М.М., Лукаш І.М., Тимофєєв С.Ф. Стан прибережно-водних екосистем на рекультивованих примостових ділянках Чернігівської і Гомельської областей у прикордонній смузі з Брянською областю. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2012. № 1. С. 121–126 [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vddau_2012_1_30 (дата звернення 17.05.2023).

Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення. Київ, 2003. 64 с.

Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: підручник / Г.І. Гринь, В.І. Мохонько, О. В. Суворін та ін. Северодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. 420 с.

Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Під ред. В.Д. Романенко. Київ: ЛОГОС, 2006. 628 с.

Скоробагатий Я.П. Фізико-хімічні методи аналізу. Львів : Каменяр, 1993. 164 с.

Трус О.М., Прокопенко Е.В., Поліщук Т.В. Біологічна активність ґрунту, її значення для родючості ґрунту і живлення рослин. *Вісник КрНУ імені М. Остроградського*. 2021. № 5 (130). С. 36–41.

Фіторізноманіття Українського Полісся та його охорона / за ред. Т.Л. Андрієнко. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 316 с.

Braun-Blanquet, J. *Pflanzensociologie*. Wien – New-York : Springer-Verlag, 1964. 865 p.

Matuszkiewicz W. *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*. Warszawa : Wydawnictwo naukowe PWN, 2001. 540 p.

Tavakoly Sany S.B., Salleh A., Rezayi M., Saadati N., Narimany L. and Tehrani G.M. Distribution and contamination of heavy metal in the coastal sediments of port Klang, Selangor, Malaysia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2013. Vol. 224 № 4.

Tiquio, M., Marmier, N. and Francour, P. Management frameworks for coastal and marine pollution in the European and South East Asian regions, *Ocean and Coastal Management*. 2017. Vol. 135. P. 65–78.

Yunus, Kamaruzzaman, Zuraidah M.A., John Akbar. A review on the accumulation of heavy metals in coastal sediment of Peninsular Malaysia. *Ecofeminism and Climate Change*. 2020. <https://doi.org/10.1108/EFCC-03-2020-0003>.

References (translated & transliterated)

Aghroekologhichnyj monitoryng ta pasportyzacija sil'sjiskoghospodarsjkykh zemelj (metodychno-normatyvne zabezpechennja) (2002). [Agroecological monitoring and certification of agricultural land (methodological and regulatory support)]. Kyjiv : Fitosociocentr [in Ukrainian].

Anishhenko, L.N., Bulokhov, A.D., & Dajneko, N.M. (ed.) (2014). *Pryberezhno-vodna roslynnistj prykordonnykh terytorij Brjanskoji (Rosija), Ghomel'sjkoji (Bilorusj) ta Chernighivs'koji (Ukrajina) oblastej* [Coastal and aquatic vegetation of the border areas of Bryansk (Russia), Gomel (Belarus) and Chernihiv (Ukraine) regions]. Chernihiv : Desna Polighraf [in Ukrainian].

Ghghijienichni vymoghy do vody pytnoji, pryznachenoji dlja spozhyvannja ljudynuju: DSanPiN 2.2.4-171-10 (2010). [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption : DSanPiN 2.2.4-171-10] Kyjiv : Ministerstvo okhorony zdorov'ja Ukrajiny [in Ukrainian].

Ghryshko, V.M. (2012). *Vazhki metaly: nadkhodzhennja v grunty, translokacija u roslynakh ta ekologhichna bezpeka* [Heavy metals: inputs to soils, translocation in plants and environmental safety]. Donecjk : Donbas [in Ukrainian].

Dubyna, D.V. (2006). *Vyshha vodna roslynnistj*. [Higher aquatic vegetation]. Lemnetaea, Potametea, Ruppiaetea, Zosteretea, Isoëto-Littorelletea (Eleocharition acicularis, Isoetion lacustris, Potamion graminei, Sphagno-Utricularion), Phragmito-Magnocaricetea (Glycerio-Sparganion, Oenanthion

aquaticae, *Phragmites communis*, *Scirpus maritimi*) / Vidp. red. Ju.R. Sheljagh-Sosonko. *Roslynnistj Ukrajinjy [Vegetation of Ukraine.]* Kyjiv : Fitosociocentr [in Ukrainian].

Zubko, O.V., & Lynnyk, P.M. (2004). Vplyv riznykh chynnykiv na mighraciju Zn ta Pb v systemi “donni vidklady–voda” [Influence of various factors on the migration of Zn and Pb in the sediment-water system]. *Naukovi praci. UkrNDGhMI [Scientific papers. UkrNDGMI]*, 253, 205–218 [in Ukrainian].

Lukash, O.V., Sapjehin, L.M., Kyrijenko, S.V., Dajneko, M.M., Lukash, I.M., & Tymofjejev, S.F. (2012). Stan pryberezhno-vodnykh ekosystem na rekuljtyvovanykh prymostovykh diljankakh Chernihivskoj i Ghomeljskoj oblastej u prykordonnij smuzi z Brjanskoju oblastju [The state of coastal and aquatic ecosystems in the reclaimed bridge areas of Chernihiv and Gomel regions in the border area with Bryansk region]. *Visnyk Dnipropetrovsjkogho derzhavnogho aghrarnogho universytetu [Bulletin of Dnipro State Agrarian University]*, 1, 121–126. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vddau_2012_1_30 (access date 17.05.2023) [in Ukrainian].

Metodyka aghrokhimichnoji pasportyzaciji zemelj siljsjkoghospodarsjkogho pryznachennja (2003). [Methodology for agrochemical certification of agricultural land]. Kyjiv [in Ukrainian].

Ghrynj, Gh.I., Mokhonjko, V.I., & Suvorin, O.V. (ed.) (2019). *Metody vymirjuvannja parametriv navkolyshnjogho seredovyshha: pidruchik.* [Methods of measuring environmental parameters: a textbook]. Sjevjerodoneck : vyd-vo SNU im. V. Dalja [in Ukrainian].

Romanenko, V.D. (2006). *Metody ghidroekologichnykh doslidzenj poverkhnevnykh vod* [Methods of hydroecological research of surface waters]. Kyiv : LOGhOS [in Ukrainian].

Skorobaghatyj, Ja.P. (1993). *Fyzyko-khimichni metody analizu* [Physical and chemical methods of analysis]. Ljviv : Kamenjar [in Ukrainian].

Trus, O.M., Prokopenko, E.V., & Polishhuk, T.V. (2021). Biologichna aktyvnistj gruntu, jiji znachennja dlja rodjuchosti gruntu i zhyvlennja roslyn [Biological activity of the soil, its importance for soil fertility and plant nutrition.] *Visnyk KrNU imeni M. Ostroghradsjkogho [Bulletin of Ostrogradsky National University]*, 5 (130), 36–41 [in Ukrainian].

Andrijenko, T.L. (2006). *Fitoriznomanittja Ukrajinsjkogho Polissja ta jogho okhrona* [Phytodiversity of Ukrainian Polissya and its protection]. Kyjiv : Fitosociocentr [in Ukrainian].

Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensociologie*. Wien – New-York : Springer-Verlag [in English].

Matuszkiewicz, W. (2001). *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski* [Guide to the identification of plant communities of Poland]. Warszawa : Wydawnictwo naukowe PWN [in Polish].

Tavakoly Sany, S.B., Salleh, A., Rezayi, M., Saadati, N., Narimany, L., & Tehrani, G.M. (2013). Distribution and contamination of heavy metal in the coastal sediments of port Klang, Selangor, Malaysia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224 (4) [in English].

Tiquio, M., Marmier, N., & Francour, P. (2017). Management frameworks for coastal and marine pollution in the European and South East Asian regions, *Ocean and Coastal Management*, 135, 65-78 [in English].

Yunus, Kamaruzzaman., Zuraidah, M.A., & John, Akbar. (2020). A review on the accumulation of heavy metals in coastal sediment of Peninsular Malaysia. *Ecofeminism and Climate Change*. <https://doi.org/10.1108/EFCC-03-2020-0003> [in English].

Отримано: 06.11.2023

Прийнято: 20.11.2023



УДК 581.1;581,6;631.1

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.2>

ВПЛИВ СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ ТА ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ВКОРІНЕННЯ ЖИВЦІВ *BUXUS SEMPERVIRENS L.*

Л. О. Мікуліч¹, Ю. Г. Приседський², О. В. Машталер³, А. В. Поліщук⁴

Для створення ландшафтних композицій різних об'єктів широко використовують *Buxus sempervirens L.*, так як цей вид добре піддається стрижці, є тіньовитривалим та морозостійким. Найефективнішим та найпоширенішим методом розмноження *Buxus sempervirens L.* є вегетативний. Важливими є дослідження саме біологічних особливостей вегетативного розмноження досліджуваного виду, в тому числі з використанням фітогормонів та LED-лазерного опромінення, що надає можливість отримати якісний та стійкий посадковий матеріал. Використання лазерного опромінення є більш екологічно безпечним та економічно вигідним методом стимуляції росту, на відміну від використання фітогормонів. У статті наведені результати впливу стимуляторів росту та лазерного опромінення на ростові процеси та вкорінення живців *Buxus sempervirens L.*

Метою роботи було експериментально перевірити і порівняти вплив стимуляторів росту та лазерного опромінення на живці *Buxus sempervirens L.* Досліджено позитивний ефект вкорінення живців в результаті дії лазерного опромінення та стимуляторів росту, а також наведена оцінка ефективності використання фітогормональних препаратів та LED-лазерного опромінення. В ході експерименту визначено вплив стимуляторів росту на вкорінення живців *Buxus sempervirens L.* Так, живці, оброблені «Гетероауксином», мали високий ступінь вкорінення, рівномірно розвинуту та розгалужену кореневу систему. На живцях, які не обробляли стиму-

¹ старший викладач кафедри ботаніки та екології
(Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця)
e-mail: l.mikuluch@donnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7925-0736

² доктор біологічних наук, професор кафедри ботаніки та екології
(Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця)
e-mail: yu.prysedskyi@donnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3368-9484

³ кандидат біологічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри ботаніки та екології
(Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця)
e-mail: o.mashtaler@donnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1896-824X

⁴ студент кафедри ботаніки та екології
(Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця)
e-mail: polishchuk.a@donnu.edu.ua
ORCID: 0009-0005-2853-1537

ляторами росту, утворення коренів не спостерігалось. За результатами опромінення живців, позитивний вплив спостерігали за комплексного опромінення червоним та синім лазерами з найбільшою тривалістю опромінення. Комплексне опромінення з меншою тривалістю або опромінення одною лазерною системою дав середній показник коренеутворення. Тобто, опромінення світлодіодними лазерами та обробка стимуляторами росту живців *Buxus sempervirens* перед висадкою в ґрунт позитивно впливає на їх вкорінення.

Отже, отримані дані дослідницької роботи рекомендується використовувати для отримання високоякісного садивного матеріалу *Buxus sempervirens* L. з подальшим використанням у декоративному садівництві.

Ключові слова: стимулятори росту, *Buxus sempervirens* L., гетероауксин, LED-лазери, лазерне опромінення.

THE INFLUENCE OF GROWTH STIMULATORS AND LASER IRRADIATION ON THE ROOTING OF BUXUS SEMPERVIRENS L.

L. O. Mikulich, Y. H. Prysedskiy, O. V. Mashtaler, A. V. Polishchuk

To create landscape compositions of various objects, *Buxus sempervirens* L. is widely used, as this species lends itself well to shearing, is shade-tolerant and frost-resistant. The most effective and common method of reproduction of *Buxus sempervirens* L. is vegetative. It is important to study the biological features of the vegetative propagation of the studied species, including the use of phytohormones and LED-laser irradiation, which provides an opportunity to obtain high-quality and stable planting material. The use of laser irradiation is a more ecologically safe and economically beneficial method of growth stimulation, in contrast to the use of phytohormones. The article presents the results of the effect of growth stimulants and laser irradiation on the growth processes and rooting of *Buxus sempervirens* L. cuttings. The purpose of the work was to experimentally test and compare the effects of growth stimulants and laser irradiation on *Buxus sempervirens* L. cuttings. The positive effect of cuttings rooting as a result of laser irradiation and growth stimulants, as well as an assessment of the effectiveness of the use of phytohormonal preparations and LED laser irradiation. During the experiment, the influence of growth stimulants on the rooting of *Buxus sempervirens* L. cuttings was determined. Thus, the cuttings treated with «Heteroauxin» had a high degree of rooting, a uniformly developed and branched root system. Root formation was not observed on cuttings that were not treated with growth stimulants. According to the results of irradiation of cuttings, a positive effect was observed during complex irradiation with red and blue lasers with the longest duration of irradiation. Complex irradiation with a shorter duration or irradiation with a single laser system gave an average rate of root formation. That is, irradiation with LED-lasers and treatment with growth stimulants of *Buxus sempervirens* L. cuttings before planting in the soil has a positive effect on their rooting. Therefore, it is recommended to use the obtained data of the research work to obtain high-quality planting material of *Buxus sempervirens* L. with further use in decorative horticulture.

Key words: growth stimulants, *Buxus sempervirens* L., heteroauxin, LED-laser, laser irradiation.

Вступ

Самшит вічнозелений *Buxus sempervirens* L. відноситься до роду *Buxus*, який налічує 30 видів. Завдяки своїй декоративності протягом всього року, здатності добре переносити «стрижку», морозостійкості та тіньовитривалості *B. sempervirens* використовують поодинокі та в групових композиціях, у бордюрних насадженнях, контейнерах, для створення топіарних форм та стрижених огорож. Для розведення самшиту та збереження його декоративних властивостей використовують вегетативне розмноження за допомогою живців (Калініченко, 2003; Олійник, 2022).

Особливості вегетативного розмноження *B. sempervirens* в умовах Сумського НАУ

досліджували В. С. Токмань і А. О. Черв'яцов (Токмань і Черв'яцов, 2014). Аналіз впливу росторегулятивних речовин на вихід укорінених стеблових живців самшиту вічнозеленого *B. sempervirens* наведені в роботах Прокопчук В. М., Циганський В. І., Циганська О. І., Leandro Marcolino Vieira (Прокопчук та ін., 2018; Leandro Marcolino Vieira & Silvano Kruchelski, 2018). В літературі представлено достатньо інформації щодо біологічних основ розмноження *B. sempervirens* в умовах закритого ґрунту (Жемчужин і Ярошук, 2014; Машеська і Єремчук, 2015), а також досліджені питання особливостей впливу регуляторів росту на активацію процесів укорінення

напівздерев'янілих живців декоративних листяних кущів (Пінчук і Косенко, 2015).

Вивчене питання впливу лазерного опромінення, як екологічних систем, на стимулювання насіння олійних культур, календули лікарської, робінії звичайної, огірка посівного, змієголовника турецького та декоративних кущів (Hanna Szajsner, 2014; Приседський і Гутянська, 2017; Prysedskyi & Kozlova, 2021; Prysedskyi & Lahunova, 2022), а також проведені дослідження впливу опромінення на рослини еustomи, кількість пігменту у квітках та збільшення параметрів всієї рослини, і як результат підвищення її декоративних якостей (Abou-Dahab M. Abou-Dahab et al., 2019).

Як ми бачимо, в літературі багато інформації щодо біологічних особливостей *B. sempervirens* та використання його в зовнішньому озелененні, способів вкорінення живців даного виду за допомогою різних стимуляторів росту. Представлені результати щодо вивчення лазерного опромінення на ростові показники рослин, але недостатньо уваги приділено агротехніці вирощування високоякісного садивного матеріалу декоративних кущів, в тому числі самшиту за допомогою опромінення лазерними системами перед посадкою. Тому, актуальним є пошук нових більш екологічних методів, які активують коренеутворення і стимулюють ріст утворених корінців *B. sempervirens* та порівняння з уже існуючими методами активації коренеутворення.

Метою дослідження було експериментально перевірити і порівняти результати впливу стимуляторів росту на вкорінення живців та впливу лазерного опромінення на живці *B. sempervirens*.

Матеріал і методи

Досліди були проведені протягом 2018–2020 років на кафедрі ботаніки та екології ДонНУ імені Василя Стуса. Для проведення досліджень використовували пагони *B. sempervirens* довжиною 10–15 см із п'яткою (відрізком дворічної деревини). В лабораторних умовах за температури 20 °C живці висаджувалися після обробки рістактивуючими речовинами у лотки з ґрунтом. Залежно від завдань експерименту використовувалось від 3 до 20 живців у кожному варіанті досліду (рис. 1).

Обробку фітогормональними препаратами здійснювали відповідно інструктивних рекомендацій виробників (табл. 1). Використовували препарат «Гетероауксин» (діюча речовина β-індолілоцтова кислота) та «Корневін» (β-індолілмасляна кислота).

Для дослідження впливу систем лазерного опромінення на вкорінення живців *B. sempervirens* використовували LED-лазери: BRP-3010-5 з випромінюванням червоного спектру з довжиною хвилі 635 нм, ВВР-3010-5 з випромінюванням синього спектру з довжиною хвилі 405 нм (виробник BOB LASER Co., Китай). Опромінення живців проводили за схемою повного двофакторного трирівневого експерименту (табл. 2) (Приседський, 2005).

Під час зняття результатів досліду у рослин враховувалися кількість утворених корінців, їх довжина, приріст пагонів. На основі отриманих даних також проводили оцінку ефективності використання фітогормональних препаратів та LED-лазерного опромінення, використовували шкали сили укорінення та успішності укорінення (табл. 3). (Колесніченко та ін., 2008).



Рис. 1. Живці *B. sempervirens* після обробки стимуляторами росту

Таблиця 1

Варіанти обробки живців *B. sempervirens* фітогормональними препаратами

Варіант	Назва препарату	Концентрація, мг/л	Термін обробки, год.
1	Без фітогормонів (контроль)	0	0
2	Гетероауксин	100	6
3	Корневін	100	6

Таблиця 2

Схема дослідження впливу лазерного опромінення живців *B. sempervirens*

Варіант	Опромінення червоним світлом (360 нм)		Опромінення синім світлом (405 нм)	
	Термін опромінення, сек.	Енергія опромінення, мДж/см ²	Термін опромінення, сек.	Енергія опромінення, мДж/см ²
1	0	0	0	0
2	5	25,05	0	0
3	10	51,10	0	0
4	0	0	5	25,05
5	5	25,05	5	25,05
6	10	51,10	5	25,05
7	0	0	10	51,10
8	5	25,05	10	51,10
9	10	51,10	10	51,10

Таблиця 3

Шкали визначення ефективності стимуляторів та LED-опромінення

Сила укорінення		Успішність укорінення	
Бал	Показник	Бал	Показник
0	укорінення відсутнє	0	живці не укорінилися (0%)
1	укорінення слабе. Корені поодинокі, слабкі, нерозгалужені (калюс ледве помітний, невиразний)	1	живці укорінилися дуже слабо (1–20%)
2	укорінення середнє. Спостерігається декілька добре розвинутих коренів (калюс добре помітний, більш-менш рівномірно розподілений навколо місця зрізання живця)	2	живці укорінилися слабо (21–40%)
3	укорінення сильне. Коренева система	3	живці укорінилися задовільно (41–60%)
4	сильно та рівномірно розвинута, добре розгалужена, надійна (калюс потужний, сформований у вигляді великого напливу)	4	живці укорінилися добре (61–80%)
5		5	живці укорінилися дуже добре (81–100%)

Отримані результати піддавалися статистичному аналізу (Приседський Ю.Г., 2005).

Результати та обговорення

Починаючи експериментальне дослідження, ми мали на меті дослідити вплив стимулюючих речовин, а саме «Гетероауксину» і «Корневіну» та вплив лазерного опромінення на вкорінення здерев'янілих живців *B. sempervirens*. Нами було взято для кожного експерименту по 20 живців досліджуваного виду. В першому лотку передбачали контроль, тобто полив живців здійснювали звичайною водою. Перед висадкою у другий лоток, живці були замочені в розчині коренеутворювача «Корневін» і згодом поливалися цим розчином. Перед висадкою у третій

лоток живці були замочені в розчині коренеутворювача «Гетероауксин» і згодом поливалися цим розчином. Концентрації розчинів відповідають рекомендаціям виробника. Дослід було закладено на 2 місяці (60 діб) з метою подальшого вкорінення живців.

Варто зазначити, що перші результати досліду були помітні на 21 день експерименту. Живці, які підживлювались коренеутворювачами різко пішли в ріст, особливо живці, що оброблялися «Гетероауксином» (рис. 2).

За результатами досліду видно, що застосування препаратів «Гетероауксин» та



Рис. 2. Живці, що підживлювались коренеутворювачами – «Гетероауксином» та «Корневіном»

«Корневін» позитивно вплинули на процеси утворення коренів на живці самшиту та мали стимуляційний вплив на укорінення (табл. 4).

Серед обраних нами стимуляторів росту найбільший відсоток вкорінення дав «Гетероауксин» – 90% від усіх живців. «Корневін» також позитивно вплинув на вкорінення живців і його результат становив 50%. В контрольній групі пішли в ріст лише 10% живців. Тобто, стимулятори росту коренеутворення дають позитивний результат для активізації ростових процесів живців, що ще раз підтверджує результати досліджень інших науковців.

Наступним етапом дослідження було дослідити вплив лазерного опромінення на вкорінення здерев'янілих живців *B. sempervirens* та порівняти кількісно з застосуванням стимуляторів росту.

Для перевірки впливу опромінення живців на можливість коренеутворення нами проводилось дослідження з впливу червоного та синього когерентного монохроматичного світла. Для кожного варіанту досліду ми брали 20 живців. Тривалість опромінення живців червоним (довжина хвилі 635 нм) і синім когерентним монохроматичним світлом (довжина хвилі 405 нм) становила 0,5 та 10 секунд (табл. 5).

Як видно з таблиці, опромінення живців суттєво впливало на показники коренеутворення. Слід зазначити, що рослини, які не піддавалися опроміненню або опромінювалися одним лазером, мали пригнічені ростові показники або взагалі не утворювали нових коренів. Так, в контрольному варіанті, де живці не опромінювалися, та в варіантах з використанням одного лазера, ефект коренеутворення був нижчий, ніж при опромі-

Таблиця 4
Активізація ростових процесів здерев'янілих живців *B. sempervirens*

Назва стимулятора росту	Абсолютна кількість активованих живців (шт.)	Відсоток (%)
Контроль	2 ± 0,05	10
Корневін	10 ± 0,11	50
Гетероауксин	18 ± 0,15	90

Таблиця 5
Результати вкорінення живців після опромінення

Варіант досліду	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість вкорінених живців	0	13	0	7	20	20	13	1	20
Середня довжина коренів, см	0	0,9	0	0,5	0,51	2,18	1,97	0,66	2,3

ненні двома лазерами. Тобто опромінення живців покращувало процес утворення корінців і ефект коренеутворення залежав від тривалості та наявності комплексного опромінення.

З таблиці видно, що в контролі (варіант 1), жоден з живців не утворив коренів. Всі живці були вкорінені у варіантах 5, 6 та 9, що вказує на найвищий показник вкорінення. Середній показник утворення корінців спостерігався у варіантах 2, 4, 7 та 8. У варіанті третьому опромінювали живці червоним світлом тривалістю 10 секунд, довжина хвилі якого 635 нм, але жоден живець не вкорінився.

Визначивши середню довжину коренів кожного варіанту, ми отримали наступні результати. Найбільший показник середньої довжини коренів 2,3 см мають живці, що опромінені комплексно червоним та синім світлом тривалістю по 10 секунд кожен (варіант 9). Живці після опромінення червоним світлом тривалістю 10 секунд та синім світлом тривалістю 5 секунд мали середню довжину коренів 2,18 см (6 варіант) (рис. 3).

Живці, опромінені тільки синім світлом, в результаті експерименту мали середню довжину 1,97 см (варіант 7). Варіанти 2, 4, 5 та 8 мали менший ефект від опромінення, але в порівняння з контролем дали позитивний результат. Так, середня довжина корінців при опроміненні червоним світлом тривалістю 5 секунд становила 0,9 см (2 варіант), а лише червоним з такою ж тривалістю – 0,5 см (варіант 4). При комплексному опроміненні червоним та синім світлом тривалістю по 5 секунд, середня

довжина корінців становила 0,51 см (варіант 5). При опроміненні живців червоним світлом тривалістю 5 секунд та синім світлом тривалістю 10 секунд, середня довжина корінців сягнула 0,66 см.

За результатами дослідження можемо зробити висновок, що значний позитивний вплив спостерігався за комплексного опромінення червоним та синіми лазерами з найбільшою тривалістю опромінення. Середній показник коренеутворення дало комплексне опромінення з меншою тривалістю або опромінення одною лазерною системою. Але опромінення червоним світлом тривалістю 10 секунд не дало результату, тобто жоден з живців не утворив коренів. За результатами експерименту, опромінення світлодіодними лазерами живців *B. sempervirens* перед висадкою в ґрунт позитивно впливає на їх вкорінення.

Далі визначили силу укорінення живців за 3-бальною шкалою, наведеною в таблиці 3. Живці, які не обробляли стимуляторами росту та не піддавали опроміненню, отримали 0 балів, так як укорінення було відсутнє. Живці, оброблені стимуляторами росту, мали сильну ступінь укорінення, коренева система рівномірно розвинута, добре розгалужена і за школою отримала 3 бали. Живці, опромінені або червоним світлом, або синім, мали середній ступінь укорінення і в них сформувались декілька добре розвинутих коренів, отримали 2 бали. Тільки живці, що опромінені двома лазерами, мали сильне укорінення та отримали 3 бали, як і живці, оброблені стимуляторами росту.



Рис. 3. Укорінені живці *B. sempervirens* після комплексного опромінення (5 та 6 варіант дослід)

Оцінивши успішність укорінення стеблових живців за 5-бальною шкалою, отримали наступні результати. Варіанти, які не піддавалися опроміненню або опромінювалися червоним світлом тривалістю 10 секунд, отримали 0 балів. Живці, опромінені синім світлом тривалістю 5 секунд, укорінилися слабо, лише на 35% і за шкалою отримали 2 бали. Живці, що укорінилися добре – 65% (4 бали), були опромінені червоним світлом 5 секунд, синім світлом 10 секунд і червоним 5 секунд та синім 10 секунд в комплексі. І серед живців були такі, що укорінилися дуже добре, тобто на 100 % (5 балів), а саме комплексне опромінення червоним 5 секунд та синім 5 секунд, червоним 10 секунд та синім 5 секунд та червоним 10 секунд і синім 10 секунд.

Живці, оброблені «Корневіном», отримали 3 бали, оскільки живці укорінилися задовільно і це становило 50% від усіх живців, а живці, оброблені «Гетероауксином», мали результат 90%, за що отримали 5 балів за шкалою успішності укорінення стеблових живців. І відповідно живці, що тримали

0 балів, не укорінилися через те, що не підлягали обробці стимуляторами росту.

Висновки

Аналіз проведених досліджень показав, що різні стимулятори росту та варіанти опромінення живців по-різному впливають на розвиток *B. sempervirens*. За результатами наших досліджень встановлено, що позитивний вплив має комплексне опромінення червоним та синіми лазерами з найбільшою тривалістю опромінення, а середній показник коренеутворення дало комплексне опромінення з меншою тривалістю або опромінення одною лазерною системою. Всі використані стимулятори росту під час дослідження мали позитивний вплив на процеси утворення коренів, але найбільший ефект мав «Гетероауксин» – 90% від усіх живців, а «Корневін» – 50%, що вказує на середній рівень коренеутворення. Отже, вплив стимуляторів росту і лазерного опромінення мають позитивний ефект, а це є важливим для отримання якісних живців, для подальшого їх використання в зовнішньому озелененні.

Список використаної літератури

Жемчужин В.Ю., Ярощук Р.А. Особливості вегетативного розмноження самшиту вічнозеленого (*Vixus sempervirens* L.). *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2014. Вип. 3 (27). С. 82–85.

Калініченко О.А. Декоративна дендрологія : навч. посібник. Київ : Вища шк., 2003. 199 с.

Колесніченко О.В., Слюсар С.І., Якобчук О.М. Методичні рекомендації з розмноження деревних декоративних рослин Ботанічного саду НУБіП України. Київ, 2008. С. 21–22.

Машевська А.С., Єремчук Т.М. Особливості розмноження *Vixus sempervirens* L. в умовах закритого ґрунту. *Актуальні проблеми фундаментальних наук: матеріали I Міжнар. наук. конф. присвячено 75 річчю проф. Олексюка І.Д. Луцьк : Вежа-Друк – 2015. С. 352–354.*

Машевська А. Єремчук Т. Біологічні основи розмноження самшиту вічнозеленого *Vixus sempervirens* L. в умовах закритого ґрунту. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2015. Вип. 2. С. 33–38.

Олійник Д.О. Самшит вічнозелений: досвід і перспективи використання в озелененні. *Молодь – аграрній науці і виробництву. Інноваційні технології в агрономії, землеустрої, електроенергетиці, лісовому та садово-парковому господарстві: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти. Білоцерківський НАУ, 2022. С. 44–46.*

Пінчук А.П., Косенко Ю.І. Використання стимуляторів росту для активації укорінення здерев'янілих живців декоративних листяних кущів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2015. Вип. 229. С. 95–100.

Приседський Ю.Г., Гутянська С.С. Вплив лазерного опромінення насіння на ростові процеси та вміст пігментів у проростках олійних культур. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 2 (66). С. 10–12.

Приседський Ю.Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів : навчальний посібник. Донецьк : ДонНУ, 2005. 75 с.

Прокопчук В.М., Циганський В.І., Циганська О.І. Вплив стимуляторів росту на вкорінення живців самшиту вічнозеленого *Vixus sempervirens* L. в умовах закритого ґрунту. *Науковий вісник НАТУ України*. 2018, Т. 28, № 7. С. 57–59.

- Токмань В.С., Черв'яцов А.О. Особливості вегетативного розмноження *Buxus sempervirens* L. в умовах Сумського НАУ. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Аграрна і біологія»*. 2014. Вип. 9 (28). С. 6–10.
- Abou-Dahab M. Abou-Dahab, Tarek A. Mohammed, Amaal A. Heikal, Lobna S. Taha, Ahmed M. M. Gabr, Sami A. Metwally, Awatef I. R. Ali. In vitro laser radiation induces mutation and growth in *Eustoma grandiflorum* plant. *Bulletin of the National Research Centre*. 2019. P. 1–13.
- Hanna S, Babelwski P. The influence of laser beam and auxins on rooting of leather leaf viburnum (*Viburnum rhytidophyllum* Hemsl). *Cutting. Journal of Horticultural Research*. 2014. 22(1). P. 63–66.
- Kew Science. Plants of the world online. [Electronic resource] URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:15130-1/general-information> (дата звернення 01.07.2023).
- Leandro Marcolino Vieira, Silvano Kruchelski, Erik Nunes Gomes, Katia Christina Zuffellato-Ribas. Indolebutyric acid on boxwood propagation by stem cuttings. *Ornam. Hortic.* V. 24, №. 4, 2018. 347–352.
- Prysedskiy Yu and Lahunova A. Combination Laser Irradiation Effect on Growth Parameters and Chlorophyll Content of Selected Poaceae Plants. *Modern Concepts & Developments in Agronomy* 11(5).2022. P. 1142–1146.
- Prysedskiy Yu, Kozlova M. Effect of laser irradiation of seeds on growth parameters of *Dracocephalum moldavica* L. *IOSR Journal of Pharmacy And Biological Sciences*. 2021. 16 (6 SER II). P. 48–52.

References (translated & transliterated)

- Zhemchuzhy`n, V.Yu., & Yaroshhuk R.A. (2014). Osobly`vosti vegetaty`vnogo rozmnozhennya samshy`tu vichnozelenogo (*Buxus sempervirens* L.) [Features of vegetative propagation of evergreen boxwood (*Buxus sempervirens* L.)]. *Visny`k Sums`kogo nacional`nogo agrarnogo universy`tetu. Seriya «Agronomiya i biologiya» [Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology]*, 3 (27), 82–85 [in Ukrainian].
- Kalinichenko, O.A. (2003). Dekoraty`vna dendrologiya: navch. posibny`k [Decorative dendrology: teaching. manual]. Ky`yiv: Vy`shha shk [in Ukrainian].
- Kolesnichenko, O.V., Slyusar, S.I., & Yakobchuk, O.M. (2008). Metody`chni rekomendaciyi z rozmnozhennya derevny`x dekoraty`vny`x rosly`n Botanichnogo sadu NUBiP Ukrayiny` [Methodical recommendations for the propagation of woody ornamental plants of the Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine] Kyiv, 21–22 [in Ukrainian].
- Mashevsjka, A.S., & Jeremchuk, T.M. (2015). Osoblyvosti rozmnozhennja *Buxus sempervirens* L. v umovakh zakrytogo ghruntu [Peculiarities of reproduction of *Buxus sempervirens* L. in closed soil conditions]. *Aktualjni problemy fundamentalnykh nauk: materialy I Mizhnar. nauk. konf., Lutsk prysvjacheno 75 richchju prof. Oleksejuka I. D. Lutsk: Vezha-Druk [Actual problems of fundamental science: I International Conferens Lutsk dedicadet to the 75th anniversare prof. Oleksejuka I. D.]*, 352–354 [in Ukrainian].
- Mashes`ka, A., & Yeremchuk, T. (2015). Biologichni osnovy` rozmnozhennya samshy`tu vichnozelenogo *Buxus sempervirens* L. v umovax zakry`togo g`runtu [Biological basis of propagation of evergreen boxwood *Buxus sempervirens* L. in closed grounds]. *Naukovyj visny`k Sxidnoyevropejs`kogo nacional`nogo universy`tetu imeni Lesi Ukrayinky [Scientific Bulletin of the Lesya Ukrainka Volyn National University]*, 2, 33–38 [in Ukrainian].
- Olijnyk, D.O. (2022). Samsyt vichnozelenyj: dosvid i perspektyvy vykorystannja v ozelenenni [*Buxus sempervirens*: experience and prospects of use in gardening]. *Molod`-aharnij nauci i vyrobnyctvu. Innovacijni tehnolohiji v ahronomiji, zemleustroji, elektroenerhetyci, lisovomu ta sadovo-parkovomu gospodarstvi: materialy Vseukrajins`koho naukovoprakty`čnoho konferenciji zdobuvaciv vyscoji osvity. Bilocerkiivs`kij NAU [Youth in agricultural science and production. Innovative technologies in agronomy, land management, electricity, forestry and horticulture. All-Ukrainian scientific and practical conference students of higher education. Bila Tserkva National Agrarian University]*, 44–46 [in Ukrainian].
- Pinchuk, A.P., & Kosenko, Ju.I. (2015). Vykorystannja stymuljatoriv rostu dlja aktyvaciji ukorinennja zderev`janilykh zhyvciv dekoratyvnykh lystjanykh kushhiv [The use of growth stimulants to activate the rooting of lignified cuttings of decorative leafy shrubs]. *Naukovyj visnyk Nacional`nogho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrajiny. Serija: Lisivnyctvo ta dekoratyvne sadivnyctvo [Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Forestry and decorative horticulture]*, 229, 95–100 [in Ukrainian].

Prysedskyj, Yu.H. (2005). Paket prohram dlja provedennja statystychoji obrobky resul'tativ biolohichnych eksperymentiv [The software package for the statistical analysis of the results of biological experiments]. Donetsk: DonNU, 75 [in Ukrainian].

Prysedskyi, Yu.H., & Ghutjansjka, S.S. (2017). Vplyv lazernogho oprominennja nasinnja na rostovi procesy ta vmist pighmentiv u prorostkakh olijnykh kuljtur [Effect of laser irradiation seeds on the growth processes and pigment content in oil crops]. *Naukovi dopovidi NUBIP Ukrainy [Scientific reports of NULES of Ukraine]*, 2 (66), 10–12 [in Ukrainian].

Prokopchuk, V.M., Cyghansjkyj, V.I., & Cyghansjka, O.I. (2018). Vplyv stymuljatoriv rostu na vkorinennja zhyvciv samshytu vichnozelenogho *Buxus sempervirens* L. v umovakh zakrytogho gruntu [The influence of growth stimulators on *Buxus sempervirens* L. lives calculation under conditions of closed soil]. *Naukovyj visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 28, 7, 57–59 [in Ukrainian].

Tokman, V.S., & Červjacov, A.O. (2014). Osoblyvosti vehetatyvnoho rozmnožennja *Buxus sempervirens* L. v umovax sums'koho NAU [Features vegetative propagation *Buxus sempervirens* L. in Sumy National Agrarian University]. *Visnyk Sums'koho nacional'noho ahrarnoho universytetu. Serija «Ahronomija i biolohija» [Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and biology]*, 9 (28), 6–10 [in Ukrainian].

Abou-Dahab M. Abou-Dahab, Tarek A. Mohammed, Amaal A. Heikal, Lobna S. Taha , Ahmed M. M. Gabr , Sami A. Metwally & Awatef I. R. Ali. (2019). In vitro laser radiation induces mutation and growth in *Eustoma grandiflorum* plant. *Bulletin of the National Research Centre*, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0036-z> [in English].

Hanna, S., & Babelewski, P. (2014). The influence of laser beam and auxins on rooting of leather leaf viburnum (*Viburnum rhytidophyllum* Hemsl). *Cutting. Journal of Horticultural Research*, 22(1), 63–66. <https://doi.org/10.2478/johr-2014-0007> [in English].

Kew Science. Plants of the world online. [Electronic resource] URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:15130-1/general-information> (access date 01.07.2023) [in English].

Leandro Marcolino Vieira, Silvano Kruchelski, Erik Nunes Gomes, Katia Christina Zuffellato-Ribas (2018). Indolebutyric acid on boxwood propagation by stem cuttings. *Ornam. Hortic*, 24 (4), 347-352. <https://doi.org/10.14295/oh.v24i4.1185> [in English].

Prysedskyi, Yu., & Lahunova, A. (2022). Combination Laser Irradiation Effect on Growth Parameters and Chlorophyll Content of Selected Poaceae Plants. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 11(5), 1142-1146. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.10.003> [in English].

Prysedskyi, Yu., & Kozlova, M. (2021). Effect of laser irradiation of seeds on growth parameters of *Dracocephalum moldavica* L. *IOSR Journal of Pharmacy And Biological Sciences*, 16 (6 SER II), 48–52. <https://doi.org/10.9790/3008-1606024852> [in English].

Отримано: 22.11.2023

Прийнято: 04.12.2023



УДК 636.2;575.113.2(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.3>

ОЦІНКА АЛЕЛЬНОЇ ТА ГЕНОТИПОВОЇ РІЗНОМАНІТНОСТІ КОРІВ ЗНИКАЮЧОЇ БУРОЇ КАРПАТСЬКОЇ ПОРОДИ ЗА ДЕЯКИМИ ГЕНАМИ ПРОДУКТИВНОСТІ

Н.Б. Мохначова¹

Розвиток сучасної молекулярної генетики дозволяє визначати гени, які контролюють кількісні та якісні продуктивні ознаки сільськогосподарських тварин. В статті наведені результати аналізу частот алелей та генотипів за генами-кандидатами м'ясної продуктивності: тиреоглобуліну (TG5) та соматотропіну (GH) у тварин бруї карпатської породи, яка за даними ФАО знаходиться під загрозою зникнення. На сьогодні маточне поголів'я бруї карпатської породи розводять лише у особистих селянських господарствах. Ген тиреоглобуліну (TG5) розглядали як функціональний і позиційний ген – кандидат мармуру м'яса через вплив його на жировий метаболізм. Гормон росту регулює зростання та розвиток, ініціює та підтримує м'ясну продуктивність, якість м'яса. Для дослідження використали 30 зразків ДНК, виділеної із венозної крові корів бруї карпатської породи за допомогою набору «ДНК Сорб-Б» (AmpliSens). Генотипування проводили використовуючи аналіз поліморфізму довжин рестрикційних фрагментів на основі полімеразної ланцюгової реакції (ПАР-ПДРФ). В результаті проведеного дослідження виявлено, що поліморфізм генів TG5 та GH представлений алелями TG5^T, TG5^C та GH^L, GH^V і відповідно генотипами TG5^{TT}, TG5^{TC}, TG5^{CC} та GH^{LL}, GH^{LV}, GH^{VV}. Для гена TG5 ампліфікований фрагмент розміром 548 п.н. обробляли рестриктазою PstI. Встановлено висока частота алелю TG5^T – 0,665 і децю нижча частота алелю TG5^C – 0,335. При дослідженні гена GH продукт ампліфікації (223 п.н.) обробляли ферментом рестрикції AluI. Виявлено, що частіше зустрічався алель GH^L (0,64) та гомозиготний генотип GH^{LL} (0,50). Доля гомозиготних генотипів за обома генами була істотно високою і склала за геном TG5 – 90%, а за геном GH – 73%. Буря карпатська порода є однією із локальних малочисельних вітчизняних порід ВРХ, тому наголос на носійство нею селекційно-цінних генотипів може привернути увагу та дасть можливість зберегти цю цінну українську породу. Вона може бути ефективно використана для розведення в господарствах як молочного, так і м'ясного напрямків. Генетичний потенціал бруї карпатської не вичерпаний.

Ключові слова: корови, гени, тиреоглобулін, гормон росту, алель.

¹ кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник (Інститут розведення і генетики тварин імені М.В. Зубця Національної академії аграрних наук України, Київська область)
e-mail: nataliia.mokhnachova82@gmail.com,
ORCID: 0000-0001-5982-6542

ASSESSMENT OF ALLELIC AND GENOTYPE DIVERSITY OF COWS OF THE ENDANGERED BROWN CARPATHIAN BREED BY SOME PRODUCTIVITY GENES

N. B. Mokhnachova

The development of modern molecular genetics makes it possible to identify genes that control quantitative and qualitative productive traits of farm animals. The article presents the results of the analysis of allele frequencies and genotypes for candidate genes for meat productivity: thyroglobulin (TG5) and somatotropin (GH) in animals of the Brown Carpathian breed, which, according to FAO, is under threat of extinction. Today, the mother stock of the Brown Carpathian breed is bred only in private peasant farms. The thyroglobulin gene (TG5) was considered as a functional and positional gene – a candidate for meat marbling due to its influence on fat metabolism. Growth hormone regulates growth and development, initiates and maintains meat production, meat quality. The study used 30 samples of DNA isolated from the venous blood of brown Carpathian cows using the «DNA Sorb-B kit» (AmpliSens). Genotyping was performed using polymerase chain reaction (PCR-RFLP) polymorphism analysis of restriction fragment lengths. As a result of the research, it was found that the polymorphism of the TG5 and GH genes is represented by alleles TG5^T, TG5^C and GH^F, GH^V and, respectively, by the genotypes TG5^{TT}, TG5^{TC}, TG5^{CC} and GH^{LL}, GH^{LV}, GH^{VV}. For the TG5 gene, an amplified fragment of 548 bp. treated with PstI restriction enzyme. The high frequency of the TG5^T allele was 0.665 and the slightly lower frequency of the TG5^C allele was 0.335. When studying the GH gene, the amplification product (223 bp) was treated with the restriction enzyme AluI. It was found that the GH^F allele (0.64) and the GH^{LL} homozygous genotype (0.50) were more frequent. The share of homozygous genotypes for both genes was significantly high and amounted to 90% for the TG5 gene, and 73% for the GH gene. The Brown Carpathian breed is one of the few local breeds of domestic cattle, so the emphasis on its carrying of selection-valuable genotypes can attract attention and provide an opportunity to preserve this valuable Ukrainian breed. It can be effectively used for breeding in both dairy and meat farms. The genetic potential of the Brown Carpathian is not exhausted.

Key words: cows, genes, thyroglobulin, growth hormone, allele.

Вступ

Важливу роль у виробництві продуктів харчування та соціальному житті населення Карпат відіграє бура карпатська порода великої рогатої худоби. Тварини даної породи володіють унікальними біологічними особливостями та мають добрі параметри для реалізації генетичного потенціалу (FAO, 2011).

Сучасний розвиток тваринництва передбачає розробку нових біотехнологічних та молекулярно-генетичних методів оцінки ознак продуктивності сільськогосподарських тварин, що базуються безпосередньо на аналізі спадкової інформації. Наявні молекулярно-генетичні методи дозволяють визначати наявність цінних варіантів генів, які асоційовані з ознаками продуктивності. Локуси якісних ознак (Quantative Trait Loci – QTL), які контролюють гени господарсько-корисних властивостей «розкидані» по всьому геномі. Визначення таких генів, які з погляду селекції необхідні при розведенні тварин дозволить до традиційних методів відбору тварин, додатково проводити маркер-залежну селекцію (Мохначова, 2023).

В якості генів-кандидатів м'ясної продуктивності розглядається ген гормону росту

соматотропін (GH) та тиреоглобулін (TG). Ці гормони регулюють зростання та розвиток, ініціюють та підтримують м'ясну продуктивність, якість м'яса (Bennett et al., 2013). GH (соматотропін) – ген гормону росту, розташований на ділянці хромосоми 19 великої рогатої худоби і складається з п'яти екзонів та чотирьох інтронів. Соматотропін продукується передньою часткою гіпофіза, є одним з найважливіших регуляторів соматичного росту тварин. Встановлено, що ген, який контролює синтез соматотропіну, регулює зростання тварини, а також відіграє ключову роль в обмінних процесах (вуглеводному, жировому) (Lee et al., 2013). Ген гормону тиреоглобуліну (TG5) контролює обмінні процеси в організмі та позначений як маркер ранньої діагностики мармуровості м'яса, оскільки він впливає на ліпідний обмін, бере участь у утворенні жирових клітин та формує так звану «мармуровість» м'язової тканини (Barendse et al., 2004).

Метою даної роботи було встановлення генотипів та визначення генетичної структури тварин бруї карпатської породи за генами соматотропіну (GH) та тиреоглобуліну (TG5) з визначенням їх генетичного потенціалу.

Матеріал і методи

Матеріалом для дослідження були 30 зразків ДНК, виділені з крові дійних корів бурої карпатської породи з приватних домогосподарств с. Нижні ворота Воловецького району Закарпатської області, Україна (рис. 1).

Під час дослідження було відібрано кров у стерильні пробірки з антикоагулянтом. Виділення ДНК із зразків цільної крові виконували за допомогою набору «ДНК Сорб-Б» (AmpliSens), який забезпечив достатньо високу концентрацію і чистоту виділе-

ної ДНК. Концентрацію ДНК доводили до 50 нг/мкл. Методом ПАР-ПДРФ (поліморфізм довжин рестрикційних фрагментів) проводили генотипування досліджуваних тварин за генами *GH* та *TG5*. Нуклеотидні послідовності праймерів для ампліфікації та назви рестриктаз для рестрикції продуктів ампліфікації показано в таблиці 1.

Підібрані оптимальні температурно-часові режими та схеми рестрикційного аналізу продуктів ампліфікації поліморфних ділянок досліджуваних генів в таблиці 2.

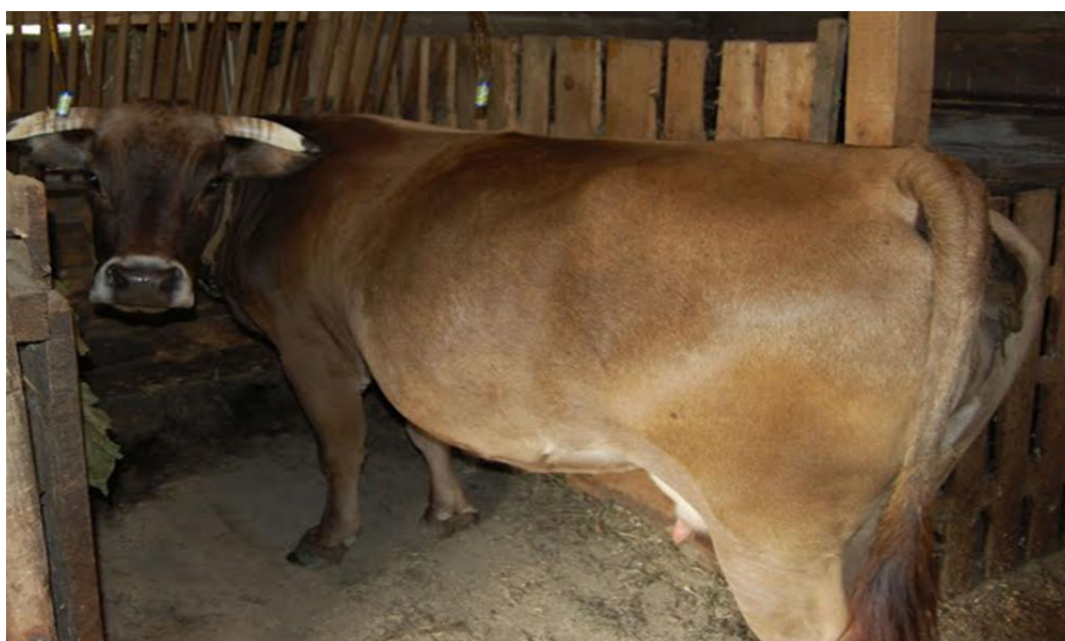


Рис. 1. Буро карпатська порода, Закарпатська обл., Україна

Таблиця 1

Синтезовані нуклеотидні послідовності та рестриктази

Послідовність праймера	Ампліфікат, (п.н.)	Рестриктаза	Посилання
GH			
F: 5'-GCTGCTCCTGAGGGCCCTTC-3' R: 5'-GCGGCGGCACTTCATGACCC-3'	223	AluI	Lucy et al., 1993
TG5			
5'-GGGGATGACTACGAGTATGACTG-3', 5'-GTGAAAATCTGTGGAGGCTGT-3'	548	PsuI	Alison, V. E., 2007

Таблиця 2

Індивідуальні характеристики умов ПАР та схеми ПДРФ-аналізу продуктів ампліфікації

Поліморфізм	Умови ампліфікації	Генотипи та відповідні довжини рестрикційних фрагментів
GH- AluI	94 °C – 4 хв; (95 °C – 15 с; 61 °C – 15 с; 72 °C – 60 с) x 35; 72 °C – 5 хв	GH- Alu ^{IV} :223; GH- Alu ^{LL} :171+52; GH- Alu ^{LV} :223+171+52;
TG5-Hinfi	95 °C – 4 хв; (95 °C – 45 с; 62 °C – 30 с; 72 °C – 60 с) x 35; 72 °C – 10 хв	TG5-PsuI ^{CC} :75+178+295; TG5- PsuI ^{TT} :473; TG5-PsuI ^{CT} :75+178+295+473;

На програмованому термоциклері «Терцик» (ДНК-технологія) здійснювалася полімеразна ланцюгова реакція в об'ємі 10 мкл.:

H₂O – 4,5 мкл, 5х буфер (67 мМ Трис-НС1 (рН 8,3), 17 мМ (NH₄)₂ SO₂, 2,5 мМ MgCl₂, 0,1 % Твин-20, 0,12 мг/мл БСА, 8 % гліцерин) – 2,0 мкл; 10-х dNTP суміш (по 2мМ кожного) – 1,0 мкл; праймер (70 нг) – 0,4 мкл; Таq-полімераза (1мол/1000 U) – 0,2 мкл; ДНК 50-100 нг – 1,5 мкл.

Продукти ПАР обробляли специфічними рестрикційними ферментами: до 10 мкл ПАР-продукту додавали 5 од./мкл рестриктази та 1,5 мкл рестрикційного буферу, інкубували при 37 °С 12 год. в сухоповітряному термостаті. Електрофоретичним методом в 2–3% агарозному гелі при УФ-світлі 312 нм. після фарбування бромистим етидієм визначалася кількість і довжина фрагментів рестрикції.

В якості маркерів молекулярних мас використовували *GeneRuler TM 50 bp DNA Ladder* та *Thermo Scientific™ Gene Ruler 1 kb Plus DNA Ladder*. Аналіз результатів проводили, фотографуючи гелі цифровою камерою.

Отримані результати експериментальних досліджень, опрацьовували методом популяційно-генетичного і біометричного аналізу з використанням «GEN Alex 6», «Statistica».

Частоту генотипів розраховували за формулою:

$$p = n / N,$$

де p – Частота генотипу;

n – Кількість особин, певного генотипу,

N – Загальна кількість особин.

Частоту алелів розраховували за формулою:

$$p = \frac{2nAA+nAB}{2N} \text{ та } q = \frac{2nBB+nAB}{2N}$$

де p – Частота алелів А, q – Частота алелів В, nAA, nAB, nBB – Кількість особин з певним генотипом, N – Загальна кількість особин.

Фактичну гетерозиготність обчислювали за формулою:

$$H_0 = N_2 / n$$

де N₂ – Кількість гетерозигот за досліджуваним алелем;

n – Об'єм вибірки.

Фактичну гетерозиготність обчислювали за формулою:

$$H_e = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

де p₁, p₂, ..., p_n – Частоти алелів.

Для оцінки генетичної диференціації досліджуваних популяцій використовували індивідуальний індекс фіксації Райта (F_{IS}), який кількісно відображає відхилення від панміксії:

$$F_{IS} = (H_e - H_o) / H_e$$

де H_o – Фактична гетерозиготність в популяції;

H_e – Очікувана гетерозиготність в популяції (H_o ≠ H_e).

Відповідність між фактичним та очікуваним розподілом генотипів перевіряли за значенням проби Пірсона (χ²) за формулою:

$$\chi^2 = \frac{\sum (\Phi - T)^2}{T}$$

де Φ – Фактична кількість генотипів;

T – Теоретична кількість генотипів.

Результати та обговорення

Тиреоглобулін (TG5), як попередник гормону трийодтироніну щитовидної залози (T3) і тироксину (T4), відіграє важливу роль в зростанні організму та бере участь в регуляції обміну речовин. В результаті дослідження за локусом TG5, були виявлені 3 генотипи: TG5^{TT}, TG5^{CT} та TG5^{CC} (рис. 2).

Більше 60% досліджених корів бурої карпатської породи з приватних домогосподарств с. Нижні ворота Воловецького району Закарпатської області є носіями генотипу TG^{TT}. Генотип TG^{CC} проявляється рідше, ніж TG^{TC}, ним володіють 28% корів.

Рівень очікуваної гетерозиготності склав 0,446, що в 4 рази перевищує фактичний показник. Ці результати є наслідком недостатньої кількості гетерозигот серед протестованої худоби, яка склала лише 11%.

Для поліморфізму гена соматотропіну (GH), представленого двома алелями L та V (рис. 3), характерний нерівномірний внутрішньопородний розподіл, який склав для алеля L-0,64, а для алеля V-0,36 серед корів бурої карпатської породи (табл. 4).

Виявлені відмінності в частоті гомозиготних GH^{LL}, GH^{VV} та гетерозиготного GH^{LV} генотипів: частота гомозиготного GH^{LL} генотипу виявилася найбільшою та склала 50%, тоді як другий результат у GH^{LV}-28%. Гомозиготний GH^{VV} – генотип проявився лише у 22% досліджених тварин.

Ступінь гомозиготності по аналізованим генам (табл. 5) свідчить про істотно високий показник за обома генами.

В практиці тваринництва подібні дослідження одиничні, в огляді літератури

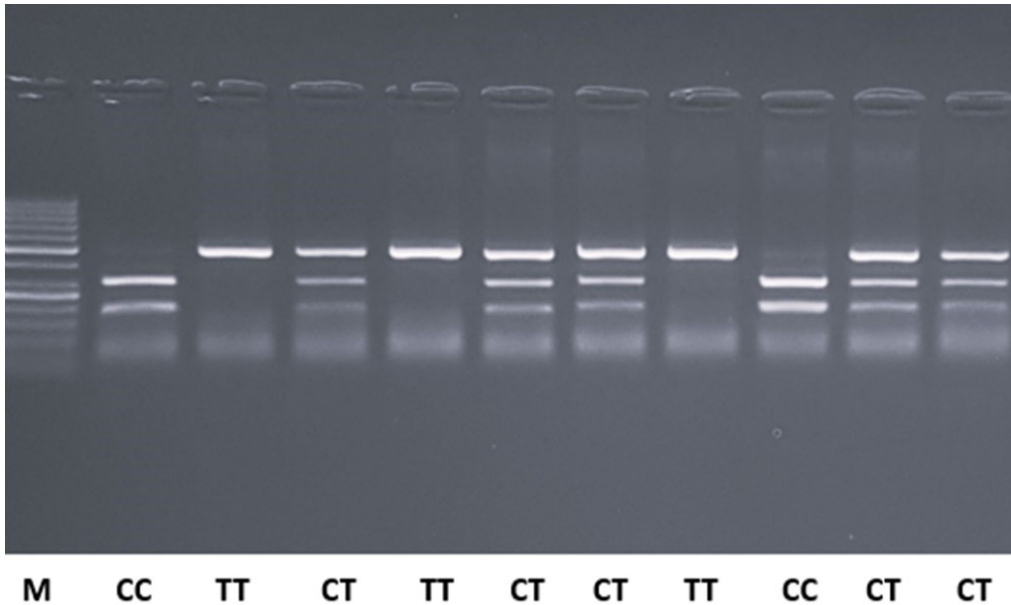


Рис. 2. Продукти рестрикції гена TG. М – маркер молекулярних мас *DNA Ladder*; СС-генотип (75, 178, 295 п.н.); СТ-генотип (75, 178, 295,473 п.н.); ТТ-генотип (473 п.н.)

Таблиця 3

Особливості генетичної структури бурої карпатської породи ВРХ за геном тиреоглобуліну

Порода	Розмір вибірки	Частота генотипів		Частота алеля		Гетерозиготність		χ^2	F_{IS}
				С	Т	H_o	H_e		
Бура карпатська	30	СС	0,28	$0,335 \pm 0,026$	$0,665 \pm 0,026$	0,110	0,446	17,02	0,753
		СТ	0,11						
		ТТ	0,61						

Примітка. H_o – фактична гетерозиготність; H_e – очікувана гетерозиготність; χ^2 – критерій відповідності, F_{IS} – індекс фіксації Райта.

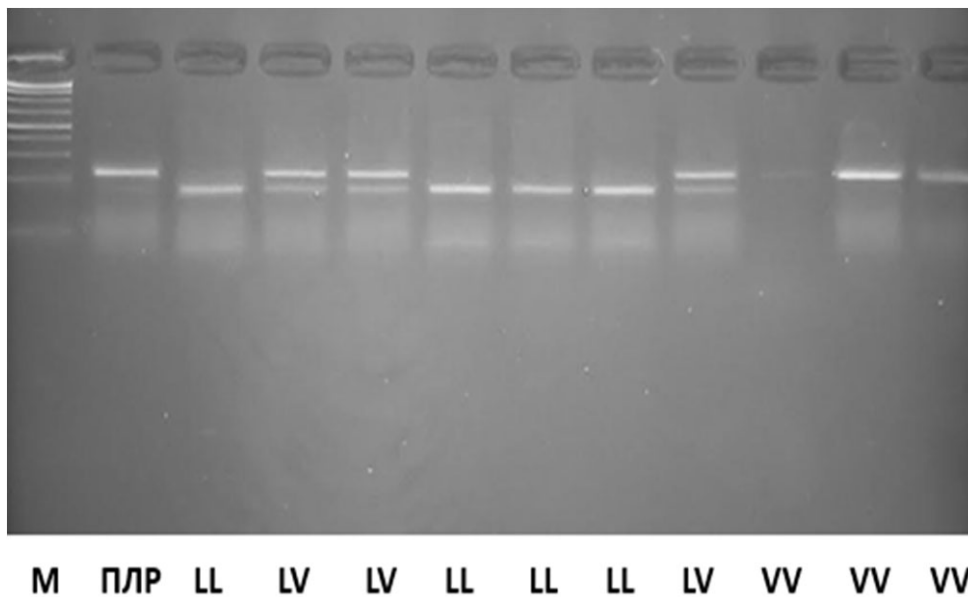


Рис. 3. Продукти рестрикції гена GH. М – маркер молекулярних мас *DNA Ladder*; LL-генотип (171, 52 п.н.); LV-генотип (223, 171, 52 п.н.); VV-генотип (223 п.н.)

Таблиця 4

Особливості генетичної структури бурої карпатської породи ВРХ за геном соматотропіну

Порода	Розмір вибірки	Частота генотипів		Частота алеля		Гетерозиготність		χ^2	F_{IS}
				L	V	H_0	H_E		
Бура карпатська	30	LL	0,5	0,64 ± 0,027	0,36 ± 0,027	0,280	0,461	4,90	0,392
		LV	0,28						
		VV	0,22						

Примітка. H_0 – фактична гетерозиготність; H_E – очікувана гетерозиготність; χ^2 – критерій відповідності, F_{IS} – індекс фіксації Райта.

Таблиця 5

Гомозиготність за генами тиреоглобуліну та соматотропіну у тварин бурої карпатської породи ВРХ

Ген	Генотипи	Число гомозиготних генотипів	Доля гомозиготних генотипів, %
TG5	TT	18	90
	CC	9	
GH	LL	15	73
	VV	7	

автор знайшла тільки декілька подібних досліджень бурої карпатської породи для порівняння результатів. Основний внесок у вивченні цієї породи зробила Копилова К.В. Так у дослідженнях 2005 року вона отримала перевагу алелю GH^L (0,740) у тварин ПГ «Нижні ворота» Закарпатської обл., а вивчаючи у 2009 році генетичну структуру бугаїв Банку генетичних ресурсів тварин ІРГТ ім. М.В. Зубця НААН виявила 100% перевагу гетерозиготного генотипу GH^{LV} гена соматотропіну (гормон росту) у бугаїв бурої карпатської породи (Копилова та ін., 2009). Ці результати знайшли своє відображення у отри-маних нами $GH^L=0,64$.

Висновки

Нами вивчені частоти поліморфних варіантів генів асоційованих з господарсько-корисними ознаками в тварин вітчизняної

бурої карпатської породи великої рогатої худоби, яка знаходиться під загрозою зникнення та є носієм унікального генофонду. Наші дослідження є частиною вивчення породоспецифічних особливостей, які допоможуть в розробці генетично обґрунтованих програм збереження.

Генетичний аналіз за генами-кандида-тами м'ясної продуктивності тиреоглобуліну (TG5) та соматотропіну (GH) показав наявність у досліджуваної породи своїх специфічних особливостей, які характерні тільки для неї – перевага «бажаних» для селекції алелей GH^L (0,64) та $TG5^T$ (0,665).

Встановлено, що частки тварин – носіїв гомозиготних «бажаних» генотипів склали GH^{LL} -50% та TG^{TT} -61%, що робить буру карпатську породу носієм цінних генотипів та вказує на потребу подальших молекулярно-генетичних досліджень.

Список використаної літератури

- Копилова К.В., Копилов К.В., Арнаут К.О. Генетична структура бугаїв різних порід великої рогатої худоби за локусами кількісних ознак. *Вісник аграрної науки*. 2012. №2. С. 47–49.
- Мохначова Н.Б. Вивчення генетичної структури популяції української аборигенної лебединської породи корів. *Acta Carpatica*. 2023. № 1. С. 50–58. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.6>
- Alison V. E. Marker – assisted selection in beef cattle. UC Davis. 2007. P. 1–2.
- Barendse W, Bunch R, Thomas M, Armitage S, et al. The TG5 thyroglobulin gene test for a marbling quantitative trait loci evaluated in feedlot cattle. *Aust J Exp Agr*. 2004. Vol. 44(7). P. 669–674. <https://doi.org/10.1071/EA02156>
- Bennett G.L., Shakelford T.L., Wheeler T.L., King D.A., Casas E., Smith T.P.L. Selection for genetic markers in beef cattle reveals complex associations of thyroglobulin and casein 1-S1 with carcass and meat traits. *J. Anim. Sci*. 2013. Vol. 91(2). P. 565–571.

Lee J.H., Lee Y.M., Lee J.Y., Oh D.Y., Jeong D.J., Kim J.J. Identification of single nucleotide polymorphisms (SNPs) of the bovine growth hormone (bGH) gene associated with growth and carcass traits in hanwoo. *Asian Australas. J AnimSci.* 2013. Vol. 26(10). P. 1359–1364. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13248>

M. C. Lucy, S. D. Hauser, P. J. Eppard, G. G., Krivi, J. H. Clark, D. E. Bauman, R. J. Collier. Variants of somatotropin in cattle: gene frequencies in major dairy breeds and associated milk yield. *J. Domest. Anim. Endocrinol.* 1993. Vol.10(4). P. 325–333. [https://doi.org/10.1016/0739-7240\(93\)90036-b](https://doi.org/10.1016/0739-7240(93)90036-b).

Molecular genetic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines. № 9. Rome, Italy : FAO of the UN, *Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture*, 2011. 87 p.

References (translated & transliterated)

Kopylova, K.V. (2012). Henetychna struktura buhayiv riznykh porid velykoyi rohatoyi khudoby za lokusamy kil`kisnykh oznak [Genetic structure of bulls of different breeds of cattle according to loci of quantitative traits]. *Visnyk ahrarnoyi nauky [Bulletin of Agrarian Science]*, 2, 47–49 [in Ukrainian].

Mokhnachova, N.B. (2023). Vyvchennya henetychnoyi struktury populyatsiyi ukrayins`koyi aboryhennoyi lebedyns`koyi porody koriv [Study of the genetic structure of the population of the Ukrainian aboriginal Lebedin breed of cows]. *Acta Carpatica*, 1, 50–58. <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.6> [in Ukrainian].

Alison, V.E. (2007). Marker – assisted selection in beef cattle. *UC Davis*, 1–2 [in English].

Barendse, W., Bunch, R., Thomas, M., & Armitage, S. (2004). The TG5 thyroglobulin gene test for a marbling quantitative trait loci evaluated in feedlot cattle. *Aust J ExpAgr.*, 44(7), 669–674. <https://doi.org/10.1071/EA02156> [in English].

Bennett, G.L., Shakelford, T.L., Wheeler, T.L., King, D.A., Casas, E., & Smith, T.P.L. (2013). Selection for genetic markers in beef cattle reveals complex associations of thyroglobulin and casein 1-S1 with carcass and meat traits. *J. Anim. Sci.*, 91(2), 565–571 [in English].

Lee, J.H., Lee, Y.M., Lee, J.Y., Oh, D.Y., Jeong, D.J., & Kim, J.J. (2013). Identification of single nucleotide polymorphisms (SNPs) of the bovine growth hormone (bGH) gene associated with growth and carcass traits in hanwoo. *Asian Australas. J AnimSci.*, 26(10), 1359–1364. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13248> [in English].

M.C. Lucy, S.D. Hauser, P. J. Eppard, G. G., Krivi, J. H. Clark, D. E. Bauman, & R. J. Collier (1993). Variants of somatotropin in cattle: gene frequencies in major dairy breeds and associated milk yield. *J. Domest. Anim. Endocrinol.*, 10(4), 325–333. [https://doi.org/10.1016/0739-7240\(93\)90036-b](https://doi.org/10.1016/0739-7240(93)90036-b) [in English].

Molecular genetic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines. (2011). *Rome, Italy : FAO of the UN, Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture*, 87 [in English].

Отримано: 28.11.2023

Прийнято: 11.12.2023



ГЕОГРАФІЯ

УДК 911.3.333 (477.51)+551.583.2
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.4>

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР: КЕЙС ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

М. О. Барановський¹, О. В. Барановська²

Кліматичні зміни є вагомим чинником впливу на продуктивність сільськогосподарських культур. Об'єктивна оцінка цього впливу є складним завданням, вона важлива для продовольчої безпеки та ефективного використання аграрного потенціалу регіону. Це спонукало провести дослідження, аби виявити реальний вплив кліматичних трендів на продуктивність сільськогосподарських культур Чернігівської області. Дослідження базувалося на показниках динаміки врожайності п'яти сільськогосподарських культур, двох кліматичних і п'яти агротехнічно-економічних показників Чернігівської області за 2001–2020 роки. Цей період характеризувався значними змінами кліматичних характеристик, а його тривалість є достатньою для об'єктивного наукового аналізу. Вплив кліматичного чинника на варіацію продуктивності сільськогосподарських культур оцінювався на основі використання канонічного аналізу. Його результати вказують на те, що внесок кліматичного чинника у флуктуацію врожайності основних сільськогосподарських культур Чернігівської області становить 30%. З-поміж кліматичних характеристик найбільший вплив на урожайність мав термічний режим, особливо впродовж 2011–2020 років. З'ясувалося, що майже 70% варіації врожайності п'яти аграрних культур області детермінують агротехнічно-економічні чинники. Це вказує на ймовірність завищеної оцінки внеску кліматичних показників у тих випадках, коли роль інших чинників ігнорується. Водночас отримані результати не спростовують усталене твердження про зростаючий вплив кліматичних трендів на продуктивність сільськогосподарських культур. У Чернігівській області це проявилось у просторовій експансії низки ліквідних сільськогосподарських культур на півночі регіону, у значному зростанні валових зборів цих культур. Кліматичні зміни 2001–2020 років посилили природні конкурентні переваги Чернігівської області на ринку виробників аграрної продукції. Оцінка впливу кліматичного чинника на врожайність сільськогосподарських культур регіону, яка вперше проведена на основі використання канонічного аналізу,

¹ доктор географічних наук, професор,
професор кафедри географії, туризму та спорту (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)
e-mail: Brnm@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0771-1126

² кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри географії, туризму та спорту
(Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)
e-mail: Olia_Bar@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5758-3129

може стати підґрунтям для перегляду системи землеробства задля більш ефективного використання аграрного потенціалу Чернігівської області.

Ключові слова: кліматичні зміни, агротехнічні та економічні чинники, продуктивність сільськогосподарських культур, канонічний аналіз, Чернігівська область.

FEATURES OF ASSESSING THE IMPACT OF CLIMATIC FACTORS ON AGRICULTURAL CROP YIELDS: CASE OF CHERNIHIV REGION

M. O. Baranovskyi, O. V. Baranovska

Climate change is a significant factor affecting the productivity of agricultural crops. Objective assessment of this impact is a difficult task; it is important for food security and effective use of the region's agricultural potential. This has prompted a study to identify the actual influence of climatic trends on the productivity of agricultural crops in Chernihiv region. The study was based on indicators of yield dynamics of five agricultural crops, two climatic and five agrotechnical and economic indicators of Chernihiv region over 2001–2020. This period was characterized by significant changes in climatic characteristics, and its duration is sufficient for objective scientific analysis. The influence of the climatic factor on the variation in crops productivity was evaluated using canonical analysis. Its results indicate that the contribution of the climatic factor to the fluctuation of the yield of the main agricultural crops of Chernihiv region is 30%. Among the climatic characteristics, the thermal regime had a greater impact on yield, especially during 2011–2020. It turned out that almost 70% of the variation in yields of five agricultural crops in the region is determined by agrotechnical and economic factors.

This indicates that the contribution of climatic factors may be overestimated when the role of other factors is ignored. At the same time, the obtained results do not refute the established statement about the growing influence of climate trends on the productivity of agricultural crops. In Chernihiv region, this has manifested in the spatial expansion of a number of liquid agricultural crops to the north of the region and in a significant increase in the gross harvest of these crops. The climate change in 2001–2020 has strengthened the natural competitive advantages of Chernihiv region in the market of agricultural producers. The assessment of the climatic factors impact on the crop yields in the region, first conducted using canonical analysis, may become basis to revise the agricultural system for a more effective utilization of the agrarian potential of Chernihiv region.

Key words: climate change, agrotechnical and economic factors, productivity of agricultural crops, canonical analysis, Chernihiv region.

Вступ

Проблема оцінки впливу різних чинників на урожайність сільськогосподарських культур є актуальною впродовж багатьох років. В останні десятиріччя різко зросла кількість наукових досліджень з оцінки впливу кліматичних чинників на аграрне виробництво, продуктивність сільськогосподарських культур. Це загальносвітовий тренд, адже проблема кліматичних змін та їхніх ймовірних наслідків є глобальним викликом для людства (Hansen et al., 2023).

Перші роботи з оцінки впливу кліматичних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур з'явилися ще в 70-х роках минулого століття. Вони збурили інтерес до цієї тематики та стимулювати урізноманітнення інструментарію наукового пошуку. Результати наукових досліджень, які проведені в різних країнах (Грицюк і Бачишина, 2016; Kukal et al., 2018; Балабух, 2019; Guntukuka et al., 2020; Wu et al., 2021) і для різних сільськогосподарських культур

(Кривошеїн та ін., 2016; Балабух, 2017; Wang et al., 2018; Польовий та ін., 2022), дають підстави для кількох узагальнень. По-перше, дія кліматичних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур має помітні регіональні відмінності. По-друге, однакові тренди кліматичних характеристик зумовлюють різні наслідки для різнотипних сільськогосподарських культур. По-третє, кліматичні зміни мають як позитивний, так і негативний вплив на продуктивність сільськогосподарських культур. По-четверте, зміни термічного чинника та режиму зволоження по-різному впливають на урожайність і валові збори окремих культур.

Важливим аспектом дослідження впливу кліматичних змін на розвиток аграрного виробництва є методика оцінки цього впливу. Палітра методів, які використовуються у науковій практиці для розв'язання зазначеного питання, є досить широкою. Це класична (Kukal et al., 2018) та ускладнена (з часовим зважуванням) (Yang, 2022)

регресія, кореляція та нелінійна регресія (Konduri et al., 2020; Грицюк та ін., 2022), динамічна модель продуктивності посівів (Польовий та ін., 2021), кліматичний потенціал (Кривошеїн та ін., 2016), модель узагальнених найменших квадратів (Wu et al., 2021), модель «випадкових лісів» (Мюллер та ін., 2016). Чутливість урожайності до кліматичних і погодних змін на конкретній дослідній ділянці в Німеччині оцінювалася також шляхом використання ковзного середнього АРКС часових рядів, залишків від тренду та множинної регресії (Hail et al., 2020).

Немає сумнівів у тому, що кліматичні зміни реально впливають і надалі впливатимуть на продуктивність сільськогосподарських культур, на їхнє просторове поширення (Семенова і Польовий, 2020). Однак не можна ігнорувати дію економічних та агротехнічних заходів, зокрема внесення мінеральних добрив, використання сучасних агротехнологій, засобів захисту рослин чи стимуляторів їхнього росту. Зростання продуктивності сільськогосподарських культур зумовлене як кліматичними характеристиками, так і агроекономічними чинниками й почасти «... проблемно встановити розміри часток усіх складників, які зумовляють стрімке зростання врожайності» (Польовий та ін., 2019). У дослідженнях з оцінки впливу кліматичних змін на продуктивність сільськогосподарських культур цим аспектам не приділяється належна увага. Винятком є підхід, розроблений фахівцями з агрометеорології ще наприкінці ХХ ст. і частково використаний у дослідженні науковців Інституту водних проблем і меліорації НААН України (Ромашенко та ін., 2020). За цим підходом, оцінка внеску кліматичного та агротехнічного складників у динаміку врожайності здійснюється шляхом обчислення двох видів дисперсії. При визначенні загальної дисперсії використовуються показники врожайності конкретного року та пересічної багаторічної для регіону, агротехнічної – показники трендової та пересічної багаторічної врожайності. Внесок кліматичного чинника визначається як різниця між загальною та агротехнічною дисперсією. Можна окреслити щонайменше два недоліки цього підходу: по-перше, оцінка внеску кліматичного чинника базується на припущенні, що відхилення урожайності конкретного року від тренду зумовлене лише погодними умовами, по-друге, оцінка впливу кліматичного та агротехнічного чинників здійснюється без залучення показни-

ків, які їх презентують. Прикладом часткового врахування агротехнічних заходів є підхід, коли вплив кліматичних чинників на врожайність оцінюється з урахуванням рівня внесених добрив (Heil et al., 2020).

За таких умов закономірними є кілька запитань. Як максимально об'єктивно оцінити вплив різних груп чинників на продуктивність сільськогосподарських культур? Які методи є найбільш релевантними для розв'язання цієї проблеми? Наскільки достовірними є результати використання економетричних методів при дослідженні природних процесів і видів людської діяльності? З-поміж методів, які дозволяють дати відповідь на поставлені запитання, слід відзначити канонічний аналіз. Він належить до набору класичних методів економетрики, який дозволяє виявити залежність між двома наборами (групами) показників. Цей метод досі не використовували для розв'язання окреслених вище завдань.

Головним завданням цього дослідження є оцінка впливу кліматичних чинників на варіацію продуктивності сільськогосподарських культур методом канонічного аналізу. Авторами вперше використано цей інструмент економетрики для визначення внеску кліматичних та агротехнічно-економічних чинників у динаміку врожайності сільськогосподарських культур у межах Чернігівської області.

Матеріал і методи

Територією для оцінки впливу різних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур було обрано Чернігівську область. Область цікава тим, що вона розміщується відразу у двох природних зонах, характеризується позитивною динамікою урожайності основних сільськогосподарських культур і в останні роки стала лідером в Україні за виробництвом зернових.

Інформаційну основу дослідження склали статистичні дані Головного управління статистики у Чернігівській області, а також Чернігівського обласного центру з гідрометеорології. Для аналізу ми відібрали показники урожайності п'яти сільськогосподарських культур, які вирощувалися у Чернігівській області упродовж 2001–2020 років – пшениці, кукурудзи, проса, картоплі та соняшнику.

Кліматичні характеристики були представлені пересічними показниками температури повітря й кількості опадів упродовж періоду вегетації (квітень-вересень) за аналогічний період. Зміни температури пові-

тря і кількості опадів у період вегетації були й лишаються важливими чинниками флуктуації врожайності сільськогосподарських культур. Двадцятирічний період є достатньо тривалим для виявлення трендів урожайності сільськогосподарських культур і головних кліматичних параметрів – температури та зволоження.

Агротехнічно-економічні чинники презентували показники внесених мінеральних та органічних добрив, кількості сільськогосподарської техніки та рентабельності вирощування зазначених сільськогосподарських культур. Специфіка впливу цих показників, особливо сільськогосподарської техніки, не є лінійною. Логічним видається твердження, що належна забезпеченість аграрних виробників сільськогосподарською технікою створює сприятливі умови для своєчасного та якісного обробітку ґрунту, проведення польових робіт, збору збіжжя тощо. Для досягнення максимальної об'єктивності дослідження показники внесення добрив визначалися на 100 га сільськогосподарських угідь.

Оцінка впливу кліматичних та агротехнічно-економічних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур у Чернігівській області проведена шляхом використання канонічного аналізу. З-поміж низки економічних методів він лишається найбільш недооціненим для розв'язання таких завдань. Із сукупності зазначених вище показників було сформовано кілька множин змінних. Парами змінних при цьому виступали показники врожайності зернових культур та кліматичні параметри; показники врожайності зернових культур та агротехнічні й економічні показники. Дві інші пари показників сформували кліматичні, агротехнічно-економічні показники та врожайність картоплі й соняшнику. Для позначення показників продуктивності сільськогосподарських культур використовувалися такі символи: Y_1 – урожайність

пшениці (ц/га); Y_2 – кукурудзи; Y_3 – проса; Y_4 – соняшнику; Y_5 – картоплі. Подібні символи були введені для позначення кліматичних характеристик (X_1 – температура повітря (°C) у період вегетації; X_2 – кількість опадів упродовж квітня-вересня відповідного року (мм)) та агротехнічно-економічних чинників (X_3 – кількість внесених мінеральних добрив на 1 га, кг; X_4 – кількість внесених органічних добрив на 1 га, кг; X_5 – кількість тракторів, од.; X_6 – рентабельність вирощування зернових культур, %; X_7 – рентабельність вирощування соняшнику, %).

Канонічний аналіз включав кілька ітерацій і виконувався в програмі STATISTICA 10.1 (Мамчич та ін., 2006): 1) формування пар груп залежних змінних і чинників впливу; 2) оцінку величини канонічної кореляції між групами показників; 3) перевірку статистичної значущості; 4) виявлення внутрішніх латентних властивостей канонічних змінних, їхню кількісну оцінку; 5) трактування результатів та практичні рекомендації щодо використання. Головними індикаторами оцінки впливу різних чинників на врожайність сільськогосподарських культур є загальна збитковість лівої та правої множин. Чим ближчою до 100% є ця збитковість, тим вищою є залежність урожайності чи то від кліматичних, чи то від агротехнічно-економічних чинників. Додатково оцінювалися канонічна кореляція та кореляція між показниками різних груп (залежні змінні та чинники).

Результати

Оцінка впливу різних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур потребує хоча б короткого огляду «учасників» цього процесу.

Головні агрокліматичні показники – температура повітря й кількість опадів в Чернігівській області за 2001–2020 роки зазнали помітних змін (табл. 1). Пересічна температура повітря за період вегетації впродовж 2011–2020 роки зросла проти аналогіч-

Таблиця 1
Динаміка температури та кількості опадів у період вегетації в Чернігівській області

Місяці	Пересічна температура, °C			Кількість опадів, мм		
	1944–2019 роки	2001–2010 роки	2011–2020 роки	1944–2019 роки	2001–2010 роки	2011–2020 роки
Квітень	8,1	8,6	9,7	41,0	36,3	34,2
Травень	14,6	14,5	16,4	53,0	57,4	61,0
Червень	18,1	18,0	19,6	71,0	63,8	59,4
Липень	19,5	21,2	20,8	80,0	67,8	75,1
Серпень	18,4	19,7	20,0	62,0	62,4	44,7
Вересень	13,0	13,6	14,3	50,0	55,4	43,0

Складено авторами за дж. (Департамент ..., 2023)

ного показника за 1944–2019 роки на 1,5 °С, а кількість опадів скоротилася на 6,6 мм (11%). Це збільшило суму активних температур і тривалість вегетаційного періоду в регіоні. Зазначені кліматичні зміни зумовили просторову експансію на територію області відносно теплолюбних культур і зростання їхньої продуктивності.

Позитивна динаміка врожайності спостерігалася не лише в лісостеповій, а і в поліській частині Чернігівської області, де гірші природні передумови для розвитку аграрного виробництва. Загалом за 2001–2020 роки врожайність пшениці зросла у 2,6 раза, кукурудзи – в 1,9 раза, соняшнику – у 4,3 раза (табл. 2). Натомість продуктивність картоплі змінилася несуттєво, оскільки кліматичні зміни останнього десятиліття мають більше негативний, ніж позитивний вплив на її вирощування.

Третій «учасник» дослідження – агротехнічно-економічний чинник – характеризується різновекторною динамікою показників. Так, за 2001–2020 роки кількість внесених мінеральних добрив на 100 га сільськогосподарських угідь збільшилася в області у 9,3 раза. Щодо органічних добрив і сільськогосподарської техніки (тракторів), то їхні показники мають протилежну динаміку. До прикладу, кількість тракторів в агрогосподарствах області з 2001 до 2020 року скоротилася більш як удвічі. Можна передбачити, що ситуація із сільськогосподарською технікою суттєво не вплинула на проведення польових робіт, оскільки стара техніка замінюється новою, більш продуктивною.

Рентабельність вирощування сільськогосподарських культур має два контексти. З одного боку, її величина є результатом складного, інколи ситуативного поєднання природних, економічних, ринкових, цінових складників. З іншого боку, висока рентабельність окремих сільськогосподарських культур є стимулом для збільшення інвестицій у них і до зростання посівних площ під цими культурами.

Оцінка впливу кліматичних параметрів проводилася окремо для зернових (пшениця, кукурудза та просо), технічних культур (соняшник) та картоплі. Залежними змінними в першому випадку були показники врожайності трьох зернових культур, чинниками впливу – пересічні температури повітря й кількості опадів за період вегетації. В другому випадку до аналізу залучалися показники врожайності соняшнику й картоплі та вже згадані кліматичні характеристики.

Результати канонічного аналізу вказують на те, що варіація врожайності трьох зернових культур у Чернігівській області не мала суттєвої залежності від кліматичних чинників (табл. 3). Загальний збиток першої групи становив 29,49%, другої – майже 24%. Це означає, що варіація урожайності пшениці, кукурудзи та проса в Чернігівській області визначалася кліматичними чинниками орієнтовно на 30%. Водночас урожайність цих трьох зернових культур детермінувала 24% варіації кліматичних характеристик. Незначну залежність між урожайністю зернових і кліматичними характеристиками підтвердили коефіцієнти канонічної та внутрішньої кореляції. До прикладу, коефіцієнт канонічної кореляції становив лише $R=0,59021$.

Таблиця 2

Динаміка врожайності окремих сільськогосподарських культур у Чернігівській області, ц/га

Роки	Пшениця	Кукурудза	Просо	Соняшник	Картопля	Роки	Пшениця	Кукурудза	Просо	Соняшник	Картопля
2001	18,7	40,3	8,7	6,7	148,8	2011	27,2	64,9	18,5	18,3	207,0
2002	23,9	45,4	8,9	8,3	145,6	2012	36,8	62,0	13,0	20,3	194,0
2003	14,6	46,1	10,2	9,2	148,0	2013	37,3	63,8	12,3	21,7	189,0
2004	32,2	51,1	9,0	8,2	155,0	2014	45,6	72,0	16,9	22,6	193,0
2005	26,5	52,8	10,9	11,2	132,0	2015	38,1	69,0	17,8	24,7	189,1
2006	22,6	46,7	7,9	11,4	166,0	2016	42,3	79,0	16,3	25,9	151,0
2007	31,5	51,2	10,1	15,0	185,0	2017	46,9	75,3	15,8	24,2	186,0
2008	34,4	45,7	11,6	16,3	179,0	2018	41,3	94,0	15,2	28,4	189,9
2009	34,6	51,6	13,1	15,8	185,0	2019	46,3	79,5	16,4	29,9	160,7
2010	22,6	39,7	10,6	15,7	141,1	2020	50,3	77,4	21,2	28,9	168,0

Складено авторами за дж. (Сільське ..., 2021)

Далі ми розбили часовий період на дві частини (2001–2010 та 2011–2020 роки) та знову провели канонічний аналіз. Такий підхід виявився ефективним, оскільки дозволив виявити більш суттєві залежності. Так, коефіцієнт канонічної кореляції між показниками врожайності та кліматичними чинниками у 2011–2020 роках становив уже $R=0,964$, а загальний збиток зріс до майже 65%. Отримані результати дали підстави сформулювати два висновки: 1) вплив кліматичних чинників на урожайність зернових культур у Чернігівській області у 2011–2020 роках був значно більшим, ніж у 2001–2010 роках; 2) визначальний вплив на варіацію урожайності пшениці, кукурудзи та проса в регіоні мала температура повітря, а не кількість опадів.

Вплив кліматичних чинників на динаміку врожайності соняшнику та картоплі також виявився помітно меншим, ніж очікувалося. Загальний збиток для змінних першої групи (ліва множина) склав 23,38%, отже варіація врожайності соняшнику та картоплі детермінується кліматичними показниками X_1 – X_2 лише на зазначену величину (див. табл. 3). Це також означає, що майже 75% дисперсії змінних Y_4 – Y_5 залежить від інших чинників. Показники кореляції всередині та між групами, які є одними із результатів канонічного аналізу, вказують на вищу залежність продуктивності соняшнику та картоплі від температури повітря. Канонічні змінні для цього показника мали такий вигляд: $Z_y = -1,11447Y_1 + 0,32836Y_2$ та $Z_x = -0,729849X_1 + 0,534407X_2$. Підставивши у зазначені рівняння стандартизовані показники урожайності та кліматичних характеристик можна отримати їхні кіль-

кісні оцінки для регіону чи його окремих територій.

Друга частина дослідження включала оцінку впливу агротехнічно-економічних чинників на продуктивність зернових культур, соняшнику та картоплі. Агротехнічно-економічні чинники презентували п'ять показників (X_3 – X_7). Три з них – кількість внесених мінеральних, органічних добрив і кількість тракторів використовувалися в канонічному аналізі для обох груп сільськогосподарських культур, два інші – (X_6) та (X_7) – відповідно для зернових культур, соняшнику та картоплі.

Як свідчать результати канонічного аналізу, вплив агротехнічно-економічних чинників на варіацію продуктивності сільськогосподарських культур у Чернігівській області виявився значно вищим, ніж кліматичних. Підтвердженням цього є величини коефіцієнтів канонічної кореляції (R), коефіцієнтів кореляції між окремими показниками залежних змінних і чинників впливу, а також величини загальної збитковості (табл. 4).

Величина загальної збитковості лівої множини для показників Y_1 – Y_3 (зернові культури) вказує на те, що варіація їхньої врожайності на 78,26% визначалася агротехнічно-економічними чинниками. При цьому врожайність цих культур детермінують 47,4% (права множина) варіації агротехнічно-економічних показників. З-поміж останніх найвагоміший вплив на врожайність зернових культур мають показники кількості внесених мінеральних добрив на 100 га сільськогосподарських угідь і кількість тракторів. Кореляційна залежність між врожайністю пшениці та кількістю мінеральних добрив становила 0,826, проса та мінеральних добрив – 0,893. Високою є також кореля-

Таблиця 3

Результати канонічного аналізу з оцінки впливу кліматичних параметрів на урожайність сільськогосподарських культур

N=20	Результати канонічного аналізу Каноніч. R:0,59021 $X_{\text{л}}^2(6)=8,0281$ $p=0,23609$		N=20	Результати канонічного аналізу Каноніч. R:0,69760 $X_{\text{п}}^2(4)=11,022$ $p=0,002634$	
	Ліва множина	Права множина		Ліва множина	Права множина
Кількість змінних	3	2	Кількість змінних	2	2
Вилучена дисперсія	90,23%	100,00%	Вилучена дисперсія	100,00%	100,00%
Загальна збитковість	29,49%	23,97%	Загальна збитковість	23,38%	29,88%
Змінні: 1	Y_1	X_1	Змінні: 1	Y_4	X_1
2	Y_2	X_2	2	Y_5	X_2
3	Y_3				

Складено авторами

Таблиця 4

Результати канонічного аналізу з оцінки впливу агротехнічно-економічних чинників на урожайність сільськогосподарських культур

N=20	Результати канонічного аналізу Каноніч. R:0,942 $\chi^2(12)=36,478$ p=0,00027		N=20	Результати канонічного аналізу Каноніч. R:0,986 $\chi^2(8)=60,849$ p=0,000000	
	Ліва множина	Права множина		Ліва множина	Права множина
Кількість змінних	3	4	Кількість змінних	2	4
Видучена дисперсія	100,00 %	78,96 %	Видучена дисперсія	100,00 %	57,02 %
Загальна збитковість	78,26 %	47,40 %	Загальна збитковість	69,13 %	50,38 %
Змінні: 1	Y_1	X_1	Змінні: 1	Y_4	X_1
2	Y_2	X_2	2	Y_5	X_2
3	Y_3	X_3	3		X_3
4		X_4	4		X_4

Складено авторами

ційна залежність між урожайністю зернових і кількістю тракторів, хоч вона й обернена ($r=-0,781\dots-0,804$). Водночас вплив рентабельності вирощування зернових культур на варіацію їхньої врожайності в Чернігівській області незначний.

Варіація врожайності соняшнику та картоплі (показники Y_4 - Y_5) визначається агротехнічно-економічними чинниками майже на 70% (див. табл. 4). Канонічна модель має високу точність побудови, оскільки орієнтовно 30% дисперсії змінних Y_4 - Y_5 залежать від інших, не врахованих в аналізі чинників. Загальні тренди впливу агротехнічно-економічних чинників на продуктивність соняшнику та картоплі подібні до їхньої дії на зернові культури. Найбільший вплив на врожайність соняшнику мають показники кількості внесених мінеральних добрив ($r=0,968$) і кількості тракторів ($r=-0,916$). Водночас урожайність картоплі менше залежить від цих та інших агротехнічно-економічних показників.

Обговорення

Проведений на матеріалах Чернігівської області аналіз показав, що сила й напрямок впливу кліматичних чинників на продуктивність сільськогосподарських культур є неоднозначними та різновекторними. Результати дослідження вказують на те, що внесок кліматичного чинника може штучно завищуватися, якщо науковці при вивченні цього питання ігнорують дію інших складників. Навіть у дуже рейтингових роботах, які спираються на величезну первинну статистику (Мюллер та ін., 2016), вплив некліматичних чинників не враховувався.

Слід також зазначити, що використовуючи різні методи, можна отримати якщо не

діаметрально протилежні, то принаймні суперечливі результати щодо внеску кліматичного чинника у флуктуацію урожайності сільськогосподарських культур. Так, результати цього дослідження помітно відрізняються від тих, які були отримані автором статті шляхом використання іншої методики (Барановський і Глушко, 2023).

Немає сумнівів у тому, що кліматичні тренди впливають і будуть впливати на аграрне виробництво. Результати цього дослідження не спростовують зазначене твердження, хоча свідчать про помітно менший (майже 30%), ніж очікувалося, внесок кліматичного складника в продуктивність сільськогосподарських культур у Чернігівській області. Вочевидь у цьому регіоні вплив кліматичного чинника проявився не в урожайності аграрних культур, а в формуванні належних природних передумов для їхнього вирощування. Багаторазове зростання в Чернігівській області посівних площ і валових зборів кукурудзи, проса, соняшнику, просторове поширення цих культур у поліську частину регіону зумовлене саме кліматичними змінами.

Перспективи подальших досліджень: подальші кліматичні зміни – невідворотна реальність. Потрібні поглиблені дослідження в цій царині. Вони мають спиратися на широку статистичну базу, використовувати сучасні методи наукового пошуку, що дозволить адаптувати сільськогосподарське виробництво до реалій сьогодення, підвищити ефективність використання аграрного потенціалу регіону.

Висновки

Встановлено, що варіація врожайності основних зернових культур, соняш-

нику та картоплі в Чернігівській області у 2001–2020 роках детермінувалася кліматичними трендами орієнтовно на 30%. Натомість внесок агротехнічно-економічних чинників у цей же період сягав 70%. Стрімке зростання урожайності кукурудзи, соняшнику та частково пшениці в Чернігівській області відбулося переважно завдяки внесенню мінеральних добрив та якісним і своєчасним агротехнічним роботам. Результати дослідження достовірні для цього регіону, проте з певною обачністю їх можна інтерполювати й на інші області Українського Полісся.

Отримані на основі використання канонічного аналізу результати не суперечать устааленим твердженням про все зростальний вплив кліматичних трендів на продуктивність сільськогосподарських культур. Підтверджено, що Чернігівщина – регіон, де кліматичні зміни мали позитивний вплив на розвиток аграрного виробництва і сприяли просторовій експансії низки ліквідних сільськогосподарських культур на північ регіону. Така ситуація потребує перегляду традиційних систем землеробства та врахування їх у стратегії розвитку аграрної сфери Чернігівської області.

Список використаної літератури

- Балабух В.О. Вплив зміни клімату на формування урожайності кукурудзи в агрокліматичних зонах України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. №3 (54). С. 103–104.
- Балабух В.О., Однолеток А.П., Кривошеїн О.О. Вплив зміни клімату на продуктивність озимої пшениці в Україні у період вегетаційного циклу. *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія*. 2017. №3 (46). С. 72–85.
- Барановський М.О., Глушко Д.О. Територіальна трансформація в сільському господарстві Чернігівської області в умовах кліматичних змін: кейс кукурудзи та соняшнику. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2023. №58. С. 134–142. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-11>.
- Грицюк П.М., Бачишина А.Д. Вплив зміни кліматичних умов на динаміку врожайності зернових в Україні. *Економіка України*. 2016. №6 (655). С. 68–75.
- Грицюк П.М., Бабиш Т.Ю., Красько Б.В. Класифікаційні методи прогнозування врожайності. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки»*, 2022. №3 (309). С. 209–216. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-309-3-209-216>.
- Департамент агропромислового розвитку Чернігівської обласної державної адміністрації [Електронний ресурс]. URL: <https://apk.cg.gov.ua/index.php?id=384735&tp=0> (дата звернення 22.05.2023)
- Кривошеїн О.О., Однолеток А.П., Дзюба А.П. Оцінка погодних умов та організаційно-технологічних заходів на урожайність озимої пшениці за кліматичним потенціалом. *Наукові праці УкрНДІГМІ*. 2016. №269. С. 151–158.
- Мамчич Т.І., Оленко А.Я., Осипчук М.М., Шпортюк В.Г. Статистичний аналіз даних з пакетом Statistica. Навчально-методичний посібник. Дрогобич: ВФ «Відродження», 2006. 208 с.
- Мюллер Д., Юнгандреас А., Кох Ф., Шірхорн Ф. Вплив кліматичних змін на виробництво пшениці в Україні. Київ, 2016. [Електронний ресурс]. https://apd-ukraine.de/images/2016/02-2016/APD_APR_02-2016_impact_on_wheat_ukr_fin.pdf (дата звернення 11.06.2023)
- Польовий А.М., Божко А.Ю., Барсукова О.А. Агрокліматичні аспекти продуктивності соняшника Одещини в умовах потепління клімату. *Екологічні науки*, 2022. №5 (44). С. 249–254. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.38>.
- Польовий А.М., Костюкевич Т.К., Толмачова А.В., Жигайло О.Л. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в західному Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. №1. С. 29–36. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4).
- Польовий В.М., Лукашук А.Я., Лук'яник М.М. Вплив змін клімату на розвиток рослинництва в умовах Західного регіону. *Вісник аграрної науки*. 2019. №9 (798). С. 29–34. <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201909-04>.
- Ромащенко М.І., Гусев Ю.В., Шатковський А.П., Сайдак Р.В., Яцюк М.В., Шевчук А.М., Матяш Т.В. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Меліорація і водне господарство*. 2020. №1. С. 5–22. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>.
- Семенова І.Г., Польовий А.М. Прогностичний розподіл посух теплого сезону по території України в 2021–2050 рр. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: «Геологія. Географія. Екологія»*. 2020. №53. С. 169–179. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-13>.

Сільське господарство Чернігівщини за 2000–2020 роки. Статистичний збірник. Чернігів, 2021. 89 с.

Guntukuka R. Assessing the impact of climate change on Indian agriculture: Evidence from major crop yields. *Journal of Public Affairs*, 2020. <https://doi.org/10.1002/pa.2040>.

Hail K., Lehner A. & Schmidhalter U. Influence of climate conditions on the temporal development of wheat yields in a long-term experiment in an area with pleistocene loess” *Climate* 8, 2020. №. 9: 100. <https://doi.org/10.3390/cli8090100>.

Hansen J.E., Makito Sato M., Simons L., Nazarenko L., Sangha I., Kharecha P., Zachos J., Schuckmann K., Loeb N.G., Osman M.B., Jin Q., Tselioudis G., Jeong E., Lacic A., Russell R., Cao J. & li J. Global warming in the pipeline. *Oxford Open Climate Change*, 2023, Vol. 3. № 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008>.

Kukul M.S. & Irmak S. Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great plains agricultural production. *Biological systems engineering: papers and publications*. 2018. 524. [Electronic resource] URL;<https://digitalcommons.unl.edu/biosysengfacpub/524> (access date 20.05.2023).

Konduri V.S., Vandal N.J., Ganguly S. & Auroop R. Data Science for weather impacts on crop yield. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020. Vol. 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00052/>

Wang J., Vanla S.K., Saxena R., Orsard V. & Raghavan V. Effect of Climate Change on the Yield of Cereal Crops: A Review. *Climate*, 2018. Vol. 6. № 2. 41 p. <https://doi.org/10.3390/cli6020041>.

Wu J.-Z., Zhang J., Zhang-ming G., Li-wei X., Shu-qing H., Chen S., Kong F. Impact of climate change on maize yield in China from 1979 to 2016. *Journal of Integrative Agriculture*, 2021. Vol. 20. № 1. P. 289–299. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63244-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63244-0).

Yang B., Wu S. & Yan Z. Effects of Climate Change on Corn Yields: Spatiotemporal Evidence from Geographically and Temporally Weighted Regression Model. *International journal of Geo-information*. 2022. № 11 (8). 433. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080433>.

References (translated & transliterated)

Balabukh, V.O. (2019). Vplyv zmin klimatu na formuvannya urozhaynosti kukurudzy v ahroklimatychnykh zonakh Ukrainy [The impact of climate change on the formation of corn productivity in the agro-climatic zones of Ukraine]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 3 (54), 103–104 [in Ukrainian].

Balabuh, V.O., Odnoletok, L.P., & Kryvoshein, O.O. (2017). Vplyv zmin klimatu na produktyvnist ozymoyi pshenytsi v Ukraini v period vehetatsiynoho tsykladu [Climate change impacts on the winter wheat productivity in Ukraine during vegetation cycle]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 3 (46), 72–85 [in Ukrainian].

Baranovskiy, M.O., & Hlushko, D.O. (2023). Terytorialna transformatsiia v silskomu hospodarstvi Chernihivskoi oblasti v umovakh klimatychnykh zmin: keis kukurudzy ta soniashnyku [Territorial transformations in agriculture of Chernihiv region in the context of climate change: the case of corn and sunflower]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriiia «Heolohiiia. Heohrafiia. Ekolohiiia» [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»]*, 58, 134–142. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-11> [in Ukrainian].

Hrytsiuk, P.M., & Bachyshyna, L.D. (2016). Vplyv zminy klimatychnykh umov na dynamiku vrozhaynosti zernovykh v Ukraini [Fluence of a change in climatic conditions on the dynamics of the crop yield of cereals in Ukraine]. *Ekonomika Ukrainy [Economy of Ukraine]*, 6 (655), 68–75 [in Ukrainian].

Hrytsiuk, P.M., Babych, T.Iu., & Krasko, B.V. (2022). Klasyfikatsiini metody prohnozuvannia vrozhaynosti [Classification methods of the yield forecastin]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriiia: «Tekhnichni nauky» [Herald of Khmelnytskyi National University. Series: «Technical sciences»]*, 3 (309), 209–216. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-309-3-209-216> [in Ukrainian].

Departament ahropromyslovoho rozvytku Chernihivskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii [Department of Agro-Industrial Development of the Chernihiv Regional State Administration]. [Electronic resource] URL: <https://apk.cg.gov.ua/index.php?id=384735&tp=0> (access date 22.05.2023) [in Ukrainian].

Kryvoshein, O.O., Odnolietok, L.P., & Dziuba, L.P. (2016). Otsinka pohodnykh umov ta orhanyzatsiino-tekhnolohichnykh zakhodiv na urozhaynist ozymoi pshenytsi za klimatychnym potentsialom [Impact evaluation of weather conditions and farming practices in crop yield of winter wheat through its climatic potential]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Scientific works of the Ukrainian hydrometeorological institute]*, 269, 151–158 [in Ukrainian].

Mamchych, T.I., Olenko, A.Ia., Osypchuk, M.M., & Shportiuk, V.H. (2006). Statystychnyi analiz danykh z paketom Statistica. Navchalno-metodychnyi posibnyk [Statistical data analysis with the Statistitsa package. Educational and methodological manual]. Drohobych: P.C. «Vidrozhennia» [in Ukrainian].

Miuller, D., Yunhandreas, A., Kokh, F., & Shirhorn, F. (2016). Vplyv klimatychnykh zmin na vyrobnytstvo pshenytsi v Ukraini [Impact of climate change of wheat production in Ukraine]. [Electronic resource] URL: https://apd-ukraine.de/images/2016/02-2016/APD_APR_02-2016_impact_on_wheat_ukr_fin.pdf (access date 11.06.2023) [in Ukrainian].

Polovyi, A.M., Bozhko, L.Iu., & Barsukova, O.A. (2022). Ahroklimatychni aspekty produktyvnosti soniashnyka Odeshchyny v umovakh poteplynnia klimatu [Agroclimatic aspects of sunflower productivity in Odesa region in conditions of climate warming. *Ekolohichni nauky [Ecological sciences]*, 5 (44), 249–254. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.38> [in Ukrainian].

Polovyi, A.M., Kostiukevych, T.K., Tolmachova, A.V., & Zhyhailo, O.L. (2021). Vplyv klimatychnykh zmin na formuvannya produktyvnosti kukurudzy v zakhidnomu Lisostepu Ukrainy [The impact of climatic changes on forming the corn productivity in the western forest-steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomor'ia [Ukrainian Black Sea region agrarian science]*, 1, 29–36. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4) [in Ukrainian].

Polovyi, V.M., Lukashchuk, L.Ia., & Lukianyk, M.M. (2019). Vplyv zmin klimatu na rozvytok roslynnytstva v umovakh Zakhidnoho rehionu [Influence of climate fluctuations on development of plant growing in conditions of Western region]. *Visnyk ahrarnoi nauky [Bulletin of Agricultural Science]*, 9 (798), 29–34. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-04> [in Ukrainian].

Romashchenko, M.I., Husiev, Yu.V., Shatkovskiy, A.P., Saidak, R.V., Yatsiuk, M.V., Shevchuk, A.M., & Matiash, T.V. (2020). Vplyv suchasnykh klimatychnykh zmin na vodni resursy ta silskohospodarske vyrobnytstvo [Impact of climate change on water resources and agricultural production]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo [Land reclamation and water management]*, 1, 5–22. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235> [in Ukrainian].

Semenova, I.H., & Polovyi, A.M. (2020). Prohnostychnyi rozpodil posukh teploho sezonu po terytorii Ukrainy v 2021-2050 rr. [Project ed distribution of the warm season droughts over the territory of Ukraine in 2021-2050]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriia: «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia» [Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv national university, series «Geology. Geography. Ecology»]*, 53, 169–179. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-13> [in Ukrainian].

Sil'ske hospodarstvo Chernihivshchyny za 2000–2020 roky (2021). [Agriculture of Chernihiv region for 2000–2020]. Statistical publication [in Ukrainian].

Guntukuka, R. (2020). Assessing the impact of climate change on Indian agriculture: evidence from major crop yields. *Journal of Public Affairs* <https://doi.org/10.1002/pa.2040> [in English].

Hail, K., Lehner, A., & Schmidhalter, U. (2020). Influence of climate conditions on the temporal development of wheat yields in a long-term experiment in an area with pleistocene loess. *Climate* 8, 9: 100 <https://doi.org/10.3390/cli8090100> [in English].

Hansen, J.E., Makito, S.M., Simons, L., Nazarenko, L., Sangha, I., Kharecha, P., Zachos, J., Schuckmann, K., Loeb, N.G., Osman, M.B., Jin, Q., Tselioudis, G., Jeong, E., Laci, A., Russell, R., Cao, J., & Li, J. (2023). Global warming in the pipeline. *Oxford Open Climate Change*, 3 (1), 1–17. <https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008> [in English].

Kukal, M.S., & Irmak, S. (2018). Climate-Driven Crop Yield and Yield Variability and Climate Change Impacts on the U.S. Great plains agricultural production. *Biological systems engineering: papers and publications*, 524. [Electronic resource] URL: <https://digitalcommons.unl.edu/biosy-sengfacpub/524> (access date 20.05.2023) [in English].

Konduri, V.S., Vandal, N.J., Ganguly, S., & Auroop, R. (2020). Data Science for weather impacts on crop yield. *Front. Sustain. Food Syst.*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00052/> [in English].

Wang, J., Vanla, S.K., Saxena, R., Orsadi, V., & Raghavan, V. (2018). Effect of Climate Change on the Yield of Cereal Crops: A Review. *Climate*, 6 (2), 41. <https://doi.org/10.3390/cli6020041> [in English].

Wu, J.-Z., Zhang, J., Zhang-ming, G., Li-wei, X., Shu-qing, H., Chen, S., & Kong, F. (2021). Impact of climate change on maize yield in China from 1979 to 2016. *Journal of Integrative Agriculture*, 20 (1), 289–299. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63244-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63244-0) [in English].

Yang, B., Wu, S., & Yan, Z. (2022). Effects of Climate Change on Corn Yields: Spatiotemporal Evidence from Geographically and Temporally Weighted Regression Model. *International journal of Geo-information*, 11 (8), 433. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080433> [in English].

Отримано: 06.11.2023
Прийнято: 30.11.2023



ХІМІЯ

УДК 547.922.5:532.783

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.5>

СИНТЕЗ НОВИХ ПОХІДНИХ БЕНЗОКСАЗИНУ ЗА РЕАКЦІЄЮ ВІТТИГА

В. В. Листван¹

Робота присвячена дослідженню гетероциклічних сполук з бензоксазиновим циклом, що належать до похідних халконів. Даний клас сполук привертає увагу багатьох дослідників, оскільки серед них є речовини з практично цінними властивостями (барвники, біологічно активні речовини). Крім того, наявність в молекулах халконів двох електрофільних центрів створює можливості їх застосування для отримання нових гетероциклічних сполук. Перспективним напрямом є дослідження можливості використання нових хімічних модифікацій халконів як потенційних лікарських препаратів, вихідних реагентів для подальших органічних синтезів (зокрема отримання нітрогеновмісних гетероциклів), речовин, що мають властивості органічних люмінофорів тощо. Показано можливість синтезу даних сполук за реакцією Віттіга, шляхом взаємодії карбонільних сполук (альдегіда або кетона) з ілідами фосфору, що призводить до утворення алкена і трифенілфосфін оксиду. Для проведення реакції використали низку аліфатичних (пентаналь та цитраль), ароматичних (заміщені похідні бензальдегіду) та гетероциклічних (5-нітрофурфураль, 5-бромфурфураль) альдегідів. Одним з критеріїв вибору реагентів була наявність в продуктах реакції таких структурних фрагментів, які потенційно могли б зумовлювати фізіологічну активність отриманих сполук. У результаті виконаної роботи також встановлено умови і особливості протікання реакції деяких ароматичних альдегідів із фосфонієвою сіллю, що містить цикл бензоксазину. Метод дає змогу отримувати цільові продукти оминаючи проміжну стадію – виділення алкіліденфосфорану у вільному стані. Синтезовано низку нових речовин – похідних халконів або їх аналогів з аліфатичними чи гетероциклічними фрагментами, досліджено їх властивості.

Ключові слова: бензоксазин, халкон, реакція Віттіга, фосфонієва сіль, алкіліденфосфоран.

SYNTHESIS OF NEW BENZOXAZINE DERIVATIVES BY THE WITTIG REACTION

V. V. Lystvan

The work is devoted to the investigation of heterocyclic compounds containing a benzoxazine ring, that belong to chalcone derivatives. This class of compounds attracts the researchers attention because because of practically valuable properties (dyes, biologically active substances) of its representatives. In addition, the presence of two electrophilic centers in chalcone molecules creates opportunities for

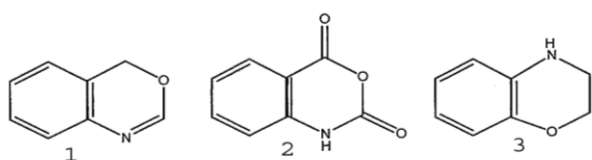
¹ кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: listvan@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8366-2813

their application for obtaining of the new heterocyclic compounds. A promising direction is exploration of the possibility of application of new chemical modifications of chalcones as potential drugs, starting reagents for further organic syntheses (particularly obtaining of nitrogen-containing heterocycles), substances having the properties of organic luminophores, etc. The possibility of synthesizing these compounds using the Wittig reaction, through the interaction of carbonyl compounds (aldehyde or ketone) with phosphorus ylides, which leads to the formation of an alkene and triphenylphosphine oxide, have been established. A number of aliphatic (pentanal and citral), aromatic (substituted benzaldehyde derivatives) and heterocyclic (5-nitrofurfural, 5-bromofurfural) aldehydes have been applied for the reaction. One of the criteria for the reagents selection was the presence of such structural fragments in the reaction products that could potentially determine the physiological activity of the obtained compounds. As a result of the work performed, the conditions and peculiarities of the reactions of some aromatic aldehydes with a phosphonium salt containing the benzoxazinone cycle have been also determined. The method allows to obtain the target products bypassing the intermediate stage – the separation of alkylidenephosphorane in the individual state. A number of new substances – chalcone derivatives or their analogues containing aliphatic or heterocyclic fragments – have been synthesized, and their properties have been investigated.

Key words: benzoxazine, chalcone, Wittig reaction, phosphonium salt, alkylidenephosphorane.

Вступ

Бензоксазин і його похідні. Бензоксазини, як і моноциклічні азини, привертають активну увагу багатьох дослідників з огляду на особливості їх будови і, передусім, практичне значення їх похідних. Найкраще досліджені 3,1,4Н-бензоксазин **1**, ізотовий ангідрид (похідна 1,2-дигідро-3,1,4Н-бензоксазину) **2** і 2,3-дигідро-1,4-бензоксазин (феноморфолін) **3** (Bravo et al., 2002). Існує вісім можливих ізомерів бензоксазину (Чумакова, 1998).



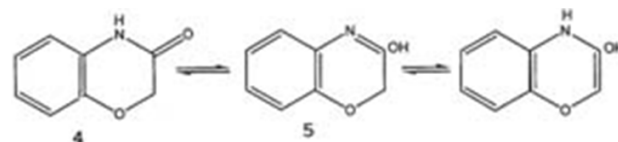
Похідні 1,4-бензоксазину (Chatterjee et al., 2023) отримують відновленням *o*-нітрофеноксиметилкетонів під дією плюмбум (II) хлориду. В більш жорстких умовах відновлення, наприклад з допомогою олова і хлоридної кислоти або при каталітичному гідруванні, отримують дигідропохідні (бензоксазинони).

3-Метил-1,4-бензоксазин є нестійкою на повітрі олієюстою речовиною. 3-Фенілзаміщена похідна – тверда речовина, що є слабкою основою, яка осаджується з розчинів її солей при розведенні. Бензоксазинони, наприклад 3- і 4-метилбензоксазинони, поводять себе як типові ароматичні вторинні аміни.

Відомо (Vano et al., 2015) декілька похідних 1,4-бензоксазинів, що містять гідроксильну групу в положенні 3. Це, зокрема, 2,3-дигідро-1,4-бензоксазин, який вперше був отриманий Кнорром з 2-амінофенолу.

Пізніше Хяо зі співробітниками 6-аміно-2,3-дигідро-1,4-бензоксазин виходячи з 2-нітрофеноксиметилоксиранів (Jiao et al., 2006).

Бензоксазинони. За старою номенклатурою цю сполуку **4** називали 3-кетоморфолін. Сучасна назва – 2Н-1,4-бензоксазин-3(4Н)-он. Бензоксазинон таутомерний із 3-гідрокси-1,4-бензоксазином **5**. Спектрографічні дані показують, що переважає амідна форма.



Існує два загальні методи синтезу цих сполук, близьких до методів синтезу похідних 1,4-бензоксазину. Бензоксазинон утворюється при циклізації *o*-галогеноациламінофенолу під впливом основ. До утворення бензоксазинонів призводить також відновлення *o*-нітрофенілоцтових кислот. Конденсація α -кетоестерів, наприклад етилових естерів пірвіноградної, фенілпірвіноградної або етоксалілоцтової кислот із *o*-амінофенолами також дає змогу отримати 2Н-1,4-бензоксазинони-2 ($R = \text{Me}, \text{MSO}_2\text{Et}, \text{CH}_2\text{Ph}$). При реакції α -галогенацилгалогенідів із *o*-амінофенолами отримують 3,4-дигідро-2Н-1,4-бензоксазинони-3 (3-феноморфолони); вони утворюються також при лактамізації (зазвичай спонтанній) *o*-аміноарилоксиоцтових кислот.

Застосування похідних бензоксазину. Сполуки, що містять бензоксазиновий фрагмент, зазвичай мають різноманітну біологічну активність, наприклад, протиза-

пальну, антимікробну, протитуберкульозну, антиоксидантну та протиракову (Tang et al., 2023).

Низка похідних 2Н-1,4-бензоксазин-3(4Н)-ону, що містять структурний фрагмент у пропаноламіну, можуть використовуватись як пестициди широкого спектру дії завдяки їх антибактеріальним, протівірусним та фунгіцидним властивостям (Rao et al., 2022).

Низка похідних бензоксазину використовується також у фармакології. 1,3-Бензоксазинони-4, що є похідними саліциламіду, досліджувалися на жарознижувальну активність, а хлорфеноксазин ($R=CH_2CH_2C1$) почали використовувати при лікуванні остеоартритів. Вивчення вмісту і розподілу 2,4-дигідрокси-1,4-бензоксазин-3-ону (DIBOA) і 2-бензоксалінону (BOA) в різних органах рослин аканта, виявлено їх антифідантну дію на гусениці совки *Pseudaletia impuncta* (Bravo et al., 2002).

Похідні 8-(2-аміно-1-гідроксиетил)-6-гідрокси-1,4-бензоксазин-3(4Н)-ону виявили потужну розслаблюючу дію на гладку мускулатуру дихальних шляхів (Yi et al., 2020).

Піпофезин (хімічна назва: 5-метил-3-(4-метил-1-піперазиніл)-5Н-піридазино[3,4b][1,4]бензоксазин) (у вигляді гідрохлориду) - антидепресивний, седативний засіб, який невибірково інгібує оборотній нейрональний захват пресинаптичною мембраною із синаптичної щілини серотоніну і норадреналіну, що призводить до підвищення їх концентрації і зниженню синдромів депресії. Застосовується при ендогенних і екзогенних депресіях, депресивних станах при хронічних соматичних захворюваннях.

Офлоксацін (хімічна назва: (\pm) -7-флуоро-2-метил-6-(4-метилпіперазин-1-іл)-10-оксо-4-окса-1-азатрицикло[7.3.1.0^{5,13}]тридека-5(13),6,8,11-тетраєн-11-карбонова кислота) – відомий антимікробний засіб широкого спектру дії із групи флуорохінолонів, діє на бактеріальний фермент ДНК-гідразу, яка забезпечує суперспіралізацію і, таким чином, на стабільність ДНК бактерій (дестабілізація ланцюгів ДНК призводить до їх загибелі). Застосовується при інфекціях дихальних шляхів (bronхіт, пневмонія), ЛОР-органів (синусит, фарингіт, середній отит, ларингіт), шкіри, м'яких тканин, кісток, суглобів, інфекційно-запальних захворювань черевної порожнини і жовчовивідних шляхів (за виключенням бактеріального ентериту), нирок (пієлонефрит), сечовивідних

шляхів (цистит, уретрит), органів малого тазу (ендометрит, сальпінгіт, оофорит, цервіцит, параметрит, простатит), статевих органів (кольпіт, орхіт), гонореї, хламідіози, менінгіт, профілактика інфекцій у хворих з порушенням імунного статусу (в тому числі при нейропенії).

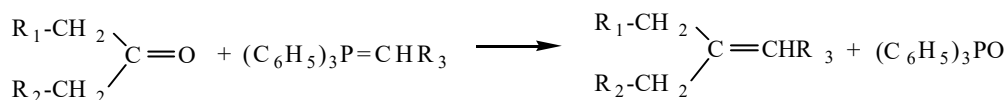
Халкони. Халкони – ненасичені кетони з ароматичними циклами. Загальна формула – $Ar'-CH=CH-CO-Ar$. Власне халкон має таку будову: $Ph-CH=CH-CO-Ph$. Інші халкони – його похідні із замісниками в бензенових циклах (Morrison et al., 1983). Серед сполук групи халконів є речовини з практично цінними властивостями (біологічно активні сполуки, барвники). Ці речовини і їх гетероциклічні аналоги зустрічаються в живих організмах. Халкони також активно досліджуються як сполуки з нелінійно-оптичними властивостями (Custodio et al., 2019; Saha, 2022 та Custodio et al., 2021).

Усі перелічені особливості і сфери застосування сполук названих класів роблять одержання і вивчення нових похідних бензоксазину – аналогів халконів безумовно перспективним напрямом досліджень.

Матеріал і методи

Дана робота присвячена вивченню можливості синтезу нових похідних бензоксазину за реакцією Віттга – взаємодією різних класів альдегідів із фосфонієвими солями, з проміжним утворенням ілідів фосфору – алкіліденфосфоранів.

У 1945 р. Георг Віттг отримав сполуку, що стала першим представником ілідів – біполярних іонів із позитивно зарядженим онієвими атомами (Нітроген, Фосфор і ін.), що ковалентно сполучені з негативно зарядженим атомом Карбону. Проводячи детальні дослідження властивостей ілідів, в 1953 р. Віттг вперше провів реакцію ілідів (алкіліденфосфоранів) з карбонільними сполуками, яку в подальшому назвуть його ім'ям. Реакція відразу дістала широке застосування в органічному синтезі, оскільки дозволяла легко й надійно отримувати сполуки з подвійним зв'язком $C=C$. В реакцію вступають різноманітні альдегіди, кетони, тіокетони, формаміди і кетени. Головні переваги синтезу – утворення похідних алкенів із суворо визначеним розташуванням кратного зв'язку і високий вихід кінцевого продукту. Реакцію Віттга до цього часу вважають найбільш ефективним способом отримання олефінів (Heravi et al., 2020).



Цікавим прикладом застосування реакції Віттіга є її використання для синтезу гетероциклічних ненасичених кетонів – аналогів халконів. Для цього може бути використана фосфонієва сіль, що містить фрагмент бензоксазину, яка при дії основ відщеплює HCl і перетворюється на відповідний фосфоран. Останній легко реагує з ароматичними альдегідами, утворюючи відповідний α,β -ненасичений кетон.

Результати та обговорення

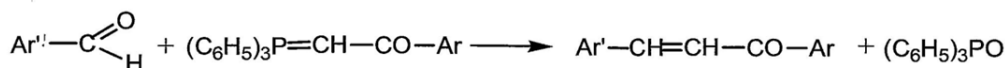
Головною метою роботи було детальне вивчення умов проведення, можливої стереохімії реакції Віттіга та використання її в синтезі гетероциклічних сполук з бензоксазиновим циклом, проходження реак-

цій і з'ясування деяких властивостей отриманих речовин.

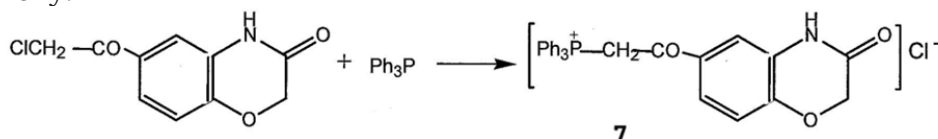
Вихідні речовини для реакції Віттіга – алкіденфосфорани (фосфоріліди), що містять кетонну групу $(C_6H_5)_3P=CH-CO-Ar$. Вони є стабільними речовинами, їх можна виділяти і зберігати у вільному стані. У ролі другого реагента використовувались ароматичні альдегіди.

Реакційна здатність карбонільної групи ароматичних альдегідів дещо нижча порівняно з аліфатичними. Не маючи атома Гідрогену в α -положенні щодо карбонільної групи, ці альдегіди не утворюють таутомерних форм.

В ході реакції утворюється похідна халкона **6** і трифенілфосфіноксид.



Як вихідна сполука нами використувався б-хлороацетил-2Н-1,4-бензоксазин-3(4Н)-он – хлорокетон, що містить цикл бензоксазину.



Будову фосфонієвої солі підтверджено даними ПМР-спектроскопії (рис. 1). В спектрі, зокрема, можна виділити сигнали двох груп CH_2 . Одна з них, що міститься в гетероциклі, має хімічний зсув при 4,72 м.ч.

Реакція хлорокетона з трифенілфосфіном призводить до утворення фосфонієвої солі **7**:

(2Н, синглет). Група $\text{P}-\text{CH}_2$ - дає дублет при 6,26 м.ч. (розщеплення на атомі Фосфору). Група NH (амідна) дає чіткий сигнал при 11,10 м.ч., а сукупність «ароматичних» протонів проявляється в області 7,14–7,87 м.ч.

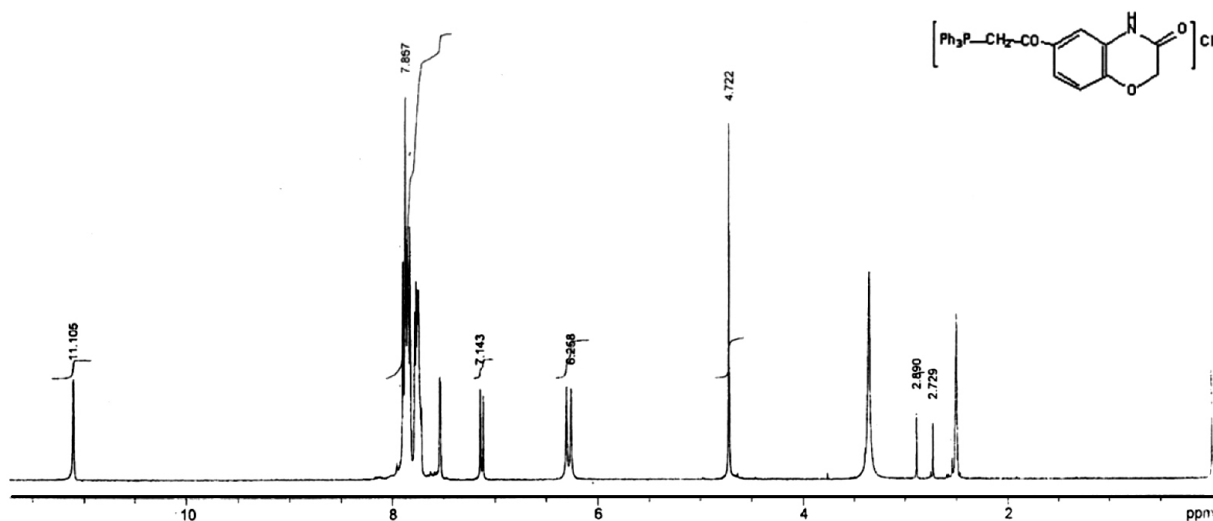
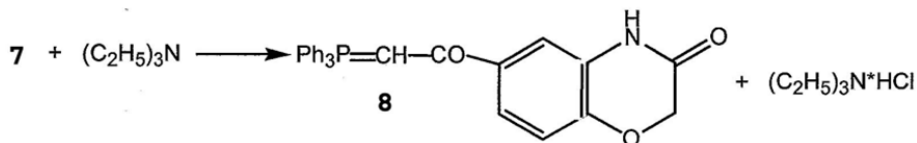
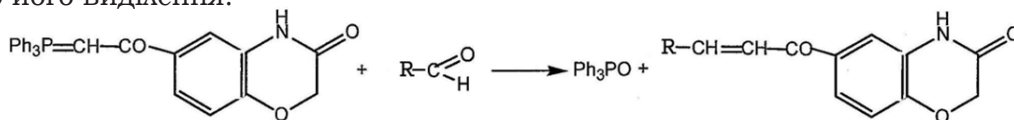


Рис. 1. Спектр ПМР фосфонієвої солі **7**

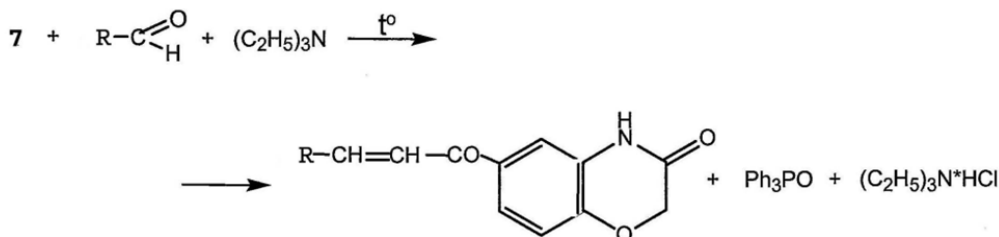
При дії на фосфонієву сіль **7** основ HCl і утворюється алкіліденфосфоран **8** – безбарвна кристалічна речовина від фосфонієвої солі відщеплюється:



Реакцію Віттіга можна проводити як з одержаним фосфораном, так і без попереднього його виділення:

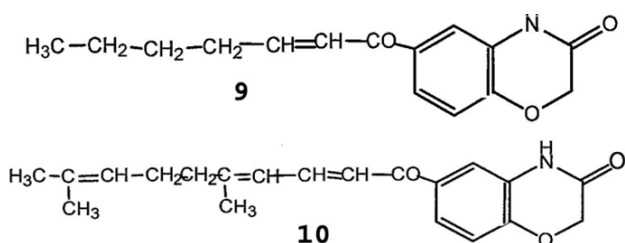


або



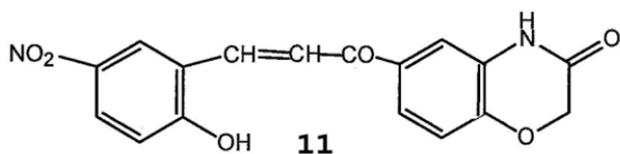
Для проведення реакції Віттіга використовували низку аліфатичних, ароматичних та гетероциклічних альдегідів.

Реакції фосфонієвої солі з аліфатичними альдегідами. Пентаналь та цитраль легко взаємодіють з фосфонієвою сіллю **7** у присутності основ, утворюючи кристалічні продукти **9** та **10**.



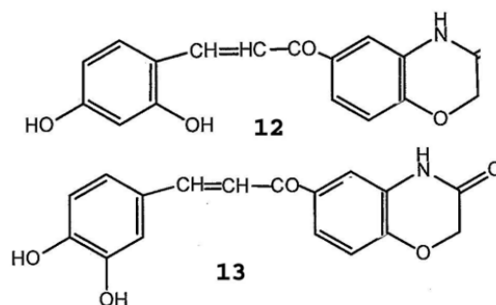
Слід відзначити, що цитраль, який належить до аліфатичних терпенів, виявляє біологічну активність і застосовується у лікарській практиці, тому отримані його похідні можуть бути цікавими з огляду на їх можливість фізіологічну дію.

Реакції фосфонієвої солі з похідними бензальдегіду. Фосфонієва сіль **7** при взаємодії із нітросаліциловим альдегідом утворює α,β -ненасичений кетон **11** – світло-оранжеву кристалічну сполуку з високою температурою плавлення (Таблиця 1).



Спектр ЯМР (рис.2) сполуки **11** містить смугу поглинання метиленової групи гетероциклічного фрагмента (2H, синглет, 4,70 м.ч). Протони групи CH=CH дають 2 дублети при 6,80 і 7,08 м.ч., бензенового циклу – мультиплет в області 7,62 – 8,61 м.ч., а група NH – 10,86 м.ч.

Взаємодія фосфонієвої солі **7** з 2,4- та 3,4-дигідроксibenзальдегідами призводить до утворення відповідних дигідроксикальконів **12** та **13**:



Аналогічним чином проведено реакції фосфонієвої солі з 3-нітро-, 4-гидроксибензальдегідами, ваніліном та його похідною – 3-метокси-4-диметиламінокарбамоїлоксибензальдегідом, а також 4-диметиламінобензальдегідом, отримавши балкони **14–18** відповідно. В останньому випадку наявність електродонорного замісника у бензиновому циклі пасивує альдегідну групу, що призводить до збільшення тривалості реакції і вимагає інтенсивнішого нагрівання.

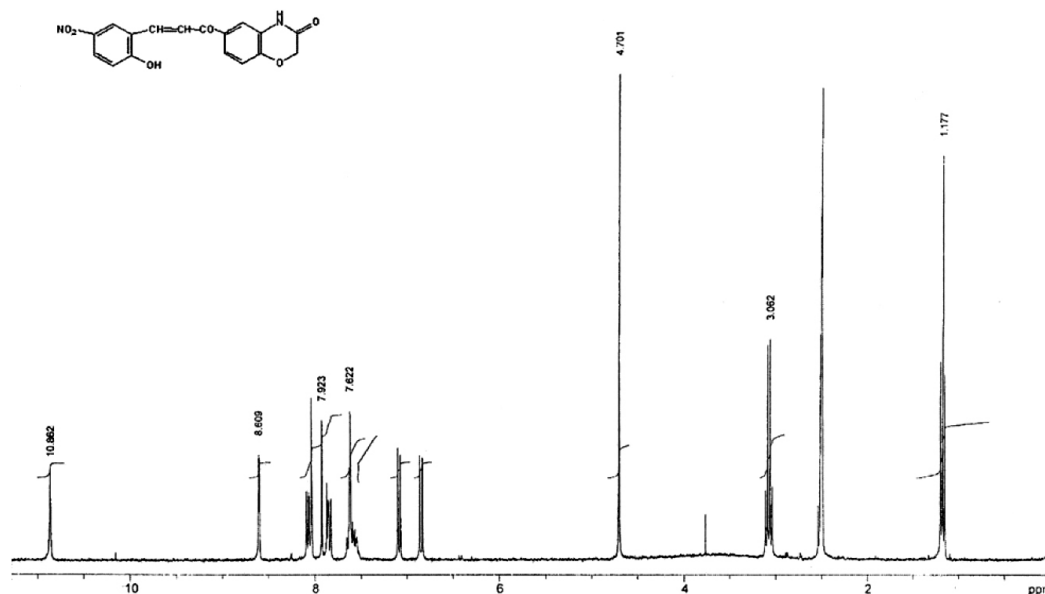
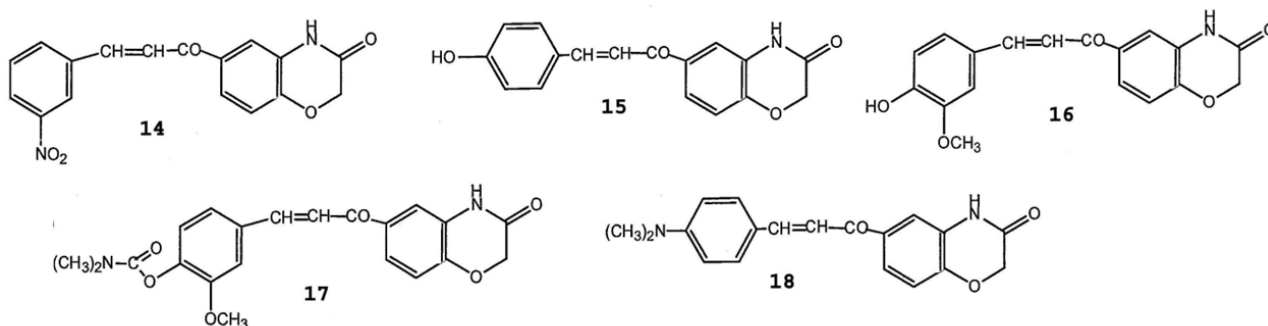
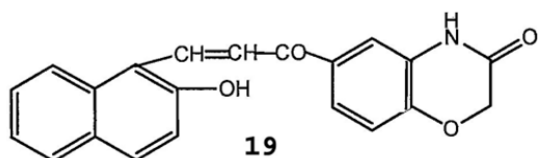


Рис. 2. Спектр ПМР сполуки **11**



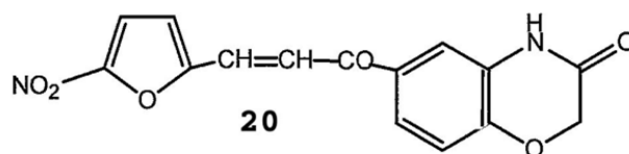
Отримано також продукт реакції з 2-гідроксинафтоїним альдегідом **19**:



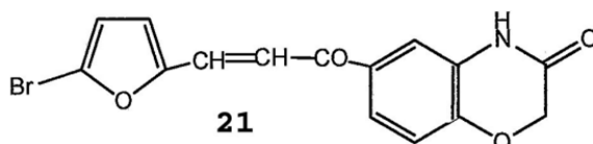
Реакції з гетероциклічними альдегідами.

Алкіліденфосфоран, що утворюється з отриманої нами фосфонієвої солі – похідної бензоксазину – може вступати в реакцію Віттіга також з гетероциклічними альдегідами. Використання 5-нітрофурфуралю обґрунтоване високою антибактеріальною активністю, притаманною його похідним. Багато з них використовуються в медичній практиці при лікуванні інфекційних захворювань, вони ефективні щодо грампозитивних і грамотригативних бактерій, а також деяких вірусів, трихомонад, лямблій (Tahghighi et al., 2021). В деяких випадках вони затримують ріст мікроорганізмів, стійких до сульфамідів і антибіотиків.

Взаємодія 5-нітрофурфуралю з сіллю **7** у присутності триетиламіну призвела до утворення жовтого кристалічного продукту **20**.



Аналогічним чином отримано також гетероциклічний аналог балкона, що містить 5-бромофурановий фрагмент **21**.



Бромфурановий цикл також входить до складу деяких лікарських препаратів, зокрема, фубромегану, який застосовують у терапії виразкової хвороби шлунку і дванадцятипалої кишки. Серед похідних 5-бро-

мофурфуралю виявлено також сполуки з вираженою антибактеріальною і протипухлинною активністю (Bsharat et al., 2023).

(9) 0,003 Моль (1,46 г) фосфонієвої солі **7** розчинили при нагріванні в 15 мл 2-пропанолу і додали 0,5 мл пентаналю. До реакційної суміші додали 0,6 мл триетиламіну і кип'ятили її протягом 1,5 год. До гарячої реакційної суміші додали 15 мл води. При охолодженні утворився дрібнокристалічний жовтий осад, який відфільтрували і промили 5 мл водного розчину етанолу (1:1). Маса продукту 0,41 г (52,56%), $T_{пл.} = 138 - 140\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(10) 0,003 Моль (1,46 г) фосфонієвої солі **7** розчинили при нагріванні в 15 мл 2-пропанолу, до гарячого розчину додали 0,9 мл цитралю і 0,8 мл триетиламіну, кип'ятили протягом 2 год, після чого додали 10 мл води. При охолодженні випав осад. Профільтрували, промили 6 мл водного розчину 2-пропанолу (1:1). Отриманий світло-жовтий осад перекристалізували з водного етанолу. Маса 0,62 г (63,52%), $T_{пл.} = 162 - 163\text{ }^{\circ}\text{C}$.

(11-19) Суміш 0,004 моль (1,95 г) фосфонієвої солі та еквімольної кількості відпо-

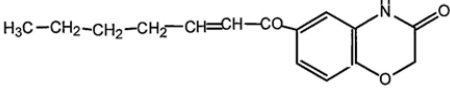
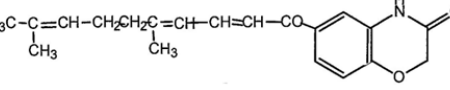
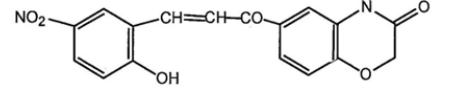
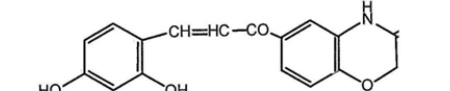
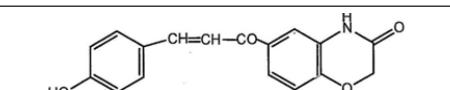
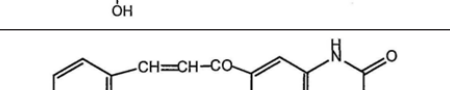
відного альдегіду розчиняли при нагріванні у 15–20 мл 2-пропанолу, до розчину додавали 1 мл триетиламіну. Розчин кип'ятили зі зворотним холодильником протягом 2 год. Продукти реакції, що випадали в осад при охолодженні, відфільтрували і очищували перекристалізацією з водного спирту. Виходи продуктів і температури плавлення наведені в таблиці 1.

(20) До гарячого розчину 0,003 моль (1,46 г) фосфонієвої солі **7** у 25 мл 2-пропанолу додали 0,45 г 5-нітрофурфуралю. При подальшому додаванні 0,8 мл триетиламіну спостерігалася різка зміна забарвлення. Реакційну суміш кип'ятили протягом 1 години. Після охолодження осад відфільтрували і промили гарячим етанолом. Маса продукту 0,55 г (58,33%), $T_{пл.} = 305 - 310\text{ }^{\circ}\text{C}$.

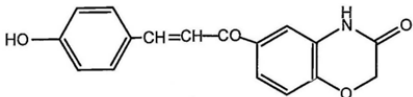
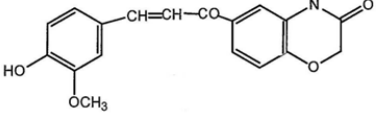
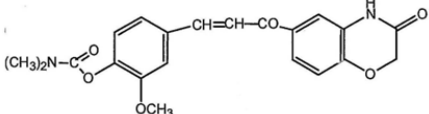
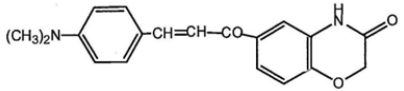
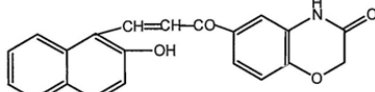
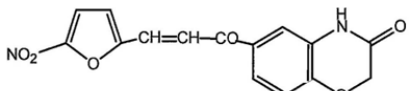
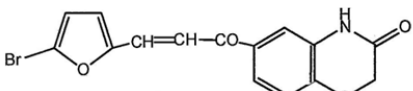
(21) Суміш 0,003 моль (1,46 г) фосфонієвої солі і 0,53 г 5-бромофурфуралю в 20 мл 2-пропанолу нагрівали до кипіння, після розчинення додали 0,7 мл триетиламіну. Випав осад блідо-жовтого кольору. Після охолодження осад відфільтрували і промили гарячим 2-пропанолом (10 мл). Маса 0,82 г (78,5%), $T_{пл.} = 265\text{ }^{\circ}\text{C}$ (з розкладом).

Таблиця 1

Таблиця результатів

№	Продукт реакції	Мг, г/моль	Вихід, %	Т.пл., °С
1	2	3	4	5
9		259.3	52.6	138–140
10		325.4	63.5	162–163
11		340.4	58.9	>270 (розклад)
12		311.3	78.3	207–209
13		311.3	83.1	210–212
14		324	48.5	>300 (розклад)

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
15		295.3	95.4	225-226
16		325.3	65.1	220-222
17		398	75.7	258-260
18		322.4	94.8	220-222
19		345.3	67.6	>200 (розклад)
20		314.3	58.3	305-310
21		348.2	78.5	265-268

Висновки

У результаті проведеного дослідження доведено можливість застосування реакції Віттіга для отримання α , β -ненасичених кетонів, зокрема аналогів халконів, що містять фрагмент бензоксазину, шляхом взаємодії відповідної фосфонієвої солі з аліфатичними, ароматичними та гетероциклічними альдегідами.

Визначено умови проведення реакції, опрацьовано відповідні методики.

Встановлено можливість проведення реакції без проміжного виділення ілуду фосфору у вільному стані.

Отримано низку нових похідних бензоксазину – ненасичених кетонів. Серед них є сполуки, що містять залишки, зокрема, цитралю, ваніліну, 5-нітро- та 5-бромфурфуралю. Наявність даних фрагментів у молекулах робить перспективним їх подальші дослідження з огляду на можливу фізіологічну активність.

Список використаної літератури

Чумакова Л.Ю. Синтез нових перспективних гетероциклічних сполук на основі антранілової кислоти. *Вісн. Черніг. технол. ін-ту*. 1998. № 6. С. 84–90.

Bano M., Barot K.P., Jain S.V., Ghate M.D. Identification of 3-hydroxy-4[3,4-dihydro-3-oxo-2H-1,4-benzoxazin-4-yl]-2,2-dimethyldihydro-2H-benzopyran derivatives as potassium channel activators and anti-inflammatory agents. *Med. Chem. Res.* 2015. V. 24. P. 3008–3020. <https://doi.org/10.1007/s00044-015-1344-6>.

Bravo H.R., Copaja S.V. Contents and morphological distribution of 2,4-dihydroxy-1,4-benzoxazin-3-one and 2-benzoxazolinone in *Acanthus mollis* in relation to protection from larvae of *Pseudaletia impuncta*. *Ann. appl. Biol.* 2005. V. 140. № 2. P. 129–132. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00164.x>.

Bsharat I., Abdalla L., Sawafta A., Abu-Reidah I.M. Synthesis, characterization, antibacterial and anticancer activities of some heterocyclic imine compounds. *J. Mol. Struct.* 2023. V. 1289. P. 135789. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.135789>.

Chatterjee I., Ali K., Panda G.A. Synthetic Overview of Benzoxazines and Benzoxazepines as Anticancer Agents. *ChemMedChem*. 2023. V. 18. № 5. P. e202200617. <https://doi.org/10.1002/cmdc.202200617>.

Custodio J.M.F., D'Oliveira G.D.C., Gotardo F. Chalcone as Potential Nonlinear Optical Material: A Combined Theoretical, Structural, and Spectroscopic Study. *J. Phys. Chem.* 2019. V. 123. № 10. P. 5931–5941. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b01063>.

Custodio J.M.F., D'Oliveira G.D.C., Gotardo F., Cocca L.H.Z., DeBoni L., Perez C.N., Napolitano H.B. Second-order nonlinear optical properties of two chalcone derivatives: insights from sum-over-states. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2021. V. 23. P. 6128–6140. <https://doi.org/10.1039/D0CP06469F>.

Heravi M.M., Zadsirjan V., Daraie M., Ghanbarian M. Applications of Wittig Reaction in the Total Synthesis of Natural Macrolides. *Chemistry Select*. 2020. V. 5. № 31. P. 9654–9690. <https://doi.org/10.1002/slct.202002192>.

Jiao P.F., Zhao B.X., Wang W.W., He Q.X., Wan M.S., Shinc D.S. & Miao J.Y. Design, synthesis, and preliminary biological evaluation of 2,3-dihydro-3-hydroxymethyl-1,4-benzoxazine derivatives. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2006. V. 16. № 11. P.2862–2867. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2006.03.013>.

Morrison R.T., Boyd R.N. Organic Chemistry. Boston: Allyn and Bacon. 1983. 1083 p.

Rao J.R., Zhou Y.F., Zhang X., Zhao X.L. Design, Synthesis, and Bioactivity of Eighteen Novel 2H-1,4-Benzoxazin-3(4H)-one Containing a Propanolamine Moiety. *Chem. Biodivers.* 2022. V. 19. № 11. P. e202200567. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200567>.

Saha A. Nonlinear optical properties of chalcone derivatives – a short review. *Mater. Today: Proc.* 2022. V. 64. № 1. P. 605–610. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.131>.

Tahghighi A., Mehri A.A., Zakeri S. In vitro anti-plasmodial activity of new synthetic derivatives of 1-(heteroaryl)-2-((5-nitroheteroaryl)methylene) hydrazine. *Asian Pac. J. Trop. Med.* 2021. V. 14. № 3. P. 128–138. <https://doi.org/10.4103/1995-7645.306740>.

Tang Z., Tan Y., Chen H., Wan Y. Benzoxazine: A privileged scaffold in medicinal chemistry. *Curr. Med. Chem.* 2023. V. 30. №.4. P. 372–389. <https://doi.org/10.2174/0929867329666220705140846>.

Yi C., Xing G., Wang S., Li X., Liu Y., Li J., Lin B. Design, synthesis and biological evaluation of 8-(2-amino-1-hydroxyethyl)-6-hydroxy-1,4-benzoxazine-3(4H)-one derivatives as potent β 2-adrenoceptor agonists. *Bioorganic Med. Chem.* 2020. V. 28. № 1. P. 115178. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2019.115178>.

References (translated & transliterated)

Chumakova, L.Yu. (1998). Syntez novykh perspektyvnykh heterotsyklichnykh spoluk [Synthesis of a new promising heterocyclic compounds on the base of anthranilic acid]. *Visnyk Chernihivs'koho tekhnolohichnoho instytutu [Bulletin of the Chernihiv Institute of Technology]*, 6, 84–90 [in Ukrainian].

Bano, M., Barot, K.P., Jain, S.V., & Ghate, M.D. (2015). Identification of 3-hydroxy-4[3,4-dihydro-3-oxo-2H-1,4-benzoxazin-4-yl]-2,2-dimethyldihydro-2H-benzopyran derivatives as potassium channel activators and anti-inflammatory agents. *Medicinal Chemistry Research*, 24, 3008–3020 [in English].

Bravo, H.R., & Copaja, S.V. (2005). Contents and morphological distribution of 2,4-dihydroxy-1,4-benzoxazin-3-one and 2-benzoxazolinone in *Acanthus mollis* in relation to protection from larvae of *Pseudaletia impuncta*. *Ann. appl. Biol.*, 140(2), 129–132. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00164.x> [in English].

Bsharat, I., Abdalla, L., Sawafta, A., & Abu-Reidah I.M. (2023). Synthesis, characterization, antibacterial and anticancer activities of some heterocyclic imine compounds. *Journal of Molecular Structure*, 1289, 135789. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2023.135789m> [in English].

Chatterjee, I., Ali, K., & Panda, G. (2023). A Synthetic Overview of Benzoxazines and Benzoxazepines as Anticancer Agents. *ChemMedChem.*, 18(5), e202200617. <https://doi.org/10.1002/cmdc.202200617> [in English].

Custodio, J.M.F., D'Oliveira, G.D.C., & Gotardo, F. (2019). Chalcone as Potential Nonlinear Optical Material: A Combined Theoretical, Structural, and Spectroscopic Study. *J. Phys. Chem.*, 123(10), 5931–5941. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b01063> [in English].

Custodio, J.M.F., D'Oliveira, G.D.C., Gotardo, F., Cocca, L.H.Z., DeBoni, L., Perez, C.N., & Napolitano, H.B. (2021). Second-order nonlinear optical properties of two chalcone derivatives: insights from sum-over-states. *Physical chemistry chemical physics*, 23, 6128–6140. <https://doi.org/10.1039/D0CP06469F> [in English].

Heravi, M.M., Zadsirjan, V., Daraie, M., & Ghanbarian, M. (2020). Applications of Wittig Reaction in the Total Synthesis of Natural Macrolides. *Chemistry Select*, 5(31), 9654–9690. <https://doi.org/10.1002/slct.202002192> [in English].

Jiao, P.F., Zhao, B.X., Wang, W.W., He, Q.X., Wan, M.S., Shinc, D.S. & Miao J.Y. (2006). Design, synthesis, and preliminary biological evaluation of 2,3-dihydro-3-hydroxymethyl-1,4-benzoxazine derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 16(11), 2862–2867. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2006.03.013> [in English].

Morrison, R.T., & Boyd, R.N. (1983). *Organic Chemistry*. Boston: Allyn and Bacon [in English].

Rao, J.R., Zhou, Y.F., Zhang, X., & Zhao, X.L. (2022). Design, Synthesis, and Bioactivity of Eighteen Novel 2H-1,4-Benzoxazin-3(4H)-one Containing a Propanolamine Moiety. *Chemistry & Biodiversity*, 19(11), e202200567. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200567> [in English].

Saha, A. (2022). Nonlinear optical properties of chalcone derivatives – a short review. *Materials Today: Proceedings*, 64(1), 605–610. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.131> [in English].

Tahghighi, A., Mehrizi, A.A., & Zakeri, S. (2021). In vitro anti-plasmodial activity of new synthetic derivatives of 1-(heteroaryl)-2- ((5-nitroheteroaryl)methylene) hydrazine. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 14(3), 128–138. <https://doi.org/10.4103/1995-7645.306740> [in English].

Tang, Z., Tan, Y., Chen, H., & Wan Y. (2023). Benzoxazine: A privileged scaffold in medicinal chemistry. *Current Medicinal Chemistry*, 30(4), 372-389(18). <https://doi.org/10.2174/0929867329666220705140846> [in English].

Yi, C., Xing, G., Wang, S., Li, X., Liu, Y., Li, J., & Lin, B. (2020). Design, synthesis and biological evaluation of 8-(2-amino-1-hydroxyethyl)-6-hydroxy-1,4-benzoxazine-3(4H)-one derivatives as potent β 2-adrenoceptor agonists. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 28(1), 115178. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2019.115178> [in English].

Отримано: 01.11.2023

Прийнято: 13.11.2023



АГРОНОМІЯ

УДК 502.11:303.446

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.6>

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПЛАНОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ШЕВЧЕНКІВСЬКОГО РОДОВИЩА ПІСКОВИКІВ КАЛУСЬКОГО РАЙОНУ ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ФЛОРУ ТА ФАУНУ

Т. М. Коткова¹, О. В. Яременко², О. П. Лук'яненко³, О. В. Дребот⁴

В статті наведені особливості впливу планової діяльності Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області на флору та фауну. Видобуток каменю пісковика здійснюється відкритим (кар'єрним) способом. Це негативно позначається на стані біологічного різноманіття безпосередньо як ділянки, на якій видобувають камінь, так і ділянки, що безпосередньо прилягає до неї в межах санітарно-захисної зони (СЗЗ).

Встановлено, що біологічно чи екологічно цінні види замінюються видами більш стійкими, як правило, рудеральними, адвентивними, а іноді навіть агресивними, що не тільки не мають ніякої цінності, а й витісняють місцеві види.

*Шевченківське родовище існує ще з 1975 року, і являє собою ділянку, на якій вже здійснювалась виробнича діяльність. Нинішня проектна ділянка, що відводиться під видобуток пісковика, є вже гірничо освоєною, знаходиться в межах трансформованих угруповань, в яких переважають синантропні види (адвентофіти та антропофіти). На окремих ділянках виявлені угруповання, що утворилися за участю заносних рослин, аналоги яких відсутні серед природної рослинності Прикарпаття. Типовим представником такої флори є розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera* L.) та розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC).*

*Навколо кар'єру Шевченківського родовища та в межах проектної ділянки, відведеної під видобуток пісковика, найпоширенішими є такі види, як тонкопромінник однорічний (*Phalacroloa**

¹ кандидат сільськогосподарських наук, доцент
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail. tetjana.kotkova@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1785-7620

² кандидат геологічних наук, доцент
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail. olyayaremenko72@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2882-4621

³ старший викладач
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail. oleksiy2014@meta.ua
ORCID: 0000-0001-9278-2289

⁴ кандидат сільськогосподарських наук, доцент
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail. o_drebot@ukr.net
ORCID: 0000-0003-4146-3266

анімум (L.) Dumort.), золотушник звичайний (*Solidago virgaurea* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.), паслін чорний (*Solanum nigrum* L.), конюшина рівнинна (*Trifolium campestre* Schreb.), конюшина польова або котики (*T. arvense* L.), конюшина альпійська (*T. alpestre* L.).

Ключові слова: Шевченківське родовище пісковиків, кар'єр, видове різноманіття, рослинний склад, сукцесійні перетворення, адвентивні види, агресивні види.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE PLANNED ACTIVITY OF THE SHEVCHENKIV SANDSTONE DEPOSIT OF THE KALUGA DISTRICT OF THE IVANO-FRANKIVSK REGION ON THE FLORA AND FAUNA

T. M. Kotkova, O. V. Yaremenko, O. P. Lukianenko, O. V. Drobot

The article presents the specifics of the planned activity's influence of the Shevchenkiv sandstone deposit on the flora and fauna of the Kaluska district in Ivano-Frankivsk region. Sandstone mining is carried out by an open-pit mining (quarrying) method. This has a negative impact on the state of biological diversity both in the area where the stone is mined and in the area directly adjacent to it within the sanitary protection zone (SPZ).

It has been established that biologically or ecologically valuable species are replaced by species that are more resistant, usually ruderal, adventive, and sometimes even aggressive, which not only have no value, but also displace local species.

*The Shevchenkiv deposit has been in existence since 1975, and is an area on which production activity was already carried out. The current project area allocated for sandstone mining is already mined, located within the transformed communities, in which synanthropic species (adventophytes and anthropophytes) predominate. In some areas, groups were found that were formed with the participation of invasive plants, the analogues of which are absent among the natural vegetation of the Carpathians. A typical representative of such a flora is the himalayan balsam (*Impatiens glandulifera* L.) and small balsam (*Impatiens parviflora* DC).*

*Around the quarry of the Shevchenkiv deposit and within the project area allocated for sandstone mining, the most common species are the annual fleabane (*Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort.), european goldenrod (*Solidago virgaurea* L.), wormwood (*Artemisia absinthium* L.), black nightshade *Solanum nigrum* L., hop trefoil (*Trifolium campestre* Schreb), rabbitfoot clover (*T. arvense* L.), owl-head clover (*T. alpestre* L.).*

Key words: Shevchenkiv sandstone deposit, career, types of diversity, plant composition, succession transformations, adventitious species, aggressive species.

Вступ

Для будівництва доріг потрібні якісні будівельні матеріали, які б відповідали сучасним стандартам. Відповідно до стандарту ДСТУ Б EN 1469:2007 «Будівельні матеріали. Вироби з природного каменю. Облицювальні плити. Вимоги» камінь пісковик відповідає таким вимогам (ДСТУ..., 2008; Корисні..., 2023).

Загалом пісковик – це осадова гірська порода, поширена у верхній частині земної кори. Основний спосіб її утворення – руйнування і перенесення гірських порід водою з наступною цементацією відкладень (Brenchley et al., 1979; Aagaard, et al., 2020). По суті вона складається із зерен піску, скріплених вапном, глиною та іншими в'язучими матеріалами під тиском води (Корисні..., 2023).

Територія Івано-Франківської області багата на корисні копалини. Тут нараховується понад 300 родовищ корисних

копалин загальнодержавного і місцевого значення, в т. ч. і родовища пісковиків (Регіональна..., 2021). Однак, видобуток природного каменю, як правило, відбувається кар'єрним (відкритим) способом, що негативно позначається як на стані живих істот, які мешкають на ділянці, що безпосередньо відводиться під його видобуток, так і на довколишніх ділянках, що до неї прилягають. В біоценозах відбувається заміна цінних в господарському, екологічному та природоохоронному значенні видів, які частково або повністю замінюються видами рудеральними, адвентивними, а іноді навіть агресивними, що не тільки не мають ніякої цінності, а й витісняють місцеві види.

Матеріал і методи

Дослідження проводились маршрутним польовим методом відповідно до попередньо виконаних тахеометричних зніманих замкнутого ходу. У процесі дослідження використано загальнонаукові та спеціаль-

ні методи, зокрема метод підрахунку та метод порівняння і групування. Оцінка впливу Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області здійснювалось відповідно до ЗУ «Про оцінку впливу на довкілля» (Про оцінку..., 2017). Проводились польові спостереження, лабораторне визначення зібраних гербарних зразків рослин, грибів та комах за допомогою визначників (Визначник ..., 1965; Орлов, 2005; Михайловський, 2010). Для географічної прив'язки місця розташування родовища використовували картографічний метод.

Об'єкт дослідження. Шевченківське родовище пісковиків знаходиться в 10 км на південь від с. Шевченкового Вигодської територіальної громади Калуського району, Івано-Франківської області в урочищі Шандра. Найближчий населений пункт с. Підліски, який розташований на відстані 3,3 км з північно-східної сторони родовища. Станом на сьогодні земельна ділянка, яка передбачена під провадження планової діяльності, є частиною земельної ділянки площею 1943,5172 га з кадастровим номером 2622084600:03:001:0009, яка перебуває у постійному користуванні ДП «Вигодське лісове господарство».

Дане родовище пісковиків розташоване у передгірському кліматичному районі, який знаходиться на стику двох великих природно-географічних підрозділів Східноєвропейської рівнини та Карпат.

Розташоване воно на північно-західному схилі гори із розчленованим рельєфом. Абсолютні позначки поверхні в межах родовища змінюється від 624 м – на північному заході, 626 – на південному заході, 738 м – на північному сході до 810 м – на південному сході. Дослідження впливу планової діяльності цього родовища на флору і фауну є складовою проекту відведення земельної ділянки під видобуток пісковика ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ ОБЛАВТОДОР».

Результати та обговорення

Шевченківське родовище розробляється з 1975 року, тобто являє собою ділянку, на якій вже здійснювалась виробнича діяльність. Ще в 2017 році Державною службою України з питань праці було надано гірничий відвід № 3178 від 03 лютого 2017 року на той час площею 22,08 га, а також нинішня проектна ділянка, що відводиться під видобуток пісковика є гірничо освоєною, знаходиться в межах трансформованих угруповань, в яких переважають синантропні види (адвентофіти та антропофіти). Переважання цих видів говорить про певну ступінь деградації природних угруповань.

Попередня експлуатація ділянки до запровадження планової діяльності вже створила певний вплив на формування довколишніх фітоценозів. Підошва або дно кар'єра залиті водою, борти та уступи кар'єра є доволі крутими, тому існування будь-якої рослинності в таких умовах неможливе (рис. 1).



Рис. 1. Робоча «стіна» кар'єру Шевченківського родовища пісковиків (рослини майже відсутні)

За межами кар'єру, на під'їздах та місцях відвалів ґрунт сильно переуцільнений, тому існування цінних видів в таких умовах є дуже обмеженим. За межами промислового майданчика, ґрунти також переуцільнені та в деякій мірі забруднені абразивним пилом. Це посприяло збідненню рослинного складу в зоні впливу підприємства, зокрема і в межах санітарно-захисної зони (СЗЗ).

На жаль, видове багатство як тварин, так і рослин в межах Шевченківського родовища пісковиків не дуже різноманітне. Представлене воно типовою та нетиповою для українських Карпат рослинністю. У фітоценозах прилеглих до родовища переважають аборигенні види, однак зустрічаються і інвазійні, серед яких є навіть агресивні види.

Попередній видобуток пісковика вже призвів до корінних змін фітобіоти, як на безпосередньо використовуваних ділянках, так і на прилеглий території.

Рослинний покрив повністю знищився або зазнав суттєвих змін. На насипних субстратах, де через виробничу діяльність раніше була відсутня рослинність, з'явилися піонерні рослини та запустилися первинні аллогенні сукцесії. Типовим представником піонерної рослинності на даній ділянці є хаменерій вузьколистий або іван-чай звичайний (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) (рис. 2).

Ще одним типовим піонером рослинності на кам'яних виробках, а Шевченківське родовище пісковиків тут не є виключенням, є звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.) (рис. 3).

Водночас на окремих ділянках виявлені угруповання, що утворилися за участю заносних рослин, аналоги яких відсутні серед природної рослинності Прикарпаття. Типовим представником такої флори є розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera* Royle) та розрив-трава дрібноквіткова (*I. parviflora* DC) (рис. 4), а також ваточник сирійський (*Asclepias syriaca* L.), золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.).

Крім того, на дослідженій території представлені антропогенні та антропогенно-природні екотопи, що безпосередньо контактують між собою. Останні сформувалися під впливом виробничої діяльності з видобутку пісковиків, однак тут нині переважають природні процеси ренатуралізації, для яких спостерігаються різні стадії сукцесійних перетворень.

В угрупованнях навколо наявного кар'єру Шевченківського родовища та в межах проектної ділянки, відведеної під видобуток пісковика, зустрічаються такі види як золотушник звичайний (*Solidago virgaurea* L.), полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.), паслін чорний (*Solanum nigrum* L.), конюшина рів-



Рис. 2. Типовий представник піонерної рослинності – хаменерій вузьколистий, або іван-чай звичайний (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), на кам'яних виробках Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області



Рис. 3. Типовий представник піонерної рослинності на кам'яних виробках Шевченківського родовища пісковиків звиробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.).



Рис. 4. Заносні (інвазійні) види рослин, що зустрічаються вздовж доріг та струмків поблизу Шевченківського родовища пісковиків: А – розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera* Royle), Б – розрив-трава дрібноквітка (*I. parviflora* DC)

нинна (*Trifolium campestre* Schreb.), конюшина польова або котики (*T. arvense* L.), конюшина альпійська (*T. alpestre* L.), люцерна серпувата (*Medicago falcata* L.), синяк звичайний (*Echium vulgare* L.), осот рожевий польовий (*Cirsium arvense* L.), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), смовдь гірська (*Peucedanum*

oreoselinum (L.) Moench.), звиробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), хаменерій вузьколистий або іван-чай звичайний (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), злінка канадська (*Erigeron canadensis* L.), чистотіл звичайний (*Chelidonium majus* L.), морква дика (*Daucus carota* L.), яка зростає навіть на обриві кар'єру Шевченківського родовища пісковиків.



Рис. 5. Тонкопромінник однорічний (*Phalacroloxa annuum* (L.) Dumort.) на території кар'єру Шевченківського родовища пісковиків та прилеглих до нього ділянках

Однак чи не найпоширенішим видом, що зустрічається як на голих виробках існуючого кар'єру, так і вздовж доріг та під'їздів до ділянки, біля робочої стіни і навіть в альпійських угрупованнях вище кар'єру, є звісно тонкопромінник однорічний (*Phalacroloxa annuum* (L.) Dumort.). Цю рослину теж можна вважати не типовою для Прикарпаття. Деякі біологи говорять навіть про її агресивність. Цей вид зустрічається практично у всіх угрупованнях навколо Шевченківського родовища пісковиків (рис. 5).

Частина території в межах відведення проектної ділянки, а також ділянки в межах санітарно-захисної зони, заростає дерев'янистою рослинністю – деревами-самосівками різного віку. Серед них найбільше ялини звичайної (*Picea abies* (L.) H. Karsten) та ялиці білої (смереки) (*Abies alba* Mill.), рідше зустрічаються сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) та сосна кедрова європейська (*P. cembra* L.), береза повисла (*Betula pendula* Roth.), бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.), вільха сіра (*Alnus incana* (L.) Moench).

У другому ярусі та вздовж доріг й під'їздів у першому зустрічаються кущі крушини ламкої (*Frangula alnus* Mill.), верби білої (*Salix alba* L.), верби козячої (*S. caprea* L.), верби вушкатої (*S. aurita* L.), верби попелястої (*S. cinerea* L.), ожини сизої або звичайної (*Rubus caesius* L.) та ожини шорсткої (*Rubus hirtus* Waldst. & Kit.), малини звичайної (*Rubus idaeus* L.) та

бузини червоної (*Sambucus racemosa* L.). Зрідка зустрічається груша звичайна (*Pyrus communis* L.).

Виходячи з вище перерахованого, можна зробити висновок, що безпосередньо в межах досліджуваної ділянки рідкісних та екологічно цінних видів рослин та грибів не виявлено (Орлов, 2005; Михайловський, 2010; Перелік..., 2021).

Серед представників фауни, що зустрічаються в межах відведеної ділянки кар'єру та в межах санітарно-захисної зони, найчисленнішими представниками фауни в межах Шевченківського родовища пісковиків є комахи. Серед них шкідники деревних та кущових рослин, що ростуть у безпосередній близькості до ділянки кар'єру та в межах майбутньої санітарно-захисної зони, зокрема метелики совки вербової (*Colobochyla salicalis* (Denis & Schiffermüller)), вогнівки бузинової (*Anania coronata* Hufn.), вогнівки блідо-жовтої лугової (*Paratalanta pandalis* Hübner).

Серед жуків виявлені довгоносик двокільовий (*Cleonis pigra* Scopoli), хрущ травневий західний (*Melolontha melolontha* L.), очкастий ковалик (*Alaus oculatus* L.), листоїд в'язовий або ж лупер садовий (*Luperus xanthopoda* Schrank), виявлений у незвичному місці на суцвіттях дикої моркви, та жуки, що належать до родини Чорнотілки (*Tenebrionidae* Latreille).

Перетинчастокрилі та двокрилі представлені такими видами як шершень звичайний

(*Vespa crabro* L.), джміль земляний (*Bombus terrestris* L.), комар звичайний (*Culex pipiens* L.), оса звичайна (*Vespa vulgaris* L.).

Серед ссавців на території відведеної ділянки зустрічається мишак європейський (*Sylviaetus sylvaticus* L.), їжак європейський (*Erinaceus europaeus* L.) та кріт європейський (*Talpa europaea* L.).

Серед земноводних у чаші кар'єру виявлені декілька особин жаби ставкової (*Pelophylax lessonae* Camerano), на камінні поблизу кар'єру та під ними ропуха сіра (*Bufo bufo* L.). Серед плазунів – ящірка прудка (*Lacerta agilis* L.).

Були помічені також безхребетні – слизняк шляховий рудий (*Arion subfuscus* Draparnaud), слизняк (польовий) сітчастий (*Deroceras reticulatum* (O.F.Müller)), раulik виноградний (*Helix pomatia* L.) та одна особина синюка карпатського (*Bielzia coeruleans* Michael Bielz).

На проммайданчику та за його межами помічені були такі види птахів: шпак звичайний (*Sturnus vulgaris* L.), горобець польовий (*Passer montanus* L.), трав'янка лучна (*Saxicola rubetra* L.), горобець хатній (*Passer domesticus* L.), сорока звичайна (*Pica pica* L.), ворона чорна (*Corvus corone* L.) та ворона сіра (*Corvus cornix* L.), вівчарик жовтобровий (*Phylloscopus sibilatrix* (Bechstein)), кропив'янка чорно-голова (*Sylvia atricapilla* L.), мухоловка сіра (*Muscicapa striata* (Pallas)), сойка звичайна (*Garrulus glandarius* L.), вільшанка (*Erithacus rubecula* L.), синиця велика (*Parus major* L.), галка звичайна (*Corvus monedula* L.), яка до речі зображена на гербі м. Івано-Франківська та Івано-Франківської області.

На досліджуваній ділянці вже склалися змінені шляхи міграції диких тварин, окрім перелітних птахів на період перельотів (Атлас ..., 2018; Сезонні ..., 2022).

За межами відведеної ділянки були виявлені також деякі види грибів макроміцетів. Серед них часничник звичайний (*Marasmius scorodonius* (Fr.) Fr.), сиріжка сіра (*Russula grisea* (Batsch) Fr.), хрящ-молочник нейтральний (*Lactarius quietus* (Fr.) Fr.).

Окрім макроміцетів, на камені були виявлені також гриби мікроміцети, вид яких встановити не вдалося (рис. 6).

Загалом для запобігання негативному впливу планової діяльності Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області після надання спецдозволів на видобуток корисної копалини необхідні подальші систематичні спостереження за станом земель, зйомка, обстеження і вишукування, оцінка біологічного різноманіття, виявлення у ньому змін, можливого заростання адвентивними та агресивними видами через забруднення земель абразивним пилом, важкими металами, паливно-мастильними матеріалами та через переуцільнення ґрунтів прилеглих територій.

Висновки

1. Через прелімінарну діяльність Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області, яка здійснювалась на основі попередніх спецдозволів рослинний світ планової ділянки суттєво змінився.

2. На ділянці родовища спостерігається збіднення рослинного і тваринного різно-



Рис. 6. Невстановлений вид грибів мікроміцетів на камінні поблизу Шевченківського родовища пісковиків

маніття, в тому числі безпосередньо в зоні впливу підприємства, та в межах санітарно-захисної зони (СЗЗ).

3. У фітоценозах прилеглих до родовища переважають аборигенні види, однак зустрічаються і інвазійні, серед яких є навіть агресивні види. Серед них злинка канадська (*Erigeron canadensis* L.), тонкопромінник однорічний (*Phalacroloa annuum* (L.) Dumort.), золотушник звичайний (*Solidago virgaurea* L.).

4. На окремих ділянках виявлені, угруповання, що утворилися за участю заносних рослин, аналоги яких відсутні серед природної рослинності Прикарпаття. Типовим представником такої флори є розрив-трава залозиста (*Impatiens glandulifera* L.) та

розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* DC) а також ваточник сирійський (*Asclepias syriaca* L.), золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.) та ін.

5. Найчисленнішими представниками фауни в межах Шевченківського родовища пісковиків є комахи. Серед жуків виявлені довгоносик двокільбовий (*Cleonis pigra* Scopoli), хрущ травневий західний (*Melolontha melolontha* L.), очкастий ковалик (*Alaus oculatus* L.), листоїд в'язовий (*Luperus xanthopoda*, Schrank), жуки родини Чорнотілки (Tenebrionidae Latreille). Найменш чисельними є ссавці – серед них мишак європейський (*Sylvaeus sylvaticus* L.), їжак європейський (*Erinaceus europaeus* L.) та кріт європейський (*Talpa europaea* L.).

Список використаної літератури

Атлас міграцій птахів України [Електронний ресурс]. URL: <http://mail.izan.kiev.ua/atlas%20of%20bird%20migration-ua-2016.pdf> (дата звернення 01.10.2023).

Барановський В.А. Україна. Еколого-географічний атлас України : атлас-монографія. Київ : Варта, 2006. 220 с.

Визначник рослин України: учбовий посібник / А. І. Барбарич, Є. М. Брадїс, О. Д. Вісюлін та ін.; відп. ред. Д.К. Зеров. Вид. 2-ге, випр. і допов. Київ : Урожай, 1965. 875 с.

ДСТУ Б EN 1469: 2007. Будівельні матеріали. Вироби з природного каменю. Облицювальні плити. Вимоги. [Чинний від 2008-10-01]. Київ : Мін-во регіонального розвитку та будівництва України, 2008. (Інформація та документація) [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=24652 (дата звернення 01.10.2023).

Зелена книга України / під заг. ред. Я. П. Дідуха. Київ : Альтерпрес, 2009. 448 с.

Корисні копалини Івано-Франківської області [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (дата звернення 16.10.2023).

Михайловський А.В. Макроміцети Полісся України: визначник. Івано-Франківськ, 2010. 652 с.

Орлов О.О. Рідкісні та зникаючі види судинних рослин Житомирської області. Житомир : Волинь, 2005. 296 с.

Перелік видів рослин та грибів, що заносяться до Червоної книги України (рослинний світ) : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 15 лютого 2021 року № 111 [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21> (дата звернення 15.10.2023).

Перелік видів тварин, що заносяться до Червоної книги України (тваринний світ): Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 19 січня 2021 року № 29 [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0260-21> (дата звернення 19.10.2023).

Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 р. № 2059-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2017. № 29, ст. 315 [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення 23.10.2023).

Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2021 році [Електронний ресурс]. URL: <https://mepg.gov.ua> (дата звернення 20.10.2023).

Смарагдова мережа в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://sfmu.org.ua/smaragdovamerezha-v-ukrayini> (дата звернення 21.10.2023).

Сезонні міграції птахів (карта) / О. Бобко та ін. [Електронний ресурс]. URL: http://pernatidruzi.org.ua/karta_sezonnykh_mihratsiy_ptakhiv.html (дата звернення 11.10.2023).

Aagaard P., Jahren J.S., Harstad A.O., Nilsen O. Formation of grain-coating chlorite in sandstones. Laboratory synthesized vs. natural occurrences. Clay Minerals. 2020. 35(1) P. 261–261. <https://doi.org/10.1180/000985500546639>.

Brenchley P.J., Newall, G., Stanistreet, I.G. A storm surge origin for sandstone beds in an epicontinental platform sequence, Ordovician, Norway. *Sedim. Geol.* 1979. 22. P. 185–217 [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(79\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(79)90052-6).

References (translated & transliterated)

Atlas mihratsii ptakhiv Ukrainy [Atlas of bird migrations of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <http://mail.izan.kiev.ua/atlas%20of%20bird%20migration-ua-2016> (access date 01.10.2023) [in Ukrainian].

Baranovskyi, V.A. (2006). Ukraina. Ekoloho-heohrafichniy atlas Ukrainy: atlas-monografiya [Ukraine. Ecological and geographical atlas of Ukraine: atlas-monograph]. Kyiv: Varta [in Ukrainian].

Barbarych, A.I., Bradis, Ye.M., Visiulin, O.D., Volodchenko, V.S., Dobrochaieva, D.M., & Khrzhanovskyi, V.H. (1965). Vyznachnyk roslyn Ukrainy [Identifier of plants of Ukraine]. (2 nd. ed.). Kyiv: Urozhai [in Ukrainian].

DSTU B EN 1469: 2007. Budivelni materialy. Vyroby z pryrodnoho kameniu. Oblytsiuvalni plyty. Vymohy [Building materials. Products from natural stone. Facing plates. Requirements]. (2008). Kyiv. Min-vo rehional'noho rozvytku ta budivnytstva Ukrayiny [Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine]. [Electronic resource] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=24652 (access date 01.10.2023) [in Ukrainian].

Didukh, Ya.P. (Ed.). (2009). Zelena knyha Ukrainy [Green book of Ukraine]. Kyiv: Alterpres [in Ukrainian].

Korysni kopalyny Ivano-Frankivskoi oblasti [Minerals of Ivano-Frankivsk region]. [Electronic resource] URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (access date 16.10.2023) [in Ukrainian].

Mykhailovskyi, L.V. (2010). Makromitsety Polissia Ukrainy [Macromycetes of Polissia of Ukraine]. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].

Orlov, O.O. (2005). Ridkisini ta znykaiuchi vydy sudynnykh roslyn Zhytomyrskoi oblasti [Rare and endangered species of vascular plants of Zhytomyr region]. Zhytomyr: Volyn [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy № 111 «Perelik vydiv roslyn ta hrybiv, shcho zanosyatsia do Chervonoi knyhy Ukrainy (roslynniyi svit)». [Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine № 111 «List of species of plants and mushrooms included in the Red Book of Ukraine (plant life)»]. (2021). [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0370-21> (access date 15.10.2023) [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy № 29. «Perelik vydiv tvaryn, shcho zanosyatsia do Chervonoi knyhy Ukrainy (tvarynniyi svit)». [Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine № 29. «List of animal species included in the Red Book of Ukraine (animal world)»]. (2021). [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0260-21> (access date 19.10.2023) [in Ukrainian].

Zakon Ukrainy № 2059–VIII «Pro otsinku vplyvu na dovkillia» [Law of Ukraine № 2059–VIII «About environmental impact assessment»]. (2017). [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (access date 23.10.2023) [in Ukrainian].

Rehional'na dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha Ivano-Frankivskskoi oblasti u 2021 rotsi [About the state of the natural environment of the Ivano-Frankivsk region in 2021]. [Electronic resource] URL: <https://eprdep.zht.gov.ua> (access date 20.10.2023) [in Ukrainian].

Smarahdova merezha v Ukraini [Emerald network in Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://sfmu.org.ua/smarahdova-merezha-v-ukrayini> (access date 21.12.2022) [in Ukrainian].

Bobko, O. (ed.). Cezonni mihratsii ptakhiv (karta) [Seasonal migrations of birds (map)]. [Electronic resource] URL: http://pernatidruzi.org.ua/karta_sezonnykh_mihratsiy_ptakhiv.html (access date 11.10.2023) [in Ukrainian].

Aagaard, P., Jahren, J.S., Harstad, A.O., & Nilsen, O. (2020). Formation of grain-coating chlorite in sandstones. Laboratory synthesized vs. natural occurrences. *Clay Minerals*, 35(1), 261–261. <https://doi.org/10.1180/000985500546639> [in English].

Brenchley, P.J., Newall, G., & Stanistreet, I.G. (1979). A storm surge origin for sandstone beds in an epicontinental platform sequence, Ordovician, Norway. *Sedim. Geol.* 22, 185–217 [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(79\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(79)90052-6) [in English].

Отримано: 10.11.2023

Прийнято: 29.11.2023



УДК 631.47:631.512:633.11“324”
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.7>

ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ ПОСІВІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ У ЗОНІ ЛІСОСТЕПУ

Б. В. Матвійчук¹, Н. Г. Матвійчук², Н. І. Корево³, Я. Р. Оксентюк⁴

Наведено результати спостережень за вологозабезпеченістю посівів пшениці озимої в період з 2016 по 2021 роки у зоні Лісостепу. Детальний аналіз відображає непостійність вологозабезпечення протягом року та вплив аномальних погодних умов на розвиток культури. Спостереження свідчать про важливість регулярного моніторингу вологості ґрунту для прогнозування врожаю та розробки стратегій управління землекористуванням. У ході проведення досліджень виявлено значні коливання вологозабезпеченості посівів пшениці озимої, на різних етапах вегетації. Зокрема, зазначається важливість врахування погодних аспектів та оптимізації землекористування для досягнення стійкого та високого врожаю пшениці озимої. Детально розглядається вплив погодних умов на вологозабезпеченість та розвиток посівів. Зокрема, вказується на важливість м'якої зими, яка сприяє стійкому росту культури. Також враховується аномальна погода, зокрема посуха та надмірні опади, які можуть вплинути на урожайність. Проведені нами дослідження підкреслюють важливість систематичного вимірювання вологозабезпеченості для ефективного прогнозування врожаю та розробки стратегій управління землекористуванням в умовах мінливого клімату. Отримані дані можуть бути корисні для аграрних підприємств та організацій, які прагнуть оптимізувати процеси вирощування пшениці озимої та підвищити стійкість врожаю до екстремальних погодних умов. Доведено, що варто враховувати велику залежність вологозабезпеченості пшениці озимої від природних факторів. Управління водним режимом

¹ кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: bogdanmatviychuk@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7872-2420

² кандидат сільськогосподарських наук,
старший викладач кафедри технологій у рослинництві
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: natamatviychuk400@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2226-814X

³ старший викладач кафедри ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ninakorevo@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3744-1382

⁴ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри медико-біологічних дисциплін
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
email: oksentyuk_ya@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8376-8298

ґрунту та використання оптимальних агротехнічних стратегій сприяє стабільності вирощування культури в умовах змін клімату.

Ключові слова: ґрунтова волога, пшениця озима, ґрунт, вологозабезпеченість, продуктивна волога.

MOISTURE AVAILABILITY OF WINTER WHEAT CROPS IN THE FOREST-STEPPE ZONE

B. V. Matviichuk, N. H. Matviichuk, N. I. Korevo, Ya. R. Oksentiuk

The results of observations of the moisture availability of winter wheat crops in the period from 2016 to 2021 in the Forest-Steppe zone are presented. A detailed analysis shows the variability of moisture supply throughout the year and the impact of abnormal weather conditions on crop development. In the course of research during 2016-2021, significant fluctuations in the moisture availability of winter wheat crops were revealed, noting its different stages of vegetation. Observations indicate the importance of regular monitoring of soil moisture for crop forecasting and development of land use management strategies. In particular, the importance of taking into account weather aspects and optimizing land use to achieve a sustainable and high yield of winter wheat is noted. The impact of weather conditions on moisture availability and crop development is analyzed in detail. In particular, the importance of mild winters is emphasized, which contributes to sustainable crop growth. Abnormal weather, such as drought and excessive precipitation, which can affect yields, is also taken into account. Our research emphasizes the importance of systematic measurement of moisture availability for effective crop forecasting and development of land use management strategies in a changing climate. The obtained data can be useful for agricultural enterprises and organizations seeking to optimize the processes of winter wheat cultivation and increase the crop's resistance to extreme weather conditions. It is proved that it is necessary to take into account the high dependence of winter wheat moisture availability on natural factors. Managing the soil water regime and using optimal agronomic strategies contributes to the stability of crop cultivation in the face of climate change.

Key words: soil moisture, winter wheat, soil, moisture availability, productive moisture.

Вступ

Багаторічні дослідження, виконані на Миронівській дослідній станції засвідчили, що найбільший врожай пшениці озимої було одержано при висіві в оптимальні строки і при одержанні більшої густоти стеблостою і продуктивності колосу за рахунок кращої виповненості зерна (Федорова, 1972). В свою чергу ще раніше М. М. Стрельникова зазначила, що велике значення при вирощуванні культури мають кліматичні умови місця закладки відповідних дослідів і детально проаналізувала минулу, теперішню та дала прогноз на майбутню ситуацію у цьому надважливому процесі культивування провідної продовольчої культури країни (Стрельникова, 1969).

Науковці вказують, що за посушливої погоди, коли рілля є глибистою, щоб запобігти сильному висиханню ґрунту, одночасно з оранкою, доцільно провести коткування і боронування (Браженко та ін., 2006).

Слід відмітити також, що при формуванні врожаю пшениця озима використовує велику кількість води, а саме 4–5 тис. м³/га. Тому оптимальна вологість ґрунту для неї складає 70–80% від повної вологоєм-

ності, особливо в критичний період розвитку культури – від кущення до колосіння, коли формуються повністю її генеративні органи. При цьому транспіраційний коефіцієнт культури дорівнює 550–600 (Ярчук і Геллер, 2007; Матюха і Ткаліч, 2008). Вчені також звертають увагу на те, що основна маса коренів пшениці озимої розташована у шарі ґрунту 0–20 см. Хоча на парах (перед її зимівлею) вони досягають глибини навіть 70–100 см, а по непаровим попередникам – 50–70 см (Любович, 2005; Гирка та ін., 2009; Стратієвський, 2010).

Матеріал та методи

Ґрунтовий покрив дослідних ділянок – чорнозем опідзолений, середньосуглинковий, малогумусний із вмістом в орному шарі гумусу 3,1%; валового азоту 0,18–0,19%; фосфору 0,13–0,14% і калію 2,0–2,1%.

Пшеницю висівали (сорт «Кришталева») зерновою сівалкою СЗ-3,6 10–15 вересня починаючи з 2016 року з нормою 5,0 млн. шт./га зерен – 250 кг/га кондиційного насіння.

Досліди були виконані не менш як в 3-х повтореннях за методиками (Стрельченко,

1990; Кравченко та ін., 2002). Отримані результати було опрацьовано статистично за допомогою стандартних комп'ютерних програм Excel. Достовірність різниці між варіантами оцінювали за критерієм Ст'юдента, використовуючи при цьому 5% рівень значущості (Чепур, 2015).

Результати та обговорення

Питанню вологозабезпеченості посівів сільськогосподарських культур присвячено праці М. С. Шевченка (2018), А. М. Десятник, В. В. Гамаюнової, В. В. Дриги (2019). Значення вологості в агробіоценозі виявляється не лише у контексті об'єму води в ґрунті, але й у водному режимі системи в цілому. Це стає актуальним через різноманітні канали використання води сільськогосподарськими культурами, обумовлені численними факторами. Зокрема, обіг води в агробіосфері фактично контролюється екологічними та агротехнологічними чинниками, такими як зміна культур, обробіток ґрунту, використання добрив, боротьба з бур'янами та інші.

Спостереженнями встановлено, що за роки проведених досліджень (2016–2021 рр.) починаючи із зимового періоду і закінчуючи збиранням урожаю зерна, вологозабезпеченість посівів цієї культури складалась по вегетаційних періодах її розвитку неоднаково. Далі, наведемо детальні спостереження, конкретно за вегетаційними періодами кожного досліджуваного року.

Наприкінці листопада 2015 р. до початку дослідження у шарі ґрунту 0–150 см запаси вологи під посівами пшениці озимої становили 105,8 мм, що є достатньо задовільним показником. Надалі (фаза відновлення весняної вегетації) у 2016 році (квітень), її запаси збільшилися до 123,3 мм, у фазі виходу в трубку-колосіння – зменшилися до 52,6 мм (що становило на 70,7 мм менше), а на час збирання урожаю (21–22 червня) взагалі знизилися до 25,3 мм (ще на 27,3 мм менше порівняно з попередньою фазою). Все це відбувалося на тлі сильної посухи, яка спостерігалася весь травень і червень місяці 2016 року.

У 2017 році показники вологозабезпеченості посівів були дещо іншими. Перед зимівлею пшениці озимої було зафіксовано показники у 118,1 мм (шар ґрунту 0–150 см). Але у лютому місяці 2017 року було зареєстровано вимерзання 8% посівів культури, завдяки аномально низькій температурі лютого місяця (коли 2–5 лютого середньодобова температура повітря ста-

новила -23 – -24°C). У подальшому (фаза відновлення весняної вегетації) показник вологозабезпеченості сягав 122,0 мм, у фазі колосіння – 77,8 мм. Але, на час збирання урожаю (20 червня 2017 року), спостерігалася ще сильніша посуха, ніж у 2016 році. Не виявилися здивуванням і показники, одержані у цьому проміжку часу – лише 2,9 мм вологи у півтораметровому шарі ґрунту.

Починаючи із зимового періоду 2017 р., запаси вологи у шарі ґрунту 0–150 см склали 101,6 мм (задовільний показник). Умови зими 2018 року виявилися досить м'якими. Так, середньодобова температура повітря у січні місяці складала -7°C, а в лютому -4°C, що звичайно позитивно вплинуло на ріст та розвиток посівів пшениці озимої. Посіви культури були досить вирівняними, не підлягали зрідженості, як у 2017 році, коли вимерзло 8% посівів культури, завдяки великим морозам лютого місяця.

Запаси продуктивної вологи навесні (23 квітня 2018 р.) в шарі ґрунту 0–150 см склали 80,1 мм, тобто їх можна оцінити, як дещо недостатні (при нормі на цей час 91–130 мм). За даними забору вологи у фазі колосіння культури (30 травня 2018 року), констатуємо, що тут вони склали 92,7 мм. Останній забір вологи було проведено нами 15 червня 2018 року, тобто у фазі наливу зерна. Відзначаємо, що перед збиранням урожаю було зафіксовано показники продуктивної вологи у ґрунті на рівні 80,3 мм (або на 12,4 менше порівняно з попередньою фазою). Але ці показники, завдяки рясним дощам квітня та травня місяців, вже не вплинули на підсумковий урожай культури, який було зібрано 29 червня 2018 року.

Необхідно зазначити, що при вирощуванні пшениці озимої у 2019 році, перед її зимівлею нами було проведено визначення запасів продуктивної вологи у півтораметровому шарі ґрунту, що склали на той час 126,8 мм. Відмітимо, що умови січня і особливо лютого місяців 2019 року виявилися відносно м'якими. За даними наших замірів вранці (при сході сонця) мінімальна температура повітря у січні місяці складала -11°C, а в лютому -9°C. Це в подальшому відповідно вплинуло на ріст та розвиток посівів культури. Вони були вирівняними й не мали суттєвої зрідженості.

У подальшому (фаза відновлення весняної вегетації) показники вологи значно зменшились до 77,1 мм, а у фазі наливу зерна – збільшилися до 148,2 мм, завдяки

рясним дощам, що пройшли у регіоні проведення досліджень у травні та червні поточного року. Відзначимо, що перед збиранням врожаю (7 липня 2019 року) нами було зафіксовано достатні показники продуктивної вологи (в межах до 144,1 мм), що в подальшому позитивно вплинуло на врожай цієї культури.

У таблиці 1 наведено показники продуктивної вологи по роках досліджень у різних фазах вегетації культури.

Слід зазначити, що за показниками продуктивної вологи дані цього року виявилися досить різними. Так, на початку зими, її запаси становили 117,6 мм (05 грудня 2019 р.).

У фазі відновлення весняної вегетації у шарі ґрунту 0–150 см її запаси склали 193,2 мм (або на 75,6 мм більше в порівнянні з попереднім забором), і прогнози, стосовно урожайності були на той час позитивними. Аномальна спека, що спостерігалася у подальшому (весь травень місяць та початок червня), призвела врешті-решт до скорочення запасів вологи у фазі колосіння до 101,2 мм (тобто на 92 мм менше). Перед збиранням врожаю (наприкінці червня), запаси вологи ще зменшилися (до 72,1 мм).

Перед зимівлею пшениці озимої запаси продуктивної вологи у 2021 році становили 114,5 мм. В подальшому (при фазі

Таблиця 1

Показники продуктивної вологи по роках досліджень у різних фазах вегетації пшениці озимої (сорт «Кришталева»), 2016–2021 рр., у шарі ґрунту 0–150 см, мм

Рік досліджень	Перед зимівлею культури	Фаза колосіння	Перед збиранням врожаю	Характеристика показників
2016	105,8	52,6	25,3	задовільні
2017	118,1	77,8	2,9	недостатні
2018	101,6	92,7	80,3	добрі
2019	126,8	148,2	144,1	відмінні
2020	117,6	101,2	72,1	задовільні
2021	114,5	113,4	69,8	задовільні

відновлення весняної вегетації культури) за період із січня місяця і по першу декаду березня випало 207,4 мм опадів (переважно у вигляді сильного снігу та короткотривалих, але досить інтенсивних дощів), що на цій фазі вегетації культури виявилось абсолютно рекордним показником за усі роки проведених досліджень (2016–2021 рр.).

У фазі колосіння культури (червень 2021 року), у першій його декаді пройшли рясні дощі, і не дивлячись на їх зниження у другій і повну відсутність у третій декадах місяця, підсумкові показники вологи на цій стадії вегетації пшениці були доволі вагомими – 113,4 мм, що у загальному аналізі порівняно з іншими роками спостережень, поступилися лише 2019 року, коли відмічали у фазі колосіння дані у 148,2 мм.

На початку липня запаси продуктивної вологи зменшилися до позначки 69,8 мм, але в цілому характеристика показників у 2021 році відзначена як задовільна.

Висновки

У ході проведення досліджень упродовж 2016–2021 рр. виявлено значні коливання вологозабезпеченості посівів пше-

ниці озимої за різних періодів вегетації. Наприкінці листопада, перед зимовим періодом 2015 р. волога у глибині ґрунту 0–150 см була на рівні 105,8 мм, змінившись під впливом весняного відновлення та колосіння у 2016 р. Посушливий травень і червень 2016 р. значно скоротили запаси води до 25,3 мм під час збирання урожаю. Був відзначений вимерзанням 2017 рік – 8% посівів у лютому, але помірнішим липнем, що вплинуло на вологозабезпеченість. У 2018 році м'яка зима та адекватні опади весною сприяли нормальному росту пшениці озимої. Запаси вологи під час колосіння 2018 р. становили 92,7 мм, але перед збиранням урожаю сильна посуха призвела до значного зменшення її. Наступний 2019 рік відзначився задовільними запасами вологи перед зимівлею та м'якою зимою.

Таким чином, варто враховувати велику залежність вологозабезпеченості пшениці озимої від природних факторів. Управління водним режимом ґрунту та використання оптимальних агротехнічних стратегій сприяє стабільності вирощування культури в умовах змін клімату.

Список використаної літератури

- Браженко І.П., Ганчур В.В., Черкізов І.О. Час відновлення весняної вегетації, погодні умови, продуктивність озимої пшениці. *Бюл. ІЗГ УААН*. 2006. С. 73–79.
- Гирка А.Д., Тарасенко О.А., Кротніков І.В., Бойко О.В. Особливості ростових процесів рослин озимої пшениці в осінній період вегетації залежно від строків сівби. *Бюлетень ІЗГ УААН*. 2009. С. 20–24.
- Дрига В.В. Вологість ґрунту залежно від застосування абсорбенту за вирощування міскантусу гігантського. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2019. №1. С. 9–14.
- Кравченко М.С., Злобін Ю.А., Царенко О.М. Землеробство : підручник за ред. М.С. Кравченка. Київ : Либідь, 2002. 496 с.
- Матюха А.П., Ткаліч Ю.І. Захист озимої пшениці від бур'янів з урахуванням фітоенергетичного балансу агрофітоценозів. *Бюл. ІЗГ УААН*. 2008. № 35. С. 22–27.
- Система ведення сільського господарства Дніпропетровської області. Під. ред. О.А. Любовича. Дніпропетровськ, 2005. 432 с.
- Стратієвський Д.А. Пшениця як культура. Захист від посіву до збирання врожаю. Рекл. просп. ТОВ «Байер». 2010. 70 с.
- Стрельникова М.М. Вплив умов вирощування на якість зерна озимої пшениці. В кн.: *Озима пшениця*. Київ : Урожай, 1969. С. 321–330.
- Стрельченко В.П. Методичні поради по освоєнню ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур в умовах Волинського Полісся. Луцьк, 1990. 27 с.
- Федорова Н.А. Зимостійкість і врожайність озимої пшениці. Київ : Урожай, 1972. 259 с.
- Чепур С.С. Біометрія: Методичний посібник. Ужгород : Видавництво УжНУ «Говерла», 2015. 40 с.
- Шевченко М.С., Десятник А.М., Швець Н.В., Шевченко С.М. Методика визначення вологості ґрунту: класичні помилки і об'єктивні фізичні параметри. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 2. С. 309–313. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0041>.
- Ярчук І.І., Геллер О.Й. Шляхи підвищення адаптації рослин озимої пшениці до несприятливих умов зимівлі. *Таврійський науковий вісник*. 2007. № 52. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2019-1-9-14>. С. 119–124.

References (translated & transliterated)

- Brazhenko, I.P., Hanchur, V.V., & Cherkizov, I.O. (2006). Chas vidnovlennia vesnianoi vehetatsii, pohodni umovy, produktyvnist ozymoi pshenytsi [Spring vegetation recovery time, weather conditions, winter wheat productivity]. *Biul. IZH UAAN [Bul. IZH of the Ukrainian Academy of Sciences]*, 73–79 [in Ukrainian].
- Hyrka, A.D., Tarasenko, O.A., Krotnikov, I.V., & Boiko, O.V. (2009). Osoblyvosti rostovykh protsesiv roslyn ozymoi pshenytsi v osinnii period vehetatsii zalezchno vid strokiv sivby [Peculiarities of growth processes of winter wheat plants in the autumn vegetation period depending on sowing time]. *Biul. IZH UAAN [Bul. IZH of the Ukrainian Academy of Sciences]*, 20–24 [in Ukrainian].
- Dryha, V.V. (2019). Volohist gruntu zalezchno vid zastosuvannia absorbentu za vyroshchuvannia miskantusu hihantskoho [Soil moisture depending on the use of absorbent for growing giant miscanthus]. *Visnyk Umanskoho natsionalnogo universytetu sadiivnytstva [Bulletin of the Uman National University of Horticultur]*, 1, 9–14 [in Ukrainian].
- Kravchenko, M.S., Zlobin, Yu.A., & Tsarenko, O.M. (2002). Zemlerobstvo [Farming] : pidruchnyk za red. M.S. Kravchenka. Kyiv : Lybid [in Ukrainian].
- Matiukha, L.P., & Tkalich, Yu.I. (2008). Zakhyst ozymoi pshenytsi vid burianiv z urakhuvanniam fitoenerhetychnoho balansu ahrofitotsenoziv [Protection of winter wheat from weeds taking into account the phytoenergy balance of agrophytocenoses]. *Biul. IZH UAAN [Bul. IZH of the Ukrainian Academy of Sciences]*, 35, 22–27 [in Ukrainian].
- Liubovych, O.A. (2005). Systema vedennia silskoho hospodarstva Dnipropetrovskoi oblasti [The system of agriculture in Dnipropetrovska oblast]. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
- Stratiievskiy, D.A. (2010). Pshenytsia yak kultura. Zakhyst vid posivu do zbyrannia vrozhaiu [Wheat as a crop. Protection from sowing to harvesting]. Rekl. prosp. TОВ «Baiier» [in Ukrainian].
- Strelnykova, M.M. (1969). Vplyv umov vyroshchuvannia na yakist zerna ozymoi pshenytsi [Influence of growing conditions on the quality of winter wheat grain]. V kn.: *Ozyna pshenytsia*. K.: Urozhai [in Ukrainian].

Strelchenko, V.P. (1990). Metodichni porady po osvoienniu gruntozakhysnykh tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur v umovakh Volynskoho Polissia [Methodical advice on the development of soil protection technologies for growing crops in the conditions of Volyn Polissya]. Lutsk [in Ukrainian].

Fedorova, N.A. (1972). Zymostiikist i vrozhainist ozymoi pshenytsi [Winter hardiness and yield of winter wheat]. K.: Urozhai [in Ukrainian].

Chepur, S.S. (2015). Biometriia [Biometrics]: Metodichni posibnyk. Uzhhorod: Vydavnytstvo UzhNU «Hoverla» [in Ukrainian].

Shevchenko, M.S., Desiatnyk, L.M., Shvets, N.V., & Shevchenko, S.M. (2018). Metodyka vyznachennia volohosti igruntu: klasychni pomylky i obiektyvni fizychni parametry [Methods for determining soil moisture: classic mistakes and objective physical parameters]. *Zernovi kultury [Cereal crops]*, 2 (2), 309–313. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0041> [in Ukrainian].

Iarchuk, I.I., & Heller, O.Y. (2007). Shliakhy pidvyshchennia adaptatsii roslyn ozymoi pshenytsi do nespriatlyvykh umov zymivli [Ways to improve adaptation of winter wheat plants to unfavorable wintering conditions]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Taurian Scientific Herald]*, 52, 119–124. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2019-1-9-14> [in Ukrainian].

Отримано: 17.11.2023
Прийнято: 01.12.2023



УДК 504+631.4+631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.8>

ВПЛИВ ЙОНІВ СВИНЦЮ (Pb) НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ СОРТУ «ЮВІЛЕЙНА»

І. П. Онищук¹, І. В. Хом'як², О. Ю. Кичкирук³, Є. О. Зайко⁴

Метою дослідження є встановлення впливу забруднення ґрунту йонами Pb^{2+} на посівні якості насіння озимої пшениці сорту «Ювілейна». Відповідно до мети були вирішені такі завдання: отримано ґрунтові витяжки та розчини відповідно до прогнозованого рівня забруднення та нормативів гранично допустимих концентрацій; у результаті експерименту встановлено вплив різних концентрацій Pb^{2+} на схожість насіння пшениці; змодельовано вплив міліарного забруднення ґрунту солями свинцю на культивування досліджуваного сорту пшениці. Під час експерименту ми врахували рівень забруднення ґрунту в місцях вибуху боєприпасів (територія міста Малин) та визначені нормативними документами ГДК йонів свинцю. Встановлено, що у досліджуваних концентраціях йонів Pb^{2+} не спостерігається критичного токсичного впливу на процеси проростання насіння пшениці сорту «Ювілейна». Насіння цього сорту пшениці реагує на збільшення концентрації Pb^{2+} типовими змінами, що стосуються тільки окремих показників посівної якості насіння. Динаміка зміни довжини первинного кореня описується математичною моделлю, що наближена до кривої Гауса та відповідає закону оптимуму. Екологічний оптимум на стадії початку проростання насіння спостерігається при концентрації йонів Pb^{2+} 7,2 мг/л. В зоні оптимуму середня довжина первинного кореня досягає 6,1 мм, мінімальна – 3,1 мм, а макси-

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: irinashpin@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2847-8570

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: khomyakivan@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0080-0019

³ кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ranova_o_yu@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0558-1647

⁴ учень наукового ліцею
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: egorzaiko7@gmail.com
ORCID: 0009-0003-5049-7027

мальна – 10 мм. Динаміка довжини первинного паростка не демонструє алогічної залежності. Загальноприйняті ГДК не відповідають правому песимуму для насіння та перших молодих паростків озимої пшениці. Це можна пояснити тим, що визначені законодавством гранично допустимі концентрації були розраховані з точки зору безпеки для здоров'я споживача і не враховують вплив на організми речовин, які містяться в продуктах харчування. Отримані результати є початком широкого спектру подальших досліджень щодо впливу вищих концентрацій іонів Pb^{2+} на інші фізіологічні процеси рослинних організмів, інтенсивність росту і розвитку різних сільськогосподарських культур на різних етапах їхнього онтогенезу.

Ключові слова: продовольча безпека, мілітарне забруднення ґрунту, важкі метали.

THE EFFECT OF LEAD (II) IONS ON THE SOWING QUALITIES OF WINTER WHEAT SEEDS OF THE “YUVILEYNA” VARIETY

I. P. Onishchuk, I. V. Khomiak, O. Yu. Kychkyruk, E. O. Zaiko

The purpose of the study is to determine the effect of soil contamination with Pb^{2+} ions on the sowing quality of winter wheat seeds of the “Yuvileyna” variety. Following the goal, the following tasks were solved: soil extracts and solutions were obtained in accordance with the predicted level of pollution and standards of maximum permissible concentrations; as a result of the experiment, the influence of different concentrations of Pb^{2+} on the germination of wheat seeds was established; the influence of military contamination of the soil with lead salts on the cultivation of the investigated wheat variety was simulated. During the experiment, the level of soil contamination at the place of rupture of the explosive devices (Malyn village) determined by the regulatory documents of the MPC was taken into account. It was established that the studied concentrations of Pb^{2+} ions do not have a critical toxic effect on the processes of germination of wheat seeds of the “Yuvileyna” variety. The seeds of this wheat variety respond to an increase in the concentration of Pb^{2+} with typical changes affecting only certain physiological functions that accompany its germination. The dynamics of the change in the length of the primary root is described by a mathematical model that is close to the Gaussian curve and corresponds to the law of the optimum. The ecological optimum at the stage of the beginning of seed germination is observed at a concentration of Pb^{2+} ions of 7.2 mg/l. In the optimum zone, the average length of the primary root reaches 6.1 mm, the minimum is 3.1 mm, and the maximum is 10 mm. The dynamics of the length of the primary sprout does not show any logical pattern. Generally accepted MPCs do not correspond to the right pessimum for seeds and the first young sprouts of winter wheat. This can be explained by the fact that the maximum permissible concentrations determined by the legislation were calculated from the point of view of safety for the health of the consumer and do not take into account the impact on organisms of substances contained in food products. The obtained results are the beginning of a wide range of further research on the effect of higher concentrations of Pb^{2+} ions on the physiological processes of plant organisms, and the intensity of growth and development of various agricultural crops at different stages of their ontogenesis.

Key words: food security, military soil pollution, heavy metals.

Вступ

Людство протягом своєї історії стикалося із багатьма проблемами, які загрожували його існуванню або погіршували якість життя. Однак, жодна із проблем не призводила до таких кардинальних змін в технологіях та суспільному житті, як загроза дефіциту харчових ресурсів (Хом'як, 2023). Кожного разу, коли людство опинялося перед тривалою загрозою голоду, відбувався перехід на новий технологічний рівень існування. Так, після катастрофи, пов'язаної із виверженням вулкану Тоба (близько 70 тисяч років до нашої ери), відбулася зміна клімату, людство опинилося на межі вимирання і на нашій планеті залишилося

близько двох тисяч людей. Це підштовхнуло тодішніх *Homo sapiens* до ряду новацій, пов'язаних із пошуком їжі: міграцією за межі Африки, зміною способів полювання та мисливських і рибальських знарядь, зміною та розширенням раціону, тощо. Змінився і суспільний устрій, що спричинив утворення кроманьйонських культур у Європі, які після завершення вюрмського зледеніння (близько 11,7 тисяч років тому), поставило їх перед загрозою голоду.

У восьмому тисячолітті до нашої ери на території Передньої Азії виникло землеробство, однак поствюрмські похолодання та нераціональна поведінка перших землеробів призупинила цю цивілізаційну тенденцію

на два тисячоліття. Але вона знову вибухнула практично по всьому світу в шостому тисячолітті до нашої ери. Таке відбувалося всю подальшу історію цивілізації: людство стикалося із викликами, пов'язаними із дефіцитом харчових ресурсів і справлялося із ними виходячи на новий технологічний рівень.

Причинами, що породжували загрозу голоду були і поступові або різкі катастрофічні зміни клімату, і зниження кількості харчових ресурсів, і зростання чисельності населення та гіперексплуатація природних ресурсів протягом усієї історії людства. Згодом, така поведінка людських спільнот призвела до змін в навколишньому середовищі.

Поява землеробства породила нові проблеми, зокрема виснаження ґрунту. Щоб підвищити урожайність людина з кінця XIX і початку XX століття широко застосувала синтетичні мінеральні добрива та хімічні способи захисту рослин. Часто, така практика була нераціональною і в гонитві за високими урожаями людина спричиняла забруднення хімічними речовинами не лише пов'язаних із сільськогосподарськими угіддями екосистем, а й самі агроекосистеми. Це призводило до зниження якості сільськогосподарської продукції та її безпечності під час вживання. Разом із тим, спостерігалось активне використання великої кількості синтетичних хімічних речовин чи переміщення та концентрація речовин природного походження.

У наш час викликами для продовольчої безпеки є стрімке зростання чисельності населення, збідніння населення Глобального Півдня, глобальні зміни клімату, ерозія та забруднення ґрунтів, військові конфлікти тощо. Торгівля продуктами харчування, інвестиції в сільське господарство, розподіл продуктів серед бідних країн і навіть військові операції щодо цього стали важливою частиною світової політики. Наприклад, Російська Федерація в своїй агресії проти України планувала крім усього іншого отримати монополію на торгівлю збіжжям із країнами Глобального Півдня. Це мало б значно посилити її позиції в Світі та збільшити шанси на успіх в її імперському поході проти демократичного Заходу. За даними компанії Global Rights Compliance (GRC) із цією метою оборонний підрядник міністерства оборони Російської Федерації вже в грудні 2021 року зафрахтував велике число суховантажів для вивезення захопле-

ного українського зерна (The Independent..., 2023).

Крім загроз продовольчій безпеці людства, пов'язаних із руйнування аграрної інфраструктури України та перешкоджанням в транспортуванні збіжжя, війна несе і прямі екологічні загрози. Вони обумовлені забрудненням ґрунтів різноманітними речовинами в результаті бойових дій. В публічній площині ми чуємо багато розмов про загрози такого явища продовольчій безпеці. Проте, незважаючи на активні дослідження цієї проблеми українськими науковцями, в ній залишається занадто багато «білих плям».

Збереження родючості ґрунтового покриву та безпечності вирощуваної для споживачів аграрної продукції – одна із найбільш актуальних проблем сучасного людства. Оскільки саме у ґрунтах зберігаються усі необхідні умови для проростання насіння культурних рослин та подальшого їхнього виживання, росту і розвитку, збереження ґрунтів є ключовим фактором продовольчої безпеки.

Одними із найпоширеніших і, водночас, найбільш забруднюючих речовин, є сполуки, що містять йони Pb^{2+} (Malacea, 2003). Зазвичай у більшості природних екосистем сполуки свинцю зустрічається в незначних кількостях в літосфері. Їх можна зустріти у вигляді гірської породи галеніту, яка є найбільш поширеним, стабільним, кінцевим продуктом радіоактивного розпаду ізотопів урану, що зустрічаються магматичних породах. Під час руйнування магматичних порід цей «природний» свинець із пилом потрапляє в атмосферу і потім, осідаючи на земну поверхню, – в ґрунтовий розчин. Це також відбувається під час виверження вулканів, коли він мігрує із димом або як дрібний силікатний пил, морські сольові аерозолі тощо. У наш час основне джерело сполук свинцю – це активна людська діяльність. Слід зазначити, що серед найбільш потужних джерел забруднення природного навколишнього середовища свинцем антропогенного походження є: хімічна промисловість (виробництво фарб, сикативів, сумішей для акумуляторів, пластмас, скла, мастил), металургійна промисловість, паливна промисловість (виготовлення спеціальних антидетонаційних присадок для автомобільних бензинів) та воєнні дії (Skalny et al., 2021). Зазвичай колообіг свинцю в природних екосистемах у напрямку до організму людини здійснюється таким шля-

хом: повітряне середовище – водне середовище – ґрунт – рослинність та гриби – продукти харчування – споживачі продуктів харчування. Усі сполуки свинцю є високотоксичними речовинами та викликають у людей і тварин дуже тяжкі симптоми отруєння. Наприклад, у людський організм сполуки свинцю потрапляють із водою, продуктами харчування рослинного походження та грибами. Можливим також залишається більш складний шлях руху Pb^{2+} . Мається на увазі їхній перехід через організми домашніх тварин, яких годують забрудненими рослинними кормами. У зв'язку із активними воєнними діями існує висока ймовірність потрапляння сполук плюмбуму у організм людини через сільськогосподарську продукцію, у виробництві якої використовувалася сировина, що вирощувалася в агроекосистемах, порушених у результаті бойових дій. Саме тому українських дослідників зараз більш за все цікавлять питання величин переходу йонів Pb^{2+} в трофічних ланцюгах або в системі «ґрунт – продуценти (рослини) – консументи (тварини) – (споживач сільськогосподарської продукції (людина)». Ще одним актуальним предметом для дослідження є адаптаційні реакції та життєвість культурних рослин під впливом різних рівнів забруднення йонами Pb^{2+} .

Мета статті

Метою дослідження є встановлення впливу забруднення ґрунту йонами свинцю (II) на посівні якості насіння пшениці сорту «Ювілейна».

Відповідно до мети поставлено такі завдання:

1. Приготувати ґрунтові витяжки та розчини відповідно до прогнозованого рівня забруднення та нормативів гранично допустимих концентрацій йонів плюмбуму.

2. У результаті експерименту визначити вплив різних концентрацій йонів Pb^{2+} на посівні якості насіння пшениці.

3. Змодельувати вплив міліарного забруднення ґрунту на культивування пшениці сорту «Ювілейна».

Матеріал та методи

Для проведення дослідження обрано найбільш поширених на території Полісся та Лісостепу сорт м'якої озимої пшениці «Ювілейна» (МІП Ювілейна або МІР Yuvileina). Експеримент здійснювався із насінням покоління F2. Сорт «МІП Ювілейна» – це український сорт, зареєстрований 2019 році. Він рекомендований для масового вирощування на території

Лісостепу, але є досить популярним у аграріїв деяких регіонів, зокрема, Центрального Полісся. Вегетаційний період культури триває 259–266 діб. Рослина виростає до 82,4–94,2 см. Рослина має відносно високий вміст білку (від 13,5 до 14,1%), високу стійкість до вилягання (до 8 балів), до обсіпання (до 9 балів), до посухи (до 8 балів), до борошнистої роси (до 9 балів), до бурі іржі (до 9 балів), до фузаріозу колосся (до 9 балів), до мухи шведської (до 9 балів) та до клопа черепашки (до 9 балів) (Пшениця ..., 2023).

У ході проведеного дослідження була відібрана змішана проба ґрунту, згідно стандартних методик в місці розриву вибухових пристроїв (м. Малин). Для визначення концентрації зазначених йонів в ґрунті згідно методики (Набиванець та ін., 1996) готували водну витяжку: з подрібненого і просіяного крізь сито ґрунту на технічних терезах брали наважку ґрунту, додавали прокип'ячену дистильовану воду і струшували впродовж 5 хв. Після цього фільтрували крізь великий паперовий фільтр, вставлений у лійку. Оскільки перший фільтрат виявився мутним, фільтрування повторювали двічі.

Вміст катіонів у водній витяжці (мг/л) визначали атомно-абсорбційним методом з використанням полум'яного атомно-абсорбційного спектрофотометра С115-М виробництва Selmi (Україна). В спектрофотометрі атомізацію проводили полум'яним способом з використанням суміші ацетилен – повітря. Довжини хвиль вимірів становили – 283,3 нм, а ширина щілини дорівнювала 0,5 см.

Концентрацію у розчині визначали методом калібрувального графіку (рис. 1). Для побудови калібрувальних графіків атомно-абсорбційного визначення вмісту йонів Pb^{2+} використовували стандартні розчини з концентраціями йонів металів 0,9; 4,5; 9,0 та 5,0; 10,0; 20,0 мг/л відповідно.

Робочі розчини нітратів Pb (II) готували з наборів «Стандартних розчинів» цих солей у 1 М HNO_3 (виробництва ФХІ ім. А. В. Богатського в Одесі) з концентраціями 1 та 10 мг/мл (Yanovska et al, 2007). Розчини катіонів металів для ростового тесту готували відповідним розведенням робочих розчинів.

Визначення схожості насіння пшениці проводилося в лабораторних умовах, шляхом виконання ростового тесту. В спеціальні лотки, на кілька шарів фільтрувального паперу (в якості субстрату) викладали по 100 насінин пшениці, які потім зволо-

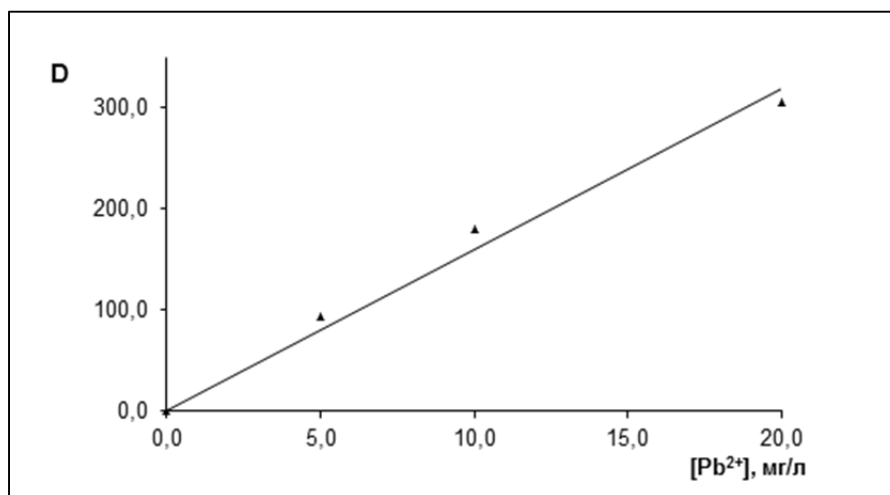


Рис. 1. Калібрувальний графік атомно-абсорбційного визначення катіонів Pb^{2+}

жували та провітрювали кожних 4 години. В якості контрольних зразків використовували лотки, зволоження насіння в яких здійснювалось кип'яченою відстояною водою, відібраною з водопровідної мережі м. Житомир. Насіння дослідних зразків викладали на фільтрувальний папір, змочений розчинами нітратів відповідних металів з нижче вказаними концентраціями.

Серія розчинів для ростового тесту була приготовлена із концентраціями катіонів Pb^{2+} , які відповідають ГДК та перевищують її в діапазоні 1,1–2 рази, вказаними в таблиці 1.

Дослід тривав 72 години. Фіксували наступні показники: час появи перших корінців; кількість насінин, які вже проросли (кожну добу); довжину надземної та підземної частин проростків та їх приріст (кожну добу); загальну кількість пророслих насінин (на час завершення експерименту); морфологічні особливості проростків (раннє пожовтіння, особливості розвитку кореневої системи та надземної частини). Для експерименту було використано 1800 насінин. Із них 600 насінин (6 лотків по 100 штук) для контрольного експерименту та по 200 насінин (2 лотки по 100 штук) для кожної обраної концентрації.

Результати

Було встановлено, що вміст іонів Pb^{2+} у водній витяжці відібраної проби ґрунту

становив менше 0,1 мг/г ґрунту. Отже, в місці взяття проб концентрація сполук свинцю не перевищила визначені законодавством норми гранично допустимих концентрації.

Пророщування насіння з використанням розчинів солей, що містили різні концентрації іонів Pb^{2+} дало змогу встановити реакцію організмів у їхній присутності. При цьому ми спостерігаємо, що фізіологічні реакції рослин були неоднаковими. Дослідження показали, що зміни довжини первинних коренів демонструють добре помітну закономірність, яка відповідає нормальному розподілу (рис. 2–4). Це типова картина для екологічних систем, описана як закон оптимуму. Водночас, відповідь зерна у вигляді росту первинного паростка на зміну концентрації іонів свинцю не показує такої добре вираженої залежності (рис. 5–7). Така ж ситуація спостерігається й щодо енергії проростання насіння. Це вказує на те, що сполуки із йонами Pb^{2+} у концентраціях, обраних для дослідження, не здійснюють критичного токсичного впливу на процеси проростання насіння.

Під час зростання концентрації йонів Pb^{2+} від 6 мг/л до 9 мг/л довжина первинного кореня змінюється у відповідності із математичною моделлю, яка нагадує криву Гауса. Коли величина концентрації йонів

Таблиця 1

Серії розчинів Pb^{2+} різної концентрації для ростового тесту

Йони	Концентрації розчинів, які відповідають (мг/л)					
	ГДК	1,1 ГДК	1,2 ГДК	1,3 ГДК	1,5 ГДК	2 ГДК
Pb^{2+}	6	6,6	7,2	7,8	9	12

свинцю перевищує ГДК, то спостерігається різке стрибкоподібне зростання довжини первинних коренів до 6,1 мм (див. рис. 2). В даному експерименті аналогічні зміни спостерігалися і щодо мінімальних довжин первинного кореня, в яких вони досягають 3,1 мм при концентрації йонів Pb^{2+} 7 мг/л (див. рис. 3). Максимальні розміри первинного кореня при цій концентрації досягають 10 мм (див. рис. 4). Отже, можна при-

пустити, що малі концентрації йонів Pb^{2+} можуть відігравати функцію мікродобрива. Проте подальше зростання концентрації призводить до помітного пригнічення багатьох фізіологічних процесів, насамперед, реакцій рослин, пов'язаних із ростом. Разом із тим, можна припустити, що отримані результати пов'язані із низькою амплітудою зміни концентрації йонів Pb^{2+} . Це обумовлено тим, що загальноприйняті ГДК

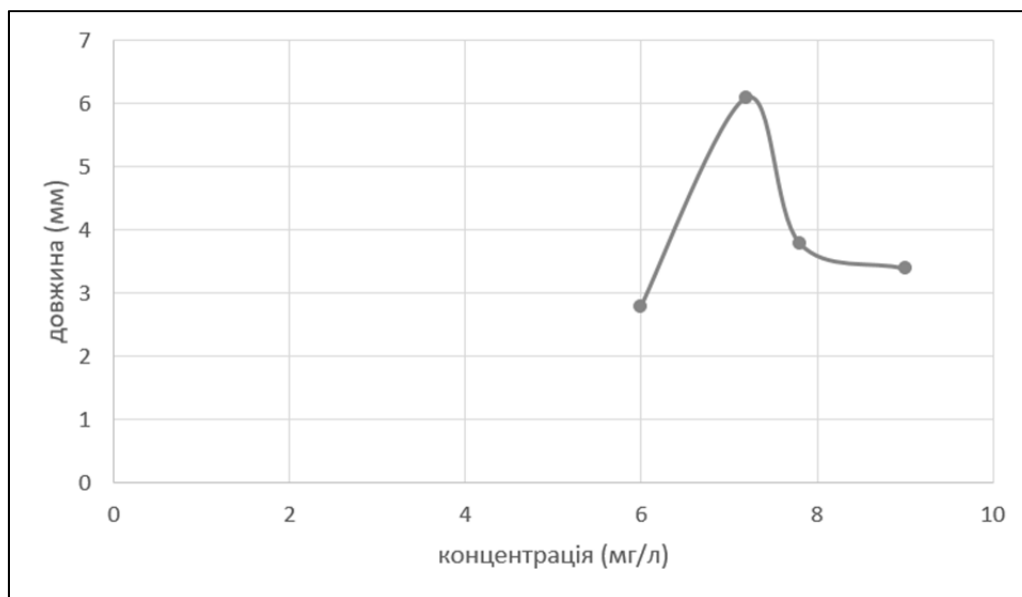


Рис. 2. Зміна середньої довжини первинного кореня із збільшенням концентрації йонів свинцю Pb^{2+}

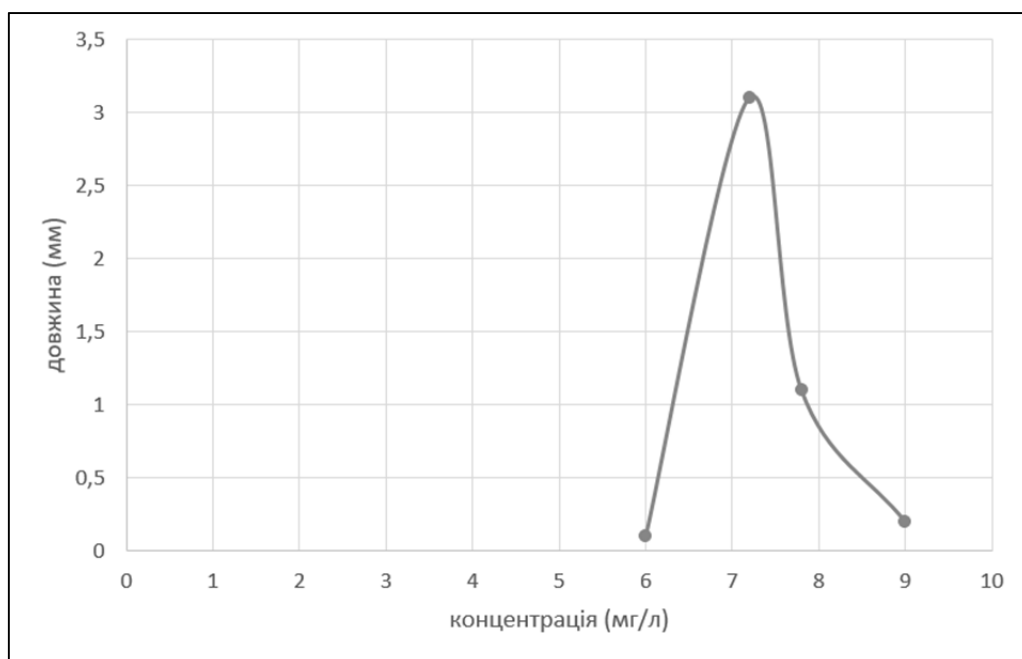


Рис. 3. Зміна мінімальної довжини первинного кореня із збільшенням концентрації йонів свинцю Pb^{2+}

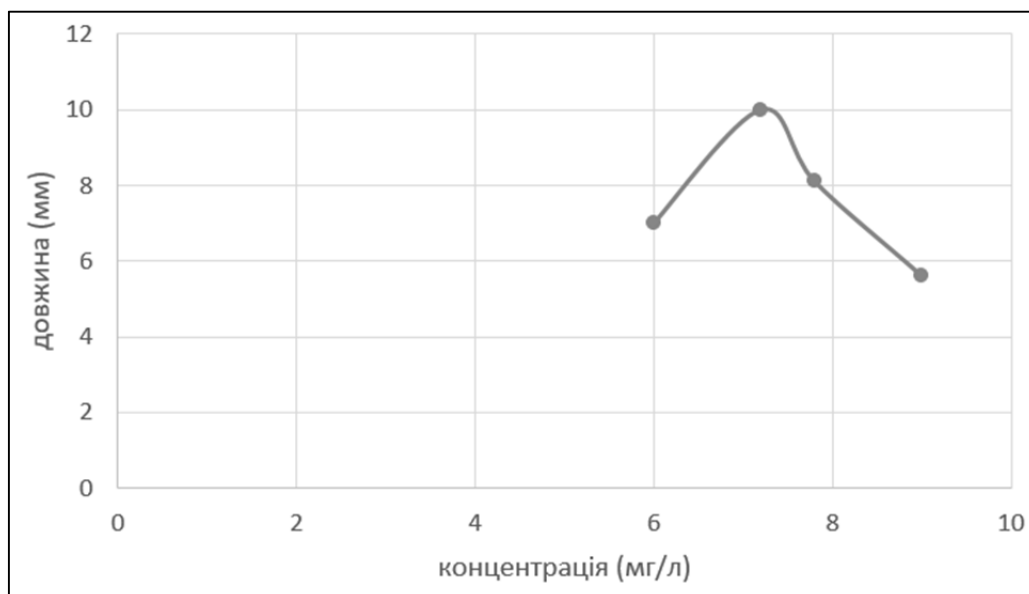


Рис. 4. Зміна максимальної довжини первинного кореня із збільшенням концентрації іонів свинцю Pb^{2+}

не співпадають із правим песимумом для насіння та молодих паростків пшениці.

Щодо первинного паростка, то його довжина виходить за межі моделі нормального розподілу, який описується типовою кривою Гауса (див. рис. 5–7). У ході експерименту було зафіксовано помітне зменшення довжини паростка, середнє значення його довжини знижується до 2,1 мм. Так, при дії на насінини розчинів з концентрацією іонів Pb^{2+} 7,2 мг/л його довжина стано-

вила 5,2 мм, а з концентрацією 9 мг/л – 5,5 мм (див. рис. 5). Мінімальне значення довжини первинного паростка виходить за межі моделі нормального розподілу більш м'яко. Також було відмічено помітне пікове зростання довжини паростка – від 2,2 мм при концентрації 7,2 мг/л до 0,3 мм при концентрації 7,8 мг/л (див. рис. 6). Максимальне значення довжини первинного паростка знижується до 4,8 мм за концентрації 7,8 мг/л і 9,6 мм за концентрації

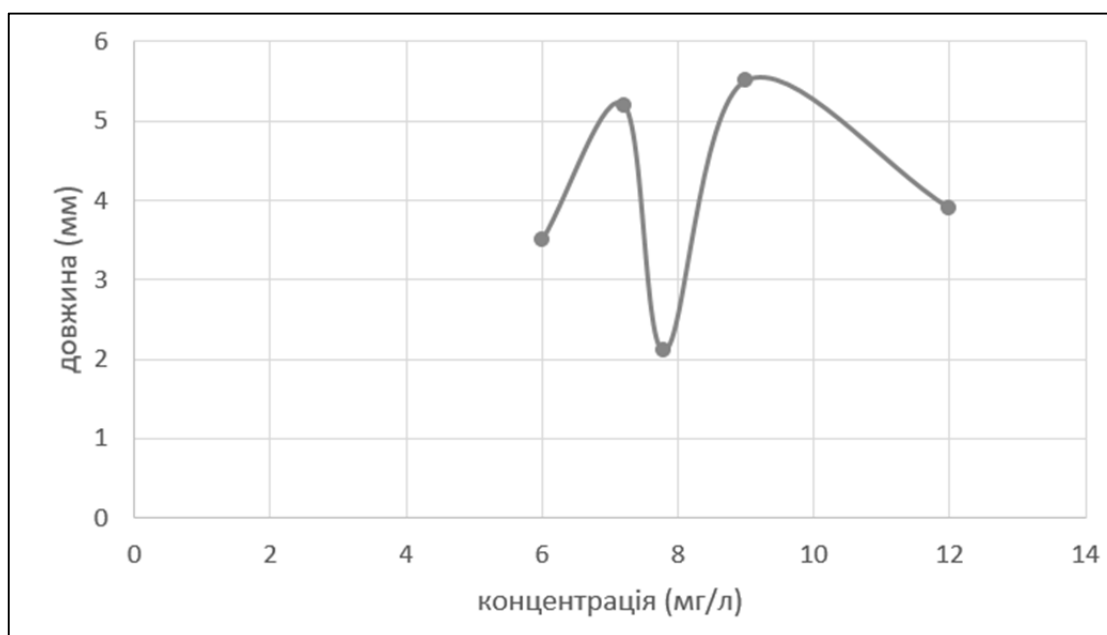


Рис. 5. Зміна максимальної довжини первинного пагона із збільшенням концентрації іонів свинцю Pb^{2+}

7,2 мг/л та 9 мг/л (див. рис. 6). Можна припустити, що в поставленому експерименті з концентрацією 7,8 мг/л відбувся непрогнозований збій, що вплинув на особливості росту первинних паростків, але при цьому не вплинув на ріст первинного кореня.

Обговорення

Реакція насіння на різні екологічні фактори, в тому числі на концентрацію різних хімічних речовин, є добрим та зручним біо-

індикатором. Проростання насіння супроводжується великим числом ферментних та фітогормональних реакцій, розгортання яких знаходиться під впливом навколишнього середовища. Отже, процес проростання насіння буде основною для встановлення життєвості групи організмів в цілому (Хом'як і Орловська, 2009).

Можна припустити, що такі неоднозначні результати експерименту обумовлені низь-

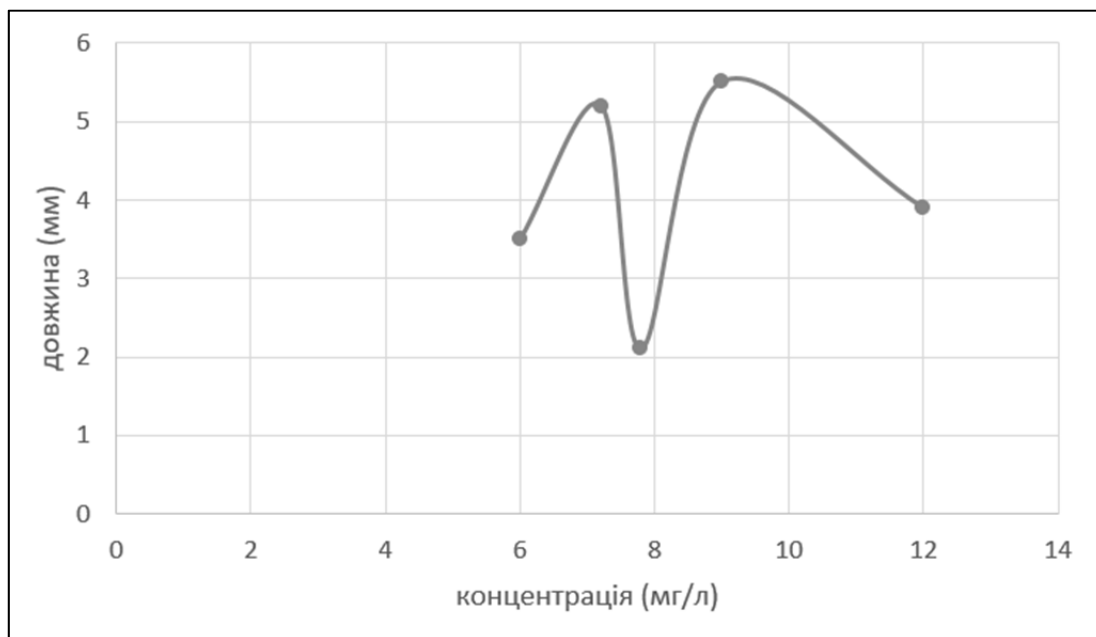


Рис. 6. Зміна максимальної довжини первинного пагона із збільшенням концентрації іонів свинцю Pb²⁺

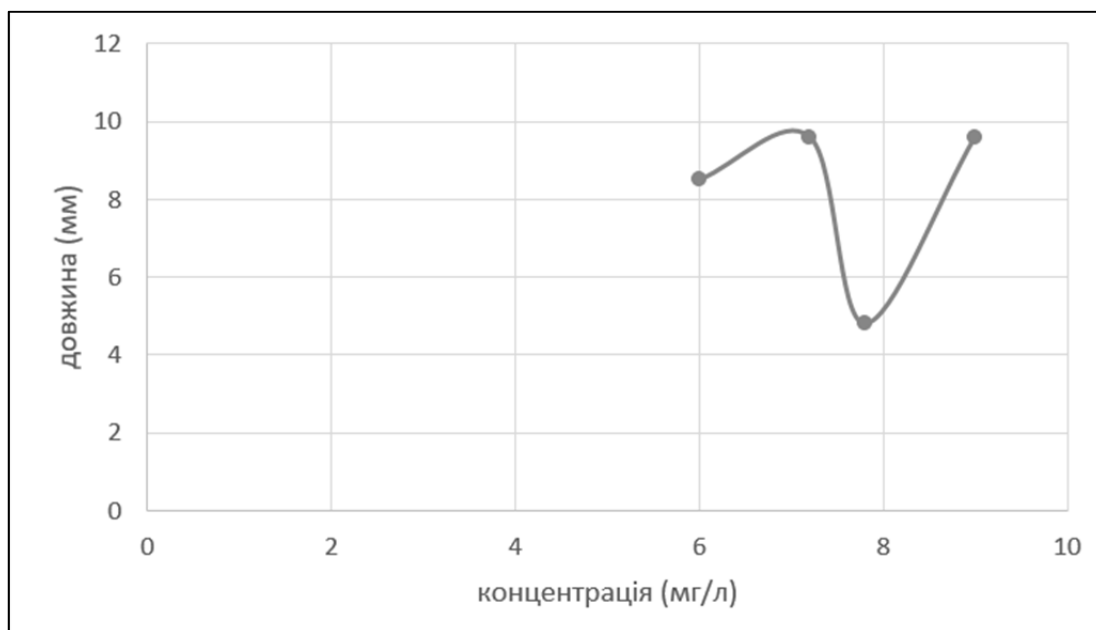


Рис. 7. Зміна максимальної довжини первинного пагона із збільшенням концентрації іонів свинцю Pb²⁺

кими концентраціями розчинів йонів Pb^{2+} . Це пояснюється тим, що загальноприйняті ГДК не співпадають із правим песимумом для насіння та молодих паростків пшениці. Значення ГДК розраховуються із позиції шкідливості для ефективності функціонування систем органів та здоров'я людини (споживача) в цілому, тоді як опосередкований вплив того чи іншого шкідливого фактора на інші живі організми, в тому числі ті, які вживаються та використовуються людиною, не враховується (Alpatova et al., 2022).

Дослідження впливу забруднення ґрунту важкими металами на посівні якості насіння мають бути продовжені із використанням як об'єктів інших культур та сортів, а також із іншими забруднюючими речовинами. Також перспективним є додавання в ґрунти чи корми тварин детергентів, які зв'язуватимуть йони важких металів. (Бурлака та ін., 2007; Давидов та ін., 2011; Бурлака та ін., 2013).

Висновки

Встановлено, що при дії на насіння озимої пшениці сорту «Ювілейна» розчинів із концентраціями йонів Pb^{2+} в діапазоні 6–12 мг/л не спостерігається критичного токсичного впливу на процеси проростання. Насіння цього сорту пшениці реагує на такі концентрації Pb^{2+} типовими

змінами, що стосуються тільки окремих фізіологічних функцій, які супроводжують його проростання.

Динаміка зміни довжини первинного кореня описується математичною моделлю, що наближена до кривої Гауса та відповідає закону оптимуму. Екологічний оптимум на стадії початку проростання насіння спостерігається при концентрації йонів Pb^{2+} 7,2 мг/л. В зоні оптимуму середня довжина первинного кореня досягає 6,1 мм, мінімальна – 3,1 мм, а максимальна – 10 мм. Динаміка довжини первинного паростка не показує алогічної закономірності.

Загальноприйняті ГДК не відповідають правому песимуму для насіння та молодих перших паростків озимої пшениці сорту «Ювілейна». Це можна пояснити тим, що визначені законодавством гранично допустимі концентрації розраховано з точки зору безпеки для здоров'я споживача і не враховують вплив на організми їжі, яку споживають.

Отримані результати вказують на необхідність широкого спектру подальших досліджень впливу вищих концентрацій йонів Pb^{2+} на різноманітні фізіологічні процеси організмів, інтенсивність росту і розвитку різних сільськогосподарських культур на різних етапах їхнього онтогенезу.

Список використаної літератури

- Бурлака В.А., Хом'як І.В. та ін. Екологія детергентів. Житомир : Рута, 2007. 64 с.
- Бурлака В.А., Хом'як І.В., Туманов В.В. Отримання екологічно безпечної індукції з використанням природних детергентів. *Біологічні дослідження – 2013* : зб. наук. пр. Житомир, 2013. С. 86–89.
- Давидов Е.А., Бурлака В.А., Хом'як І.В. Санітарно-ветеринарні показники свинини при використанні детергентів *Молоді вчені у вирішенні проблем виробництва і переробки продукції тваринництва*. зб. наук. пр. Вінниця, 2011. С. 117–118.
- Набиванець Б.І., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища : підручник. Київ : Либідь, 1996. 304 с.
- Пшениця Ювілейна 100 від Державна наукова установа Краснодарський науково-дослідний інститут сільського господарства ім. П.П. Лук'яненка. [Електронний ресурс]. URL: <https://superagronom.com/nasinnya-pshenicya-ozima/yuvileyna-100-id9783> (дата звернення 28.11.2023).
- Хом'як І.В. Історія екології : навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2023. 310 с.
- Хом'як І.В. Втрати екосистемних послуг і встановлення розміру збитків завданих війною. *Вплив воєнних дій на довкілля в Україні та його відновлення до природного стану*. Матеріали слухань у Комітеті Верховної Ради України з питань екологічної політики. Київ, 2023. С. 71–75.
- Хом'як І.В., Орловська О.А. Вплив алунітів на процеси проростання насіння пшениці Сорту «Поліська 90». *Сучасні проблеми екології та геотехнологій*. зб. наук. пр. Житомир, 2009. С. 271–272.
- Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Хом'як І.В., Кірейцева, Г.В. Моделювання динаміки водних і прибережно-водних рослинних угруповань у пост-мілітарних умовах. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 2. С. 47–55.

Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun. *Kyiv region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment Monitoring – 2022*. Kyiv, 2022. P. 188342.

Anatoly V. Skalny, Michael Aschner, Igor P. Bobrovnitsky, Pan Chen, Aristidis Tsatsakis, Monica M.B. Paoliello, Aleksandra Buha Djordevic, Alexey A. Tinkov. Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*. 2021, Volume 201, P. 111568.

Atiyeh B.S., Gunn S.W., Hayek S.N. Military and Civilian Burn Injuries During Armed Conflicts. *Annals of Burns and Fire Disasters*. Vol. 20. № 4. P. 203–215.

Fernandez-Lopez C., Posada-Baquero R., & Ortega-Calv, J. J. Nature-based approaches to reducing the environmental risk of organic contaminants resulting from military activities. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 843, P. 157007.

Malacea Ion Arch. Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol*. 2003 vol. 65. № 1, P. 79–92.

Putin could face new war crime case as evidence suggests starvation of Ukraine was pre-planned. *The Independent*. 16 November 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/putin-grain-theft-ukraine-russia-latest-b2447644.html> (access date 28.11.2023)

Yanovska E.S. Tertykh V.A. Kichkiruk O.Yu., Dadashev A.D. Adsorption and Complexing Properties of Silicas with Analytical Reagents Grafted via the Mannich Reaction., *Adsorption Science and Technology*. 2007. Vol. 25 №1 P. 81–87.

References (translated & transliterated)

Burlaka, V.A., & Khomiak, I.V. (ed) (2007). *Ekolohiia deterhentiv* [Ecology of detergents]. Zhytomyr : Ruta [in Ukrainian].

Burlaka, V.A., Khomiak, I.V., & Tumanov, V.V. (2013). Otrymannia ekolohichno bezpechnoi indychatyny z vykorystanniam pryrodnykh deterhentiv. [Obtaining environmentally safe induction using natural detergents]. *Zbirnyk naukovykh prats "Biologichni doslidzhennia – 2013"* [Collection of scientific works "Biological research – 2013"]. Zhytomyr, pp. 86-89 [in Ukrainian].

Davydov, E.A., Burlaka, V.A., & Khomiak, I.V. (2011). Sanitarno-veterynarni pokaznyky svynyny pry vykorystanni deterhentiv [Sanitary and veterinary indicators of pork when using detergents]. *Molodi vcheni u vyrishenni problem vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva* [Young scientists in solving problems of production and processing of livestock]. Vynnytsia, pp. 117–118 [in Ukrainian].

Nabyvanets, B.Y., Sukhan, V.V., & Kalabina, L.V. (1996). *Analychna khimiia pryrodnoho sere-dovyshcha: Pidruchnyk* [Analytical chemistry of the natural environment: Textbook]. Kyiv : Lybid, [Lybid] [in Ukrainian].

Pshenytsia Yuvileina 100 vid Derzhavna naukova ustanova Krasnodarskyi naukovy-doslidnyi instytut silskoho hospodarstva im. P.P. Lukianenka. [Whea Yuvileyna 100 from State Scientific Institution Krasnodar Research Institute of Agriculture named after P.P. Lukyanenko]. [Electronic resource] URL: <https://superagronom.com/nasinnya-pshenicya-ozima/yuvileyna-100-id9783> (access date 28.11.2023) [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2023). *Istoriia ekolohii: navchalnyi posibnyk* [History of ecology: a study guide]. Zhytomyr : Vyd-vo ZhDU im. I. Franka, [Publishing house of the Ivan Franko State University] [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2023). Vtraty ekosystemnykh posluh i vstanovlennia rozmiru zbytkiv zavdanykh viinoiu. [Losses of ecosystem services and determining the extent of damage caused by w]. *Materialy slukhan u Komiteti Verkhovnoi Rady Ukrainy z pytan ekolohichnoi polityky na temu: «Vplyv voienykh dii na dovkillia v Ukraini ta yoho vidnovlennia do pryrodnoho stanu»* [Materials of hearings in the Committee of the Verkhovna Rada of Ukraine on environmental policy on the topic: «The impact of military operations on the environment in Ukraine and its restoration to a natural state»]. Kyiv, pp. 71–75 [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., & Orlovska, O.A. (2009). Vplyv alunitiv na protsesy prorostannia nasinnia pshe-nytsi Sortu «Poliska 90». [The influence of alunites on the processes of germination of wheat seeds of the «Poliska 90»]. *Suchasni problemy ekolohii ta heotekhnolohii* [Modern problems of ecology and geotechnology]. Zhytomyr, pp. 271–272 [in Ukrainian].

Tsyhanenko-Dziubenko, I.Yu., Khomiak, I.V., & Kireitseva, H.V. (2023) Modeliuvannia dynamiky vodnykh i pryberezhno-vodnykh roslynnykh uhrupovan u post-militarnykh umovakh. [Modeling the dynamics of aquatic and coastal aquatic plant communities in post-military conditions]. *Problemy khimiyi ta staloho rozvytku [Problems of chemistry and sustainable developmen]*, 2, 2, 47–55 <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-7> [in Ukrainian].

Alpatova, O., Maksymenko, I., Patseva, I., Khomiak, I., & Gandziura, V. (2022). Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun. *Kyiv region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment Monitoring – 2022*. Kyiv, 188342 <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580145> [in English].

Anatoly V. Skalny, Michael Aschner, Igor P. Bobrovnitsky, Pan Chen, Aristidis Tsatsakis, Monica M.B. Paoliello, Aleksandra Buha Djordevic, Alexey A. Tinkov. (2021). Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*, 201, 111568 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111568> [in English].

Atiyeh, B.S., Gunn, S.W., & Hayek, S.N. (2007). Military and Civilian Burn Injuries During Armed Conflicts. *Annals of Burns and Fire Disasters*, 20 (4), 203–215 [in English].

Fernandez-Lopez, C., Posada-Baquero, R., & Ortega-Calv, J.J. (2022). Nature-based approaches to reducing the environmental risk of organic contaminants resulting from military activities. *Science of The Total Environment*, 843, 157007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157007> [in English].

Malacea Ion Arch (2003). Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol*, 65 (1), 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157007> [in English].

Putin could face new war crime case as evidence suggests starvation of Ukraine was pre-planned. [Electronic resource] URL: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/putin-grain-theft-ukraine-russia-latest-b2447644.html> (access date 28.11.2023) [in English].

Yanovska, E.S., Tertykh, V.A., Kichkiruk, O.Yu., & Dadashev, A.D. (2007). Adsorption and Complexing Properties of Silicas with Analytical Reagents Grafted via the Mannich Reaction., *Adsorption Science and Technology*, 25 (1), 81-87 <https://doi.org/10.1260/026361707781485726> [in English].

Отримано: 04.12.2023
Прийнято: 15.12.2023



УДК 631/635:631.95:631.452

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.9>

АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕНЕРГОПОТЕНЦІАЛУ ҐРУНТІВ

В. О. Пінчук¹, Ю. В. Подоба²

Енергетична оцінка різних технологій виробництва продукції рослинництва і систем землеробства є актуальною, бо дозволяє провести аналіз складного процесу на основі застосування зведених даних, та порівняти різні процеси або етапи виробництва за уніфікованим розрахунковим показником або коефіцієнтом. Вона полягає у визначенні співвідношення енергетичних витрат на виробництво продукції рослинництва до кількості отриманої енергії з урожаєм на рівні агроєко-систем. Технологію виробництва доцільно вважати ефективною, якщо коефіцієнт енергетичної ефективності вище 1, оскільки вихід валової енергії перевищує витрачену сукупну непоновлювану енергію. Основною ідеєю цієї роботи є проведення агроєкологічної оцінки наслідків ведення сучасного землеробства впродовж тривалого часу на основі зміни енергопотенціалу ґрунтів як голо-вного засобу сільськогосподарського виробництва. Актуальність проведення агроєкологічних дослі-джень і представлених результатів полягає у визначенні витрат енергії ґумусу як природного резерву і ресурсу для формування і збереження енергопотенціалу ґрунтів України у процесі ви-рощування сільськогосподарських культур. Визначено баланс ґумусу орного шару ґрунту, валову енергію, накопичену господарсько-цінною частиною врожаю основних сільськогосподарських куль-тур, зміну енергоємності ґрунту за вмістом органічного вуглецю і кількість ґною, енергетично еквівалентну показнику зниження енергоємності ґрунту впродовж 1990–2021 рр. в масштабах країни і адміністративних областей. Запропоновано інформативний показник, що характеризує агроєкологічну ефективність землеробства – коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю культур (КДег). Це відношення зміни енергоємності ґрунту до валової енергії урожаю досліджених культур, включаючи основну і побічну продукцію рослинництва, виражене у %. Також окремо виділено енергію основної і побічної продукції рослин, що виноситься з ґрунту. Встановлено, що нині у більшості регіонів України виробництво продукції рослинництва є

¹ кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії екології тваринництва (Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: pinchuk_vo@ukr.net

ORCID: 0000-0003-1000-7946

² кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник лабораторії екології тваринництва (Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: yurpo@ukr.net

ORCID: 0000-0003-1000-7946

неефективним у контексті збереження енергопотенціалу ґрунту. Впродовж 2000–2021 рр. енергоємність ґрунтів в Україні щорічно знижується на 11,0–39,9 ГДж/га. Лише в 1990 р. виявлено позитивний баланс гумусу – 115,8 кг/га, або в енергетичному еквіваленті – 2,5 ГДж/га. Виявлено негативне значення $K\Delta_{eg}$ на формування урожаю досліджених культур в усіх адміністративних областях України. Найнижчий показник у Чернігівській (–48%), Житомирській (–45%) та Івано-Франківській (–39%) обл. Кількість гною, яка енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунтів, на одиницю площі становить 26,3–95,0 т/га/рік.

Ключові слова: аграрне виробництво, баланс гумусу, енергоємність ґрунту, валова енергія урожаю, коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунтів, гній.

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF ENERGY POTENTIAL OF SOILS

V. O. Pinchuk, Yu. V. Podoba

The energy assessment of various technologies for the production of crop products and agricultural systems is relevant, because it allows to conduct an analysis of a complex process based on the application of aggregated data, and to compare different processes or stages of production according to a unified calculation indicator or coefficient. It consists in determining the ratio of energy costs for the production of plant products to the amount of energy obtained with the harvest at the level of agroecosystems. The production technology should be considered effective if the energy efficiency ratio is higher than 1, since the output of gross energy exceeds the total non-renewable energy consumed. The main idea of this work is to carry out an agroecological assessment of the consequences of conducting modern agriculture for a long time based on the change in the energy potential of soils as the main means of agricultural production. The relevance of conducting agroecological research and the presented results is to determine the energy consumption of humus as a natural reserve and resource for the formation and preservation of the energy potential of the soils of Ukraine in the process of growing agricultural crops. The humus balance of the arable soil layer, the gross energy accumulated by the economically valuable part of the harvest of the main agricultural crops, the change in the energy intensity of the soil according to the content of organic carbon and the amount of manure, energetically equivalent to the indicator of the decrease in the energy intensity of the soil during 1990–2021 on the scale of the country and administrative regions, were determined. An informative indicator that characterizes the agroecological efficiency of farming is proposed – the coefficient of change in the energy potential of the soil in relation to the formation of crop yields ($K\Delta_{eg}$). This is the ratio of the change in the energy capacity of the soil to the gross energy of the crop of the studied crops, including the main and by-products of crop production, expressed in %. Also, the energy of the main and secondary products of plants, which is removed from the soil, is separately allocated. It has been established that currently in most regions of Ukraine, the production of crop products is ineffective in the context of preserving the energy potential of the soil. During 2000–2021, the energy density of soils in Ukraine decreases annually by 11.0–39.9 GJ/ha. Only in 1990, a positive balance of humus was found – 115.8 kg/ha, or in energy equivalent – 2.5 GJ/ha. The negative value of $K\Delta_{eg}$ on the formation of the crop of the studied crops was revealed in all administrative regions of Ukraine. The lowest rate is in Chernihiv (–48%), Zhytomyr (–45%) and Ivano-Frankivsk (–39%) regions. The amount of manure, which is energetically equivalent to the indicator of the decrease in energy intensity of the soils per unit area, is 26.3–95.0 t/ha/year.

Key words: agricultural production, humus balance, soil energy capacity, gross crop energy, coefficient of change of soils energy potential, manure.

Вступ

Енергетична оцінка у землеробстві – це оцінка витрат природної і штучної енергії на виробництво продукції рослинництва та кількості отриманої енергії з урожаем, вираженої у джоулях або калоріях. До основних витрат штучної енергії слід віднести витрати енергії палива і електроенергії, які задіяні у виробничому процесі – механічна обробка ґрунту, внесення добрив, хімікатів та інших матеріалів, посів і збирання урожаю куль-

тур. Основним показником природних витрат енергії є енергоємність ґрунтів – кількість енергії органічної речовини, яка міститься в одиниці об'єму і є комплексним показником їх еколого-енергетичного стану. Технологію виробництва доцільно вважати ефективною, якщо коефіцієнт енергетичної ефективності вище 1, оскільки вихід валової енергії урожаю перевищує витрачену сукупну непоновлювану енергію (Тараріко та ін., 2012; Компанієць та ін., 2014).

Зміна енергоємності ґрунтів визначається на основі балансу гумусу, втрати якого є тим фактором, який примушує внести суттєві корективи в оцінку енергетичної ефективності технологій виробництва продукції рослинництва і в оцінку систем землеробства. Відомо, що в гумусі зосереджена основна частина енергії біогеоценозу. В шарі чорнозему 0–100 см запас енергії в гумусі складає 96% запасу енергії ґрунту (Кардашов і Шудренко, 1998).

Унікальність ґрунтів полягає в тому, що вони є надійним, екологічно безпечним джерелом поновлювальної енергії, яка в процесі сільськогосподарського виробництва зв'язується рослинами завдяки фотосинтезу. За раціонального використання земельних ресурсів значною мірою можна компенсувати дефіцит енергетичного балансу держави. Однак, нині, внаслідок інтенсивного використання родючості ґрунтів, а саме – неконтрольованого зменшення вмісту органічної речовини і біогенних елементів, землі сільськогосподарського призначення виснажуються, що супроводжується зниженням їхньої продуктивності та енергетичного потенціалу агроєкосистем (Кірілеско, 2019).

Однією із причин зменшення органічної речовини в ґрунтах України є низький рівень використання органічних добрив у землеробстві (Pinchuk et al., 2022).

Відома теза про збитковість сучасного тваринництва не враховує користі від унесення гною (посліду) у ґрунти. Органічний нітроген є важливим елементом процесу гумусоутворення у ґрунті. Разом з гноєм до ґрунту надходять і бактерії, роль яких не менша за удобрювальні речовини (Волкогон та ін., 2019).

Нині більшість земель в Україні використовуються для вирощування сільськогосподарських культур – щорічно виробляється до 85 млн т зерна, переважно пшениці, кукурудзи, ячменю, соняшнику, сої, ріпаку, тоді як тваринництво недостатньо розвинене і загалом впродовж останніх 30 років відбувається значне зниження загального поголів'я сільськогосподарських тварин. За даними Державної служби статистики впродовж 1990–2021 рр. поголів'я ВРХ знизилося у 9,3 раз, свиней – у 3,5 і птиці – у 1,2 раз. Ці фактори змінюють баланс між винесенням органіки та поверненням її у ґрунт. Україна, яка є третім світовим експортером зерна у світі, експортує більше половини всієї вирощеної продукції, наприклад пшениці – 56,2% і кукурудзи – 66,3%. Органічні речовини в зерні, яке

йде на експорт, ми назавжди втрачаємо, без можливості повернення у ґрунт. Дисбаланс кругообігу органічної речовини спричиняє мінералізацію гумусу та підвищує викиди вуглекислого газу із сільськогосподарських угідь України до 63 млн т/рік.

Загалом більшість останніх вітчизняних наукових публікацій присвячено як правило енергетичному і економічному аналізу різних технологій виробництва продукції рослинництва і систем землеробства чи окремих їх складових на рівні агроєкосистем (Слюсар та ін., 2008; Чучвага і Халеп, 2014; Центило та ін., 2019).

Закордонні дослідження з енергетичної оцінки землеробства здебільшого висвітлюють окремі локальні теми з акцентом на аналіз питомих енергетичних витрат ресурсів, таких як паливо, електроенергія, добрива та ін., необхідних для виробництва визначеної кількості продукції рослинництва або тваринництва (Vourdoubas & Dubois, 2016; Manoj et al., 2022). Такі дослідження здебільшого характеризують обмежені часові інтервали, окремі культури та не враховують енергетичні втрати ґрунтів.

Основною ідеєю цієї роботи є проведення агроєкологічної оцінки наслідків ведення сучасного землеробства впродовж тривалого часу на основі зміни енергопотенціалу ґрунтів як головного засобу сільськогосподарського виробництва. Актуальність проведення агроєкологічних досліджень полягає у визначенні витрат енергії гумусу як природного резерву і ресурсу для формування і збереження енергопотенціалу ґрунтів України у процесі вирощування сільськогосподарських культур.

Матеріал і методи

Енергетичну оцінку землеробства України проведено на основі загальноприйнятих методичних підходів (Гавриш та ін., 2011; Тараріко та ін., 2012; Антипова, 2017).

Розраховували баланс гумусу, зміну енергоємності орного шару ґрунту (25 см), валову кількість енергії на формування урожаю культур, кількість енергії, винесеної із ґрунту і накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю пшениці, кукурудзи на зерно, сої, ріпаку, соняшнику, буяку цукрового, картоплі, овочів і баштанних культур та коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю досліджених культур (КДег) впродовж 1990–2021 рр. та на рівні адміністративних областей України (2021 р.).

Баланс гумусу визначали розрахунковим шляхом на основі результатів досліджень

щодо рівня мінералізації гумусу в Україні за використання міжнародних та вітчизняних методичних документів: Методологія і довідник складання азотних бюджетів Євростату та Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD), 2013; Керівництво з національних інвентаризацій парникових газів IPCC, 2006; Національний кадастр антропогенних викидів із джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні, 2022; ДСТУ ISO 14067:202_ (ISO 14067:2018, MOD); Методичні рекомендації з належної сільськогосподарської практики щодо скорочення втрат нітрогену у сільському господарстві, 2020 (Пінчук і Бородай, 2020).

Вихідні дані для розрахунків брали з електронного ресурсу Державної служби статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua>). Розрахунки і побудова картограм проводилися у середовищі програми MS Excel 2021.

Результати та обговорення

Впродовж 1990–2021 рр. виявлено негативний баланс гумусу у ґрунті за

виращування більшості досліджених сільськогосподарських культур. За даними Інституту охорони ґрунтів України середньозважений вміст гумусу на землях сільськогосподарського призначення за результатами агрохімічного обстеження земель впродовж 1986–1990 рр. становив 3,560%. За розрахунковими даними, впродовж останніх 31 року середній вміст гумусу на посівній площі досліджених культур (у середньому 45% від площі ріллі) сільськогосподарських підприємств України знизився до 2,734% в 2021 р. Найбільше зниження вмісту гумусу під посівами кукурудзи на зерно (–1,021%), буряку цукрового (–0,988%), і соняшнику (–0,544%) (рис. 1).

Негативний баланс гумусу за виращування досліджених культур у 2021 р. виявлено по всіх адміністративних областях України – від –0,024% до –0,090% (рис. 2).

Встановлено, що впродовж 2000–2021 рр. енергоємність ґрунтів в Україні щорічно

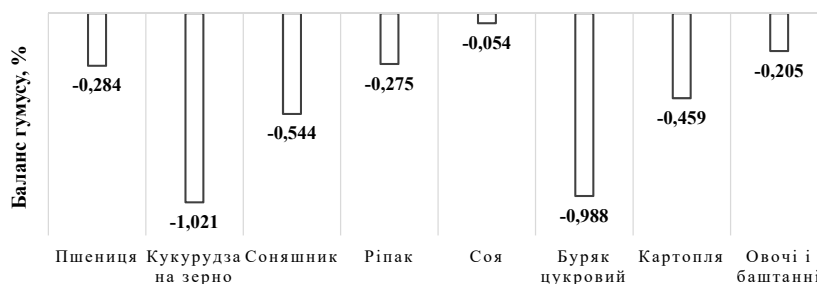


Рис. 1. Баланс гумусу орного шару ґрунту (25 см) під посівами сільськогосподарських культур підприємств України за 2010–2021 рр.

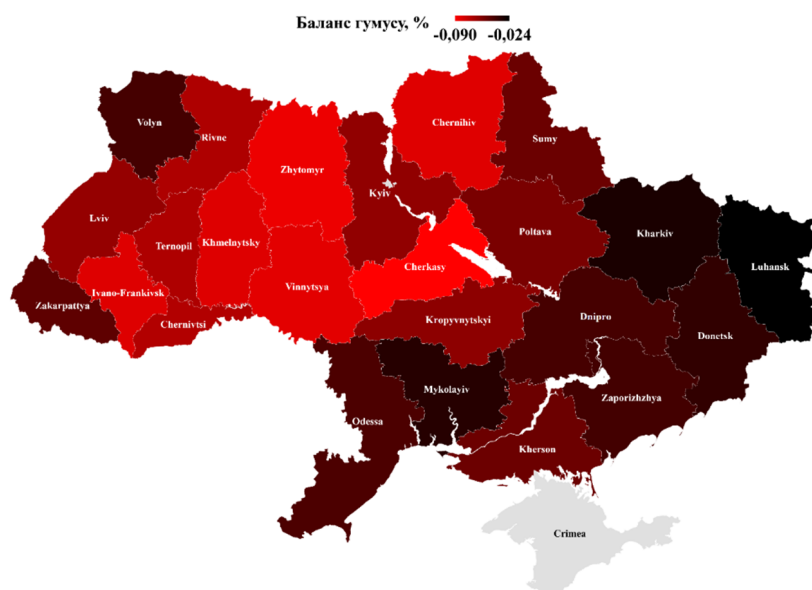


Рис. 2. Баланс гумусу орного шару ґрунту (25 см) під посівами с.-г. культур підприємств України за адміністративними обл. (2021 р.)

знижувалася на 11,0–39,9 ГДж/га. Лише в 1990 р. виявлено позитивний баланс гумусу – 115,8 кг/га, або в енергетичному еквіваленті – 2,5 ГДж/га (рис. 3).

Серед адміністративних областей за даними 2021 року енергоємність ґрунтів найінтенсивніше знижувалася у Чернігівській (–77,2 ГДж/га/рік), Житомирській (–67,4 ГДж/га/рік) та Івано-Франківській (–66,7 ГДж/га/рік) областей, менш інтенсивно – в Луганській (–15,3 ГДж/га/рік), Харківській (–21,8) і Миколаївській (–24,4 ГДж/га/рік) (рис. 4).

Розраховано валову енергію, накопичену господарсько-цінною частиною урожаю різ-

них груп сільськогосподарських культур на одиницю зібраної площі в Україні впродовж 1990–2021 рр. (рис. 5).

Встановлено, що за найвищим рівнем накопичення енергії з ґрунту впродовж 1990–2021 рр. відносно зібраної площі угідь, досліджені групи культур знаходяться у такому ранжируваному порядку (ГДж/га/рік): коренеплоди – 61–182, зернові – 33–100, овочі з баштанними – 10–74 і олійні – 21–48.

Визначено валову енергію, накопичену господарсько-цінною частиною урожаю усіх досліджених сільськогосподарських культур на одиницю зібраної площі за адміністративними областями України в 2021 році (рис. 6).

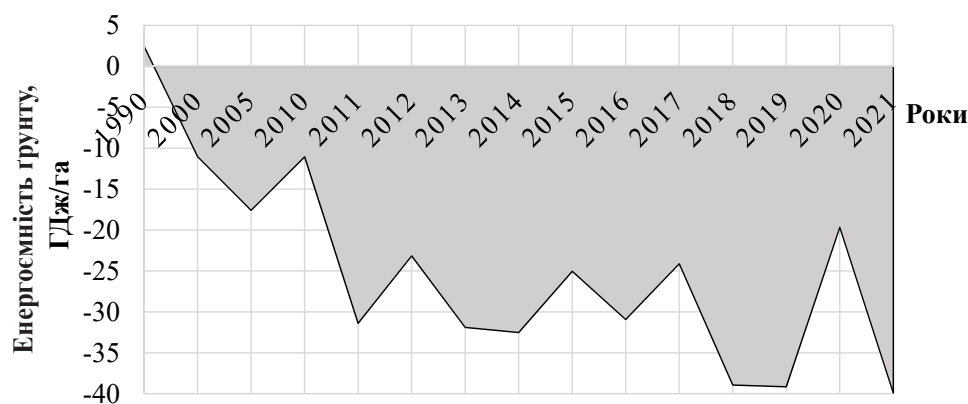


Рис. 3. Динаміка зміни енергоємності орного шару ґрунту в Україні (1990–2021 рр.)

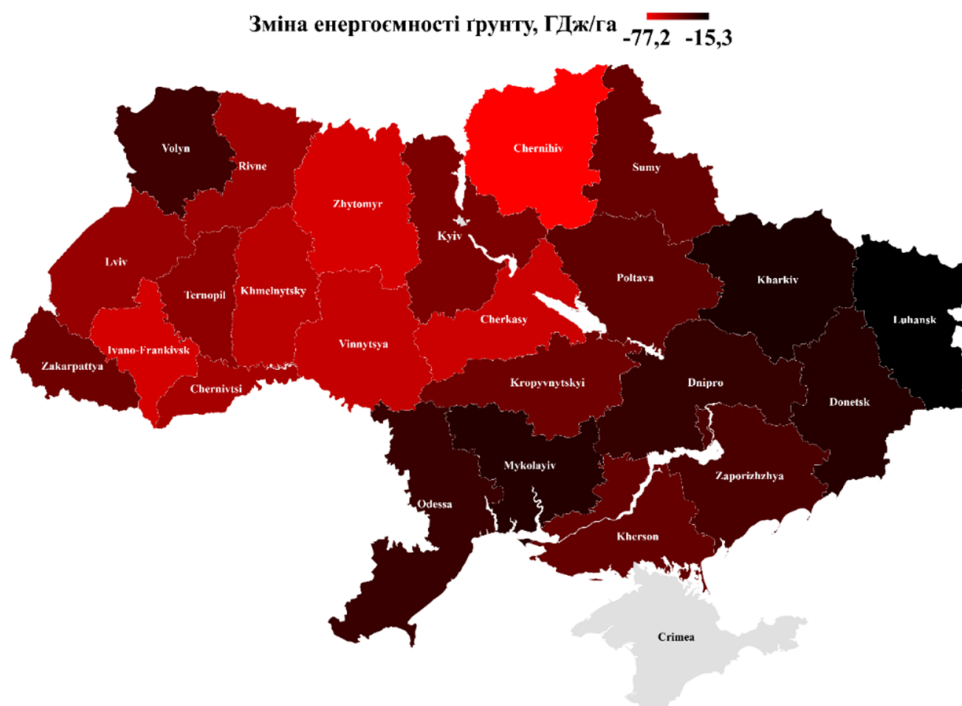


Рис. 4. Енергоємність орного шару ґрунту за адміністративними областями України (2021 р.)

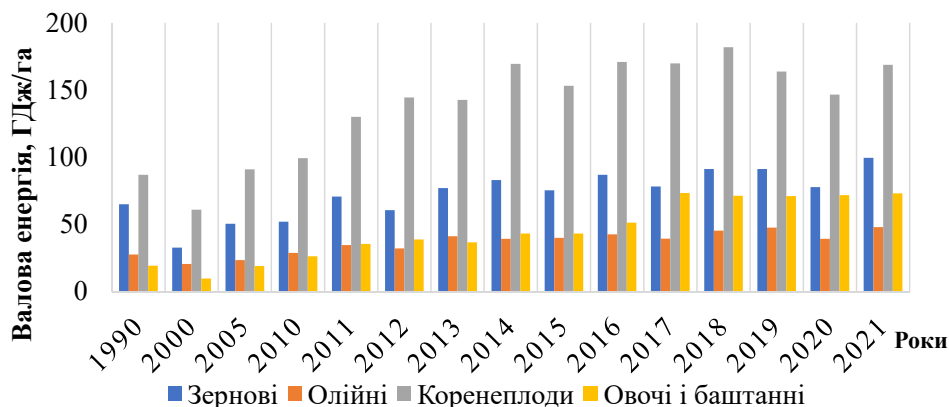


Рис. 5. Валова енергія, накопичена господарсько-цінною частиною урожаю різних груп с.-г. культур в Україні (1990–2021 рр.)

Показник валової енергії, накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю усіх досліджених культур має значні коливання за адміністративними областями України – 45–107 ГДж/га/рік. За найвищим рівнем енергії, накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю усіх досліджених культур, адміністративні області можна навести у такому ранжируваному порядку (ГДж/га/рік): Хмельницька – 107, Тернопільська – 105, Вінницька – 103. За найменшим рівнем (ГДж/га/рік): Луганська – 45, Донецька – 54, Запорізька – 55, що пов'язано з різними площами посіву окремих культур та рівнем їх урожайності.

Зміни енергопотенціалу ґрунту в енергобалансі агроєкосистеми відображає абсолютні величини накопичення або втрат поживних речовин і органічного вуглецю (Тараріко та ін., 2012). У зв'язку із цим пропонується інформативний показник, що характеризує агроєкологічну ефективність землеробства – коефіцієнт зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю досліджених культур (КДег). Це відношення зміни енергоємності ґрунту до валової енергії урожаю досліджених культур, включаючи основну і побічну продукцію рослинництва, виражене у %. Також окремо виділено енергію основної і побічної продукції рослин, що виноситься з ґрунту (рис. 7).

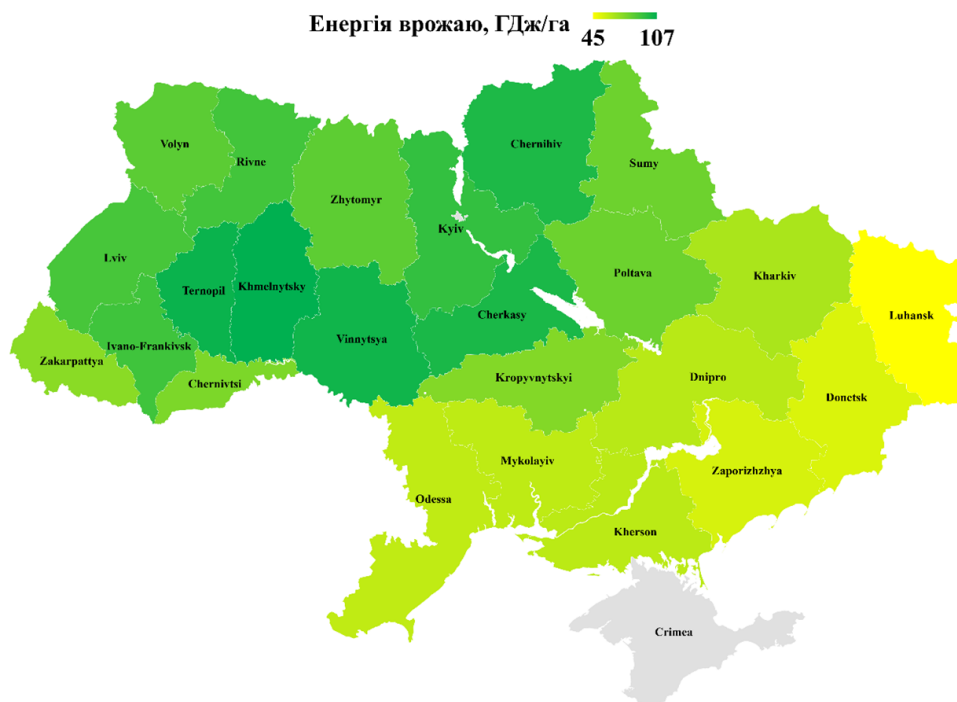


Рис. 6. Валова енергія, накопичена господарсько-цінною частиною врожаю досліджених культур за адміністративними областями України (2021 р.)

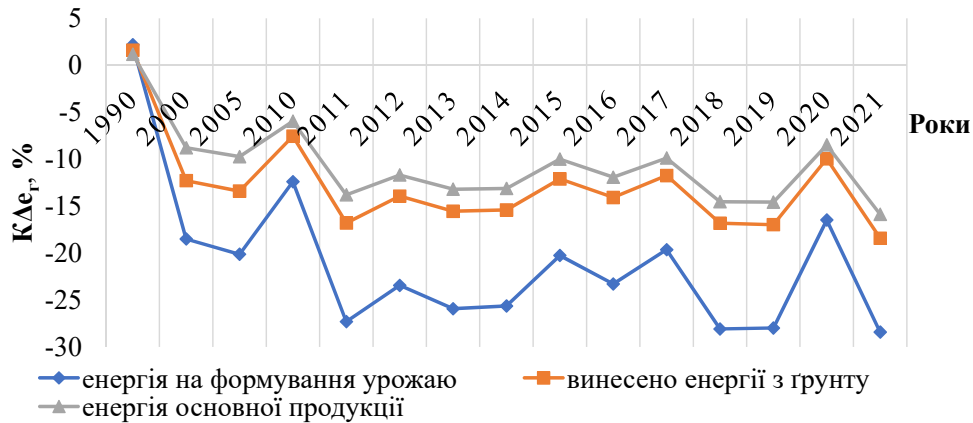


Рис. 7. Коефіцієнт зміни енергоємності ґрунту ($K\Delta e_r$) відносно формування урожаю досліджених культур (1990–2021 рр.)

Від’ємне значення $K\Delta e_r$ вказує на те, що виробництво продукції рослинництва призводить до прямопропорційного зниження рівня органічних речовин у ґрунті і відповідно зниження енергоємності ґрунту, тобто не відбувається відтворення родючості ґрунту. Така тенденція спостерігається в Україні з 2000 року. Наприклад, $K\Delta e_r$ на формування урожаю у 2021 р. = $-28,4\%$, тобто така кількість урожаю досліджених культур в енергетичному еквіваленті формується за рахунок зниження енергоємності ґрунту, частина

енергії урожаю – $18,4\%$ виноситься з ґрунту, у т.ч. $15,9\%$ з основною продукцією. Решта енергії урожаю – $12,6\%$ залишається у ґрунті із рослинними рештками.

Негативне значення $K\Delta e_r$ на формування урожаю досліджених культур спостерігається в усіх адміністративних областях України. Найнижчий показник виявлено у Чернігівській (-48%), Житомирській (-45%) та Івано-Франківській (-39%) обл. (рис. 8).

Враховуючи виявлені високі показники мінералізації гумусу і відповідно зниження

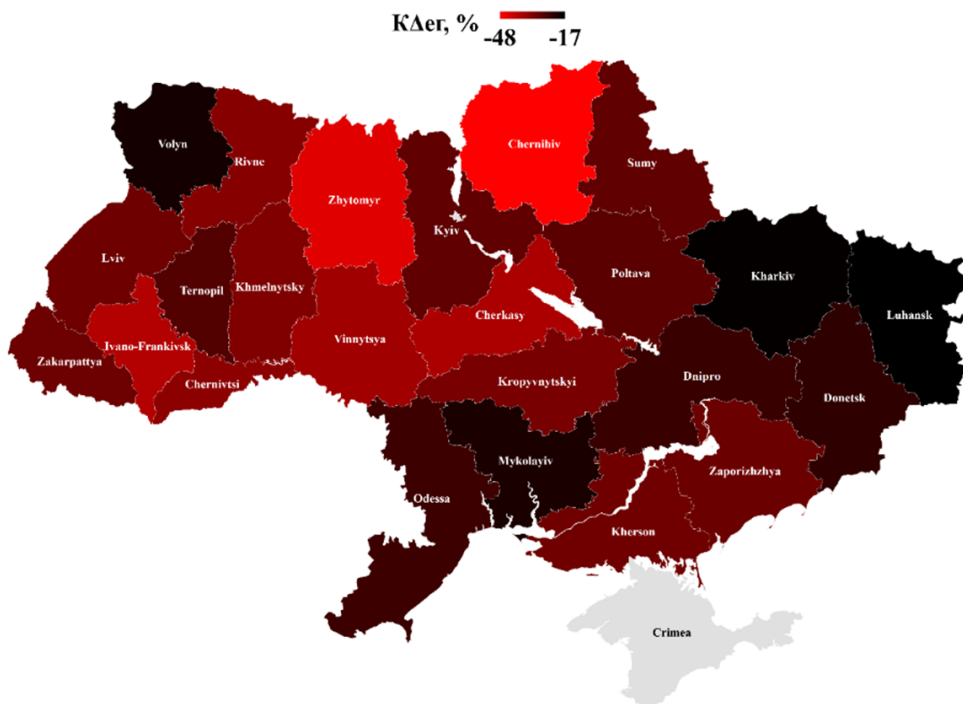


Рис. 8. Коефіцієнт зміни енергоємності ґрунту ($K\Delta e_r$) відносно формування урожаю досліджених культур за адміністративними областями України (2021 р.)

енергоємності ґрунту, необхідно також мати уявлення і про рівень органічних добрив, необхідних на відновлення початкового рівня енергоємності ґрунту. Тому визначено кількість гною, яка енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту на одиницю площі впродовж 2000–2021 рр. – 26,3–95,0 т/га/рік. Лише в 1990 р. виявлено позитивний баланс енергоємності ґрунту – 2,5 ГДж/га, що відпові-

дає енергетичному еквіваленту 5,9 т/га гною (рис. 9).

За адміністративними областями в 2021 р. найвищу кількість гною, енергетично еквівалентну показнику зниження енергоємності ґрунту, виявлено у Чернігівській (183,7 т/га), Житомирській (160,6) та Івано-Франківській (158,7 т/га) обл. Найменшу кількість – у Луганській (36,5 т/га), Харківській (51,9) і Миколаївській (58 т/га) обл. (рис. 10).

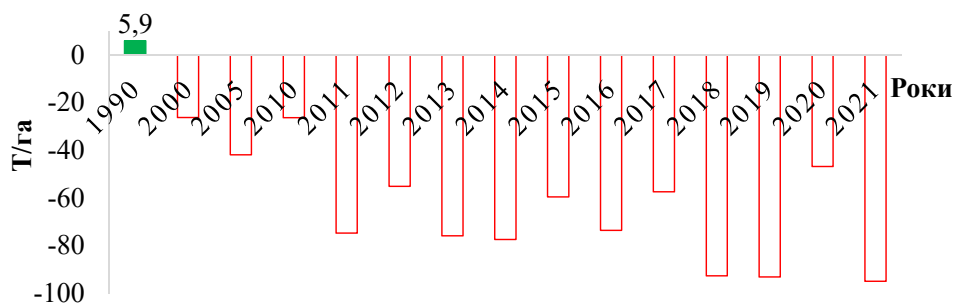


Рис. 9. Кількість гною, енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту (1990–2021)

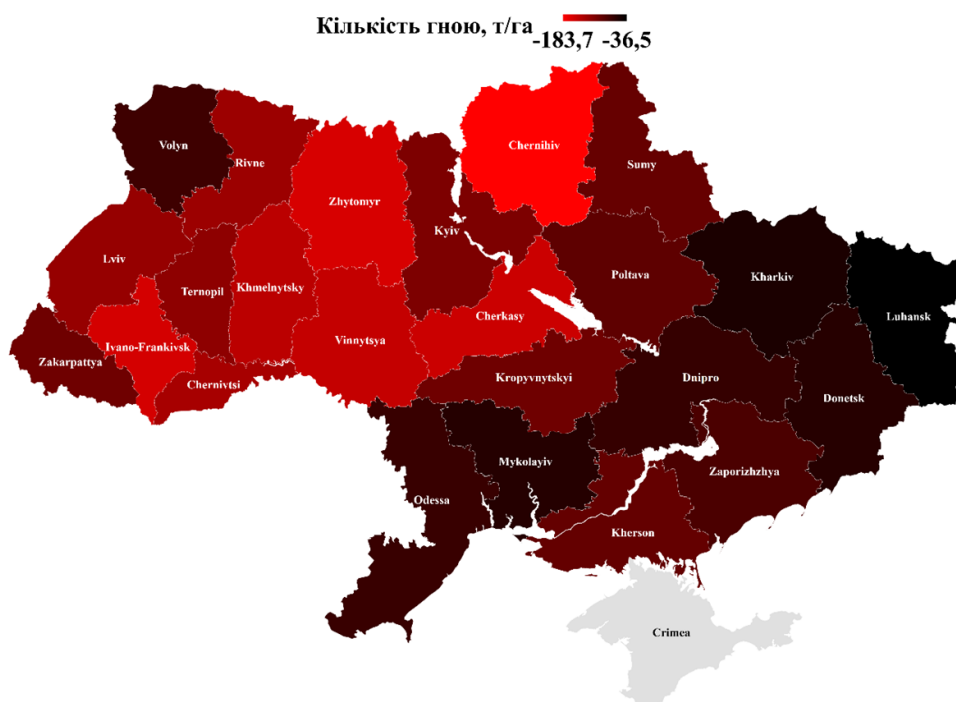


Рис. 10. Кількість гною, енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту за адміністративними областями України (2021 р.)

Висновки

1. Проаналізовано екологічні наслідки багаторічного ведення сучасного землеробства, зокрема за останні два десятиріччя виявлено зниження енергетичного потенціалу ґрунтів на основі комплексу показників – балансу гумусу, зміни енергоємності орного

шару ґрунту, валової енергії на формування урожаю різних культур та кількості енергії, винесеної із ґрунту господарсько-цінною частиною урожаю.

2. Встановлено, що впродовж 2000–2021 рр. енергоємність ґрунтів в Україні щорічно знижувалася на 11,0–39,9 ГДж/га,

а на рівні адміністративних областей України (2021 р.) – від –15,3 до –77,2 ГДж/га/рік.

3. Згідно запропонованого коефіцієнта зміни енергопотенціалу ґрунту відносно формування урожаю культур (KDe_r) встановлено, що нині 28,4% урожаю досліджених культур в енергетичному еквіваленті формується за рахунок зниження енергоємності ґрунту, 18,4% енергії урожаю виноситься з ґрунту, у т. ч. 15,9% з основною продукцією і 12,6% енергії урожаю залишається у ґрунті із рослинними рештками. Негативне значення KDe_r на формування урожаю досліджених культур спостерігається в усіх адміністративних областях України.

4. Показник валової енергії, накопиченої господарсько-цінною частиною урожаю досліджених культур має значні коливання за адміністративними областями України – 45–107 ГДж/га/рік: Хмельницька – 107, Тернопільська – 105, Вінницька – 103, Запорізька – 55, Донецька – 54, Луганська – 45. Така варіабельність даних вочевидь обумовлена різною потенційною родючістю ґрунтів, природно-кліматичними умовами

і кількістю опадів у різних природно-кліматичних зонах України.

5. Внаслідок зміни балансу речовин у ґрунті за останні два десятиліття в Україні, земля сільськогосподарського призначення щорічно, у середньому за дослідженими культурами, втрачає від 0,6 до 2,0 т/га (0,017–0,059 %) гумусу.

6. Встановлено, що нині у більшості регіонів України виробництво продукції рослинництва є таким, що спричиняє втрату частини енергопотенціалу ґрунту, і це відображається безпосередньо на родючості ґрунту. Для вирівнювання енергетичного балансу у ґрунті необхідно компенсувати втрати органіки та інших поживних речовин ґрунту, зокрема за рахунок внесення органічних добрив.

7. Аналіз енергетичного балансу ґрунтів дозволив розрахувати кількість гною, необхідного для компенсації втрати ґрунтом органічної речовини, що енергетично еквівалентна показнику зниження енергоємності ґрунту на одиницю площі – 26,3–95,0 т/га/рік.

Список використаної літератури

- Антипова Л.К. Кормовиробництво та лукивництво. Методичні рекомендації. Миколаїв: Миколаївський національний аграрний університет, 2017. 48 с.
- Гавриш В.І., Завірюха М.В., Пилип В.Є. Енергозберігаючі та екологічні технології в АПК. Методичні рекомендації. Миколаїв: Миколаївський державний аграрний університет, 2011. 67 с.
- Екологічні аспекти систем удобрення сільськогосподарських культур / В.В. Волкогон та ін.; за ред. В.В. Волкогона. Київ: Аграрна наука, 2019. 264 с.
- Кардашов А.Т., Шудренко І.В. Енергетичний баланс агроєкосистеми: проблеми теорії і практики. *Вісник ДААУ*. 1998. № 2. С. 39–43.
- Кірілеско О.Л. Ефективність систем удобрення у короткоротаційній сівозміні лісостепу західному України. *Корми і кормовиробництво*. 2019. № 87. С. 93–101. <https://doi.org/10.31073/kormovuyrobnytstvo201987-14>.
- Компанієць В.О., Желязков О.І., Кулик А.О. Методика енергетичної оцінки ефективності технологій виробництва зерна. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 6. С. 118–124. [Електронний ресурс] URL: <https://journal-grain-crops.com/uk//arhiv/view/594ba747947ff.pdf> (дата звернення 10.11.2023).
- Методика біоенергетичної оцінки систем землеробства / Ю.О. Тараріко та ін. Київ: ДІА, 2012. 33 с.
- Пінчук В.О., Бородай В.П. Методичні рекомендації з належної сільськогосподарської практики щодо скорочення втрат нітрогену у сільському господарстві; за наук. ред. О.І. Фурдичка. Київ: ДІА, 2020. 47 с.
- Слюсар І.Т., Левковська Г.В., Ткачов О.І. Енергетичний аналіз системи землеробства на меліорованих землях. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. 2008. Вип. 3–4. С. 56–61.
- Центило Л.В., Цюк О.А., Мельник В.І. Енергетична ефективність систем удобрення і обробітку ґрунту. *Біоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11. № 3–4. С. 90–96. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.010>.
- Чучвага І.Г., Халеп Ю.М. Економічна та енергетична ефективність застосування діазобактерину та мінеральних добрив у технології вирощування жита озимого. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Т. 19. С. 53–60. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.19.53-60>.

Manoj K.N., Shekara B.G., Sridhara S. et. al. Carbon Footprint Assessment and Energy Budgeting of Different Annual and Perennial Forage Cropping Systems: A Study from the Semi-Arid Region of Karnataka, India. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Is. 8. P. 1783. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081783>.

Pinchuk V., Tertychna O., Parfenyuk A. Use of nitrogen manure in agriculture of Ukraine and the European Union. *Conference of Ecosystems: Abstracts 12-th International Conference* (Chicago, June 3–5. 2022). Chicago, Illinois. USA, 2022. P. 55.

Vourdoubas J., Dubois O. Energy and agri-food systems: production and consumption. *Zero Waste in the Mediterranean: Natural Resources, Food and Knowledge. Mediterra 16*. Paris: Presses de Sciences Po, 2016. P. 155–174. [Електронний ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/362846600_ENERGY_AND_AGRIFOOD_SYSTEMS_PRODUCTION_AND_CONSUMPTION (дата звернення 10.11.2023).

References (translated & transliterated)

Antypova, L.K. (2017). Kormovyrobnytstvo ta lukivnytstvo. Metodychni rekomendatsiyi [Fodder production and onion cultivation. Guidelines]. Mykolaiv National Agrarian University [in Ukrainian].

Havrysh, V.I., Zaviryukha, M.V., & Pylyp, V.Ye. (2011). Enerhozberihayuchi ta ekolohichni tekhnolohiyi v APK. Metodychni rekomendatsiyi [Energy-saving and ecological technologies in agriculture. Guidelines]. Mykolaiv: Mykolaiv State Agrarian University [in Ukrainian].

Volkohon, V.V. (ed.) (2019). Ekolohichni aspekty system udobrennya sil's'kohospodars'kykh kul'tur [Ecological aspects of agricultural crop fertilization systems]. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].

Kardashov, A.T., & Shudrenko, I.V. (1998). Enerhetychnyy balans ahroekosystemy: problemy teorii i praktyky [Energy balance of the agroecosystem: problems of theory and practice]. *Visnyk Derzhavnoyi ahroekolohichnoyi akademiyi Ukrayiny* [Bulletin of the State Agroecological Academy of Ukraine], 2, 39–43 [in Ukrainian].

Kirilesko, O.L. (2019). Efektyvnist system udobrennya u korotkorotatsiyiniy sivozmini lisostepu zakhidnomu Ukrayiny [Effectiveness of fertilization systems in short-rotational crop rotation of the forest-steppe of western Ukraine]. *Kormy i kormovyrobnytstvo* [Fodder and fodder production], 87, 93–101. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201987-14> [in Ukrainian].

Kompaniyets', V.O., Zhelyazkov, O.I., & Kulyk, A.O. (2014). Metodyka enerhetychnoyi otsinky efektyvnosti tekhnolohiy vyrobnytstva zerna [Methodology of energy efficiency assessment of grain production technologies]. *Byuleten Instytutu sil's'koho hospodarstva stepovoyi zony NAAN Ukrayiny* [Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the National Academy of Sciences of Ukraine], 6, 118–124. [Electronic resource] URL: <https://journal-grain-crops.com/uk//arhiv/view/594ba747947ff.pdf> (access date 10.11.2023) [in Ukrainian].

Tarariko, Yu.O. (2012). Metodyka bioenerhetychnoyi otsinky system zemlerobstva [Methodology of bioenergy assessment of the agriculture systems]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].

Pinchuk, V.O., & Boroday, V.P. (2020). Metodychni rekomendatsiyi z nalezhnoyi sil's'kohospodars'koyi praktyky shchodo skorochennya vtrat nitrohenu u sil's'komu hospodarstvi [Guidelines for good agricultural practice to reduce nitrogen losses in agriculture]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].

Slyusar, I.T., Levkovs'ka, H.V., & Tkachov, O.I. (2008). Enerhetychnyy analiz systemy zemlerobstva na meliorovanykh zemlyakh [Energy analysis of the agriculture systems on reclaimed lands]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsional'noho naukovoho tsentru "Instytut zemlerobstva UAAN"* [Collection of scientific works of the National Scientific Center "Institute of Agriculture the Ukrainian Academy of Sciences"], 3–4, 56–61 [in Ukrainian].

Tsentylo, L.V., Tsyuk, O.A., & Mel'nyk, V.I. (2019). Enerhetychna efektyvnist system udobrennya i obrobittu gruntu [Energy efficiency of fertilization and tillage systems]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya* [Biological Resources and Nature Management], 11, 3–4, 90–96. <https://doi.org/10.31548/bio2019.03.010> [in Ukrainian].

Chuchvaha, I.H., & Khalep, Yu.M. (2014). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist zastosuvannya diazobakterynu ta mineral'nykh dobryv u tekhnolohiyi vyroshchuvannya zhyta ozymoho [Economic and energy efficiency of the use of diazobacterin and mineral fertilizers in the technology of growing winter rye]. *Sil's'kohospodars'ka mikrobiolohiya* [Agricultural microbiology], 19, 53–60 <https://doi.org/10.35868/1997-3004.19.53-60> [in Ukrainian].

Manoj, K.N., Shekara, B.G., & Sridhara, S., et. al. (2022). Carbon Footprint Assessment and Energy Budgeting of Different Annual and Perennial Forage Cropping Systems: A Study from the Semi-Arid Region of Karnataka, India. *Agronomy*, 12 (8) 1783. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081783> [in English].

Pinchuk, V., Tertychna, O., & Parfenyuk, A. (2022). Use of nitrogen manure in agriculture of Ukraine and the European Union. *Conference of Ecosystems: Abstracts 12-th International Conference* (p. 55). Chicago, Illinois. USA [in English].

Vourdoubas, J., & Dubois, O. (2016). Energy and agri-food systems: production and consumption. *Zero Waste in the Mediterranean: Natural Resources, Food and Knowledge. Mediterra 16*. Paris: Presses de Sciences Po, 155–174. [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/362846600_ENERGY_AND_AGRI-FOOD_SYSTEMS_PRODUCTION_AND_CONSUMPTION (access date 10.11.2023) [in English].

Отримано: 17.11.2023

Прийнято: 04.12.2023



ЕКОЛОГІЯ

УДК 631.95:574.34:582.288

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.10>

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (*TRITICUM L.*) НА ЖИТТЄВІ СТРАТЕГІЇ МІКРОМІЦЕТУ *FUSARIUM OXYSPORUM*

І. В. Безноско¹, А. В. Гаврилюк², Т. М. Горган³, А. Ю. Безноско⁴, Д. С. Гаврилюк⁵

У процесі взаємодії популяції грибів із сортами рослин в агрофітоценозах перед ними постає вибір між *K*, *r* та *L* життєвими стратегіями, які змінюються протягом вегетаційного періоду за впливу біотичних і абіотичних чинників. Оцінка співвідношення репродуктивної та генеративної фази мікроміцету *F. oxysporum* є важливою у сучасних дослідженнях, що допоможе з'ясувати поведінку мікроміцету під час вегетаційного періоду у посівах. Тому, метою дослідження було вивчити зміни життєвих стратегій мікроміцету *F. oxysporum* за різних технологій вирощування пшениці озимої. Об'єктами досліджень були корені пшениці озимої різних сортів, вирощених за різних технологій, відібрані у різних дослідних господарствах Лівобережної України.

Виявлено, що за змішаної технології вирощування на ранніх етапах онтогенезу пшениці озимої відбувалося збільшення кількості хламідоспор, а в кінці вегетації істотно зростала кількість конідій, що становила 2,29 млн шт./мл. Це притаманно *K*-стратегії, яка переходить в *r*-стратегію. За традиційної технології вирощування в усіх фазах онтогенезу спостерігали істотне збіль-

¹ кандидат біологічних наук,
в.о. завідувача лабораторії
(Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: beznoskoirina@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2217-5165

² доктор філософії,
старший науковий співробітник
(Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: gavriluklilia410@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6901-0766

³ науковий співробітник,
(Інститут агроєкології і природокористування НААН, м. Київ)
e-mail: Tanja.micaela@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8980-7895

⁴ здобувач вищої освіти
(Національний медичний університет імені Богомольця, м. Київ)
e-mail: arturiy0312@gmail.com
ORCID: 0009-0002-5987-0409

⁵ здобувач вищої освіти
(Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)
e-mail: bengbeng3228@gmail.com
ORCID: 0009-0007-0694-4538

шення кількості конідій, що майже в 10 раз перевищувала кількість хламідоспор на коренях обох сортів пшениці озимої. Це притаманно r-стратегам, які за дії несприятливих факторів здатні до швидкого розмноження і поширення в агроценозах. За органічної технології вирощування спостерігали істотне збільшення хламідоспор, де найбільша їх кількість була у фазі досягання пшениці озимої, що становило в середньому 3,91 млн шт./мл, поряд з тим кількість конідій становила 0,35 млн шт./мл, що притаманно L-стратегам. За біологічної технології вирощування, у посівах пшениці озимої спостерігали істотне збільшення хламідоспор впродовж вегетаційного періоду, що були від 1,02 до 1,41 млн шт./мл, в той же час споруутворення конідій було менше і становило від 0,73 до 0,98 млн шт./мл. Слід відмітити, що саме за цієї технології спостерігали найменшу кількість інфекційних структур під час онтогенезу рослин, що притаманно K-стратегам.

Ключові слова: хламідоспори, конідії, інтенсивність споруутворення, зернові культури, штам гриба.

LIFE STRATEGIES THE MICROMYCETE OF *FUSARIUM OXYSPORUM* WITH DIFFERENT TECHNOLOGIES GROWING IN AGROCENOSES WINTER WHEAT (*TRITICUM L.*)

I. V. Beznosko, L. V. Havryliuk, T. M. Gorgan, A. Yu. Beznosko, D. S. Havryliuk

*In the process interaction the fungi populations with varieties in agrophytocenoses, they are faced with a choice between K, r and L life strategies that change during the growing season under the influence of biotic and abiotic factors. Evaluation of the ratio the reproductive and generative phases the micromycete *F. oxysporum* is important in current research, which will help to determine the behavior of the micromycete during the growing season in crops. The aim of the study was to study changes in the life strategies the micromycete *F. oxysporum* by different technologies cultivation of winter wheat. The objects of research were the roots of winter wheat of different varieties, grown by different technologies, selected in different research farms of the Left Bank of Ukraine.*

It was found that the mixed technology of cultivation in the early stages of ontogenesis the winter wheat showed an increase in the number chlamydo spores, and in the end significantly increased the number conidia, which amounted to 2,29 million units to ml. This is characteristic the K-strategy, which turns into an r-strategy. According to the traditional technology cultivation, was observed a significant increase the number of conidia in all phases of ontogenesis, which was almost 10 times higher than the number chlamydo spores on the roots of both varieties winter wheat. This is characteristic of r-strategists, which under the influence of adverse factors are able to rapidly reproduce and spread in agrocenoses. According to the organic technology of cultivation without the introduction preparation, was observed a significant increase the chlamydo spores, where most of them were in the phase of reaching winter wheat, which averaged 3,91 million units to ml, while the number of conidia was 0,35 million units to ml, which is characteristic L-strategists. According to the organic technology of cultivation from the introduction of biological preparations in crops winter wheat, was observed a significant increase the chlamydo spores during the growing season, which was from 1,02 to 1,41 million units to ml, while sporeformation conidia was less and ranged from 0,73 to 0,98 million units to ml. It should be noted that this technology was observe the smallest number of infectious structures during ontogeny plant. It is characteristic of K-trategists that when the resistance of the medium increases, it is not an increase in the rate of reproduction, but a decrease in the rate of extinction, which ensures the existence of the strain. Therefore, in the process of selection the varieties plant for resistance to phytopathogenic fungi, it is advisable to evaluate cultivated varieties plant in impact on sporeformation and life strategies the micromycetes, which will create sustainable ecosystems in agrophytocenoses.

Key words: chlamydo spores, conidia, intensity of sporulation, grain crops, mushroom strain.

Вступ

В умовах антропогенного навантаження та нераціонального застосування хімічних й біологічних пестицидів зростають темпи поширення патогенних мікроорганізмів, утворюються їхні резистентні форми з посиленою агресивністю. Зазначені чинники в значній мірі призводять до втрати стійкості сортів культурних рослин до хвороб, що

спричинює зниження біобезпеки виробництва рослинної продукції (Парфенюк, 2017; Мостов'як та ін., 2020). На сьогодні значну увагу привертають екологічні особливості грибів – їх розповсюдження, широта таксонів, морфологічні форми, життєві стратегії та їх взаємозв'язки з іншими компонентами екосистем. Зв'язки мікроміцетів із рослинами склалися в процесі еволюції

та проявляються у різних формах співіснування від мутуалістичних до паразитичних (Парфенюк і Волощук, 2016). Особливу увагу привертають фітопатогенні мікроміцети, оскільки, незважаючи на постійне оновлення переліку хімічних та біологічних засобів захисту пшениці озимої від хвороб, фітосанітарний стан агроценозів залишається майже незмінним (Volkogon, 2018). Фітопатогенні гриби некротрофного типу живлення характеризуються широкою спеціалізацією та здатністю формувати значну кількість інфекційних структур, таких як: міцелій, склероції, мікро- та макроконідії, хламідоспори, аскокарпи з аскоспорами, які зберігаються на рослинних рештках, насінні та в ґрунті і з року в рік є основним джерелом ураження сільськогосподарських культур. За багаторічними дослідженнями науковців встановлено, що види роду *Fusarium* Link активно поширюються в агрофітоценозах (Татарінова та ін., 2018). Вони здатні паразитувати на зерні, сходах, кореневій системі та колосках пшениці озимої, а також уражувати понад 150 видів вищих рослин. Гриби роду *Fusarium* Link, належать до підкласу Нуроскреомусетідає, порядку Нуроскреалє, родини Nectriaceae представляють одну із найпоширеніших груп аскоміцетів (Ascomycota), які є поліфагами, мають широку онтогенетичну й органотропну спеціалізацію (Chetouhi et al., 2016; Kalagatur et al., 2018). Деякі види мають телеоморфну стадію розвитку (Bertero et al., 2018). Більша частина життєвого циклу видів роду *Fusarium* проходить у нестатевій – анаморфній стадії розвитку, що включає три основні фази: проростання конідій, ріст і розвиток вегетативного міцелію та спороношення, тобто формування конідій та хламідоспор. Спороношення, інфікування нових рослин і утворення спор у грибів цього роду може бути обмежене лише відсутністю поживних субстратів та несприятливими умовами для їхнього розвитку, що і спричиняють різні технології вирощування рослин. У формі міцелію мікроміцети можуть зберігатися в насінні, рослинних рештках культивованих рослин та дикорослих бур'янів. У вигляді хламідоспор вони переживають несприятливі умови й, таким чином, забезпечують їх розповсюдження. Потрапивши разом із рослинними рештками або ґрунтом у сприятливе середовище, хламідоспори проростають, і відбувається формування вегетативного міцелію (Hou et al., 2020; Sasaki et al., 2022). Отже, під дією біотичних, абіотичних

та антропогенних факторів навколишнього середовища вони здатні змінювати свої життєві стратегії та жити як паразити на вегетуючих рослинах або як сапротрофи на рослинних рештках у ґрунті (Фуртат та ін., 2017). Відомо, що субстрат, на якому розвивається гриб, є головним регулятором його життєдіяльності (Парфенюк і Благініна, 2014). У процесі взаємодії популяцій грибів зі сортами рослин за використання різних технологій вирощування перед ними постає вибір між К, г та L життєвими стратегіями: г-стратегія сприяє швидкому розмноженню за умов відсутності опору середовища; К-стратегія корисна за умови збільшення опору середовища (відбувається не збільшення швидкості розмноження, а зниження швидкості вимирання, що забезпечує існування штаму), L-стратегії характерний сталий розвиток, мінімальна кількість спор, багато спочиваючих структур (ДСТУ..., 2005). Більшість анаморфних грибів є гаплоїдними г-стратегіями. Утворення вегетативних спочивальних структур – хламідоспор і склероціїв, які забезпечують зберігання виду, свідчить про перехід мікроміцета до К та L життєвих стратегій. Головним показником оцінювання переваги г, К або L стратегій є співвідношення репродуктивної та генеративної фази розвитку гриба.

Мета дослідження: вивчити зміни життєвих стратегій мікроміцету *F. oxysporum* за різних технологій вирощування пшениці озимої.

Матеріал і методи

Дослідження проводили впродовж 2020–2021 рр. на базі стаціонарних і тимчасових польових дослідів, які розташовані у Сквирській дослідній станції органічного виробництва, Носівській селекційно-дослідній станції Миронівського інституту пшениці ім. В. М. Ремесла та на приватному господарстві органічного виробництва ФОП Шанойло Т. В.

Протягом вегетаційного періоду були використані різні системи удобрення під посівами пшениці озимої на базі стаціонарних і тимчасових польових дослідів. Органічна технологія характеризувалася двома системами удобрення і захисту: перша – внесенням гумінового добрива і триходерміну (приватне господарство органічного виробництва ФОП Шанойло Т. В.), друга без внесення препаратів, тільки полив водою (Сквирська дослідна станція органічного виробництва). За традиційною технологією вирощування (Сквирська дослідна станція органічного виробництва)

вносили лише препарати хімічного походження. За змішаною технологією вирощування (Носівська селекційно-дослідна станція) застосовували як хімічні препарати, так і препарати біологічного походження.

Досліджено зміни життєвих стратегій мікроміцету *F. oxysporum* на рослинах пшениці озимої сортів: Княжна, Скаген, Оберіг Миронівський.

Відбір зразків культури проводили у різні фази онтогенезу: кущіння, цвітіння та достигання. Проби різних сортів, відбирали методом конверту в п'яти рівновіддалених місцях ділянок по 3 рослини (15 рослин/м²) в трьох повтореннях, загалом 45 рослин кожного сорту (ДСТУ..., 2003).

Корені пшениці озимої промивали упродовж 1 години у проточній воді, стерилізували в слабкому розчині марганцевокислого калію (KMnO₄) та переносили у вологі камери, де витримували за температури 22 °C протягом 15 діб (Парфенюк та ін., 2015; Ямборко та ін., 2018). Потім переносили у скляні ємності об'ємом 20 мл та додавали 10 мл стерильної дистильованої води, струшували на мікробіологічному струшувачі протягом 30 хвилини і рахували кількість конідій та хламідоспор в камері Горяєва-Тома (Парфенюк та ін., 2015; Ямборко та ін., 2018). Кількість спор в 1 мл суспензії розраховували за формулою:

$$M = \frac{(a \times 1000)}{(h \times S)},$$

де M – число клітин в 1 мл суспензії;
a – середнє число спор в квадраті;
h – глибина камери в мм;
S – площа квадрата сітки в мм².

Проведено однофакторний дисперсійний аналіз Анова. Відмінність між контрольними та дослідними показниками вважали достовірними, коли ймовірність різниці становила P < 0,05.

Результати та обговорення

У фазі кущіння на корені різних сортів пшениці озимої спостерігали різну кількість інфекційних структур: хламідоспор, конідій, що залежали від сорту та технологій вирощування культури (рис. 1).

За даними, представленими на рисунку 1, визначено, що за змішаної технології вирощування кількість хламідоспор суттєво перевищувала кількість конідій і становила на корені сорту Княжна 1,82 млн шт./мл, а на корінні сорту Оберіг Миронівський 2,64 млн шт./мл. У той же час, кількість конідій на коренях цих сортів становила від 0,64 до 0,91 млн шт./мл.

За традиційної технології вирощування спостерігали утворення меншої кількості інфекцій структур. Зокрема, кількість конідій на коренях сорту Оберіг Миронівський сягала 0,95 млн шт./мл, а на коренях пшениці озимої сорту Скаген – 0,77 млн шт./мл. Разом з тим, кількість хламідоспор на коренях обох сортів була в 2 рази нижчою і становила в середньому 0,22 млн шт./мл.

За органічної технології вирощування спостерігали істотне збільшення кількості хламідоспор на коренях обох сортів, що становило від 2,71 до 2,82 млн шт./мл. У той же час кількість конідій була в 5 раз нижчою.

За біологічної технології вирощування спостерігали утворення найменшої кількості інфекційних структур порівняно з іншими технологіями. Так, кількість хламідоспор на

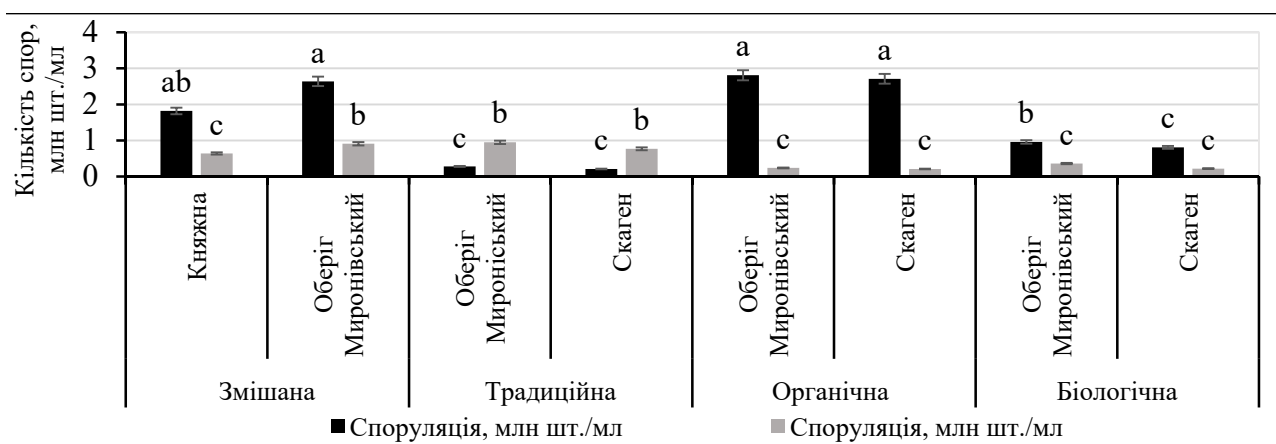


Рис. 1. Інтенсивність споруляції гриба інфекційних структур *F. oxysporum* у фазу кущіння (x ± SD, Тьюкі тест, n = 5 повторів); a, b, c – статистично значущі відмінності кількості мікроміцетів (P < 0.05)

коренях сорту Скаген становила 0,81 млн шт./мл., а на сорті Оберіг Миронівський – 0,96 млн шт./мл. Кількість конідій була дещо меншою і варіювала в межах від 0,22 до 0,36 млн шт./мл.

Слід зазначити, що у фазу кушіння за змішаної, органічної та біологічної технологій вирощування на коренях досліджуваних сортів пшениці озимої переважало утворення більшої кількості хламідоспор гриба *F. oxysporum* в порівнянні з конідіями. Це свідчить про нестабільні умови середовища, що притаманно К-стратегії, за якої властиво збереження виду в ґрунтовому середовищі. Поряд з тим, за традиційної технології вирощування спостерігали утворення більшої кількості конідій на коріннях різних сортів пшениці озимої, що характерно для г-стратегії. Це сприяло швидкому розмноженню та поширенню гриба *F. oxysporum* в агроценозах зернових культур.

У фазу цвітіння на корені різних сортів пшениці озимої кількість інфекційних структур змінювалася залежно від технології вирощування (рис. 2).

За даними, представленими на рисунку 2, можна побачити, що за змішаної технології вирощування кількість хламідоспор у фазу цвітіння, порівняно із фазою кушіння, істотно зменшувалась і становила від 1,67 млн шт./мл на коренях сорту Княжна до 1,21 млн шт./мл на коренях сорту Оберіг Миронівський, а кількість конідій збільшувалась в середньому до 2,41 млн шт./мл на коренях обох сортів.

В той же час, при внесенні хімічних та біологічних препаратів на початкових етапах онтогенезу пшениці озимої спри-

яло утворенню хламідоспор, а в фазу цвітіння їх кількість знижувалась, в той же час споруляція конідій істотно зростала. Це свідчить про несприятливі умови розвитку для гриба *F. oxysporum*, де К-стратегія переходить у г-стратегію, якій властива здатність до швидкого розмноження. Це дозволить конкурувати з іншими організмами.

За традиційної технології вирощування кількість конідій перевищувала кількість хламідоспор, як у фазу кушіння, так і у фазу цвітіння. На коренях сортів Скаген та Оберіг Миронівський інтенсивність споруляції конідій була в межах 1,10–1,12 млн шт./мл, а кількість хламідоспор була в середньому 0,2 млн шт./мл на обох сортах. Це характерно для г-стратегії, що сприяє швидкому розмноженню гриба *F. oxysporum*.

За органічної технології вирощування спостерігали істотне збільшення хламідоспор як у фазу кушіння, так і у фазу цвітіння. Їх кількість майже в 10 раз перевищувала кількість конідій на коренях обох сортів пшениці озимої. Це притаманно L-стратегам, що здатні утворювати велику кількість спочиваючих структур для збереження виду у просторі й часі.

За біологічної технології вирощування у посівах пшениці озимої спостерігали істотне збільшення хламідоспор, що становило на сорті Оберіг Миронівський від 1,16 млн шт./мл, в той же час, за посіву сорту Скаген їх кількість була меншою і становила 0,9 млн шт./мл. Поряд з тим, споруляція конідій була меншою і становила на коренях обох сортів в середньому 0,56 млн шт./мл. Це притаманно К-стратегам, де

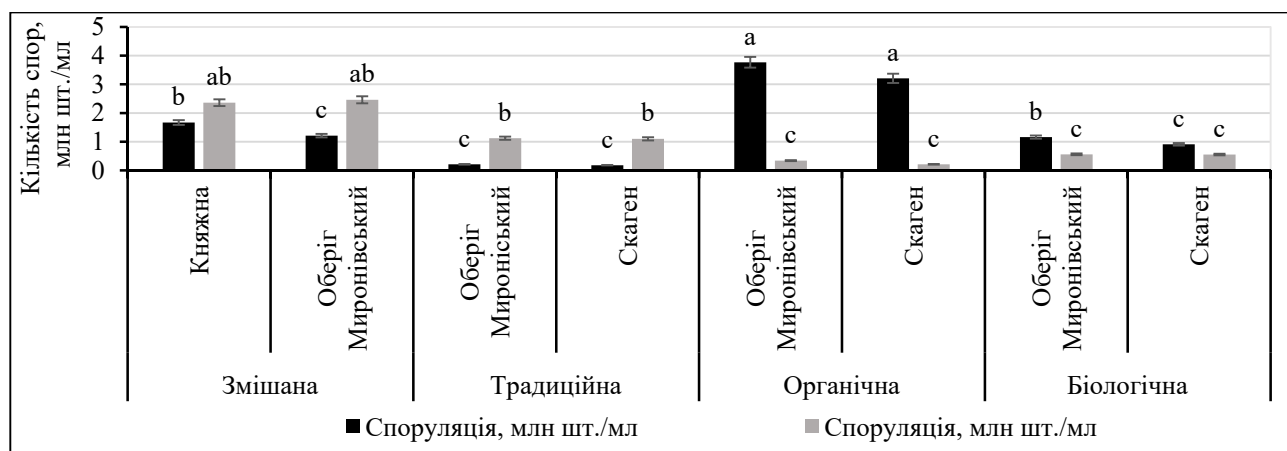


Рис. 2. Інтенсивність споруляції інфекційних структур гриба *F. oxysporum* у фазу цвітіння ($x \pm SD$, Тьюкі тест, $n = 5$ повторів); a, b, c – статистично значущі відмінності кількості мікроміцетів ($P < 0.05$)

переважає кількість хламідоспор, порівняно із конідіями. Слід зазначити, що за цієї технології кількість інфекційних структур гриба *F. oxysporum* у посівах пшениці озимої була найменшою.

За результатами дослідження, представленими на рисунку 3, можна побачити, що у фазу досягання за змішаної та традиційної технології вирощування інтенсивність споруляції хламідоспор зменшувалась та становила від 0,14 млн шт./мл на сорті Скаген до 0,91 млн шт./мл на сорті Оберіг Миронівський, а кількість конідій істотно зростала, особливо за традиційної технології вирощування, і досягала в середньому 2,91 млн шт./мл на коренях обох сортів.

Слід зазначити, що за змішаної технології вирощування на ранніх етапах онтогенезу спостерігали збільшення хламідоспор, а в кінці істотно зростала кількість конідій, особливо на коренях сорту Оберіг Миронівський, що становила 2,29 млн шт./мл. Це характерно для К-стратегії, яка переходить в г-стратегію. Можна допустити, що під впливом препаратів різного спектру дії спостерігаються зміни в ґрунтовому середовищі, що спричиняють тиск на популяції гриба *F. oxysporum* і призводять до інтенсивнішого розмноження і поширення його в середовищі (рис. 4).

За традиційної технології вирощування у всіх фазах онтогенезу спостерігали істотне збільшення кількості конідій, що майже в 10 раз перевищували кількість хламідоспор на коренях обох сортів (див. рис. 3). Це притаманно г-стратегам, які за дії несприятливих факторів, а саме пестицидного навантаження і здатні до швид-

кого розмноження, щоб зайняти найбільше простору в агроценозах зернових культур (див. рис. 4).

За органічної технології вирощування спостерігали істотне збільшення хламідоспор протягом трьох фаз онтогенезу пшениці озимої, де найбільша їх кількість була у фазу досягання, що становило на коренях сорту Скаген 3,55 млн шт./мл, а сорту Оберіг Миронівський – 3,91 млн шт./мл. Поряд з тим, кількість конідій була в середньому 0,35 млн шт./мл. Це свідчить, що у посівах пшениці озимої переважало утворення спочиваючих структур, а кількість конідій була мінімальною порівняно з іншими технологіями вирощування, що притаманно L-стратегам (див. рис. 4).

За біологічної технології вирощування у посівах пшениці озимої спостерігали істотне збільшення хламідоспор впродовж вегетаційного періоду, а саме на сорті Оберіг Миронівський 1,41 млн шт./мл, у той час, як за посіву сорту Скаген їх кількість була меншою і становила 1,02 млн шт./мл. Поряд з тим, споруляція конідій була меншою і становила на сорті Оберіг Миронівський 0,98 млн шт./мл., а на сорті Скаген 0,73 млн шт./мл (див. рис. 3). Слід відмітити, що саме за цієї технології вирощування, кількість конідій і хламідоспор суттєво не відрізнялася. Це притаманно К-стратегам, які за умови збільшення опору середовища утворюють спочиваючі структури, для забезпечення рівноважного стану існування популяції.

Висновки

Отримані результати дають можливість зрозуміти зміну життєвих стратегій фітопатогеного мікроміцету *F. oxysporum* у посівах

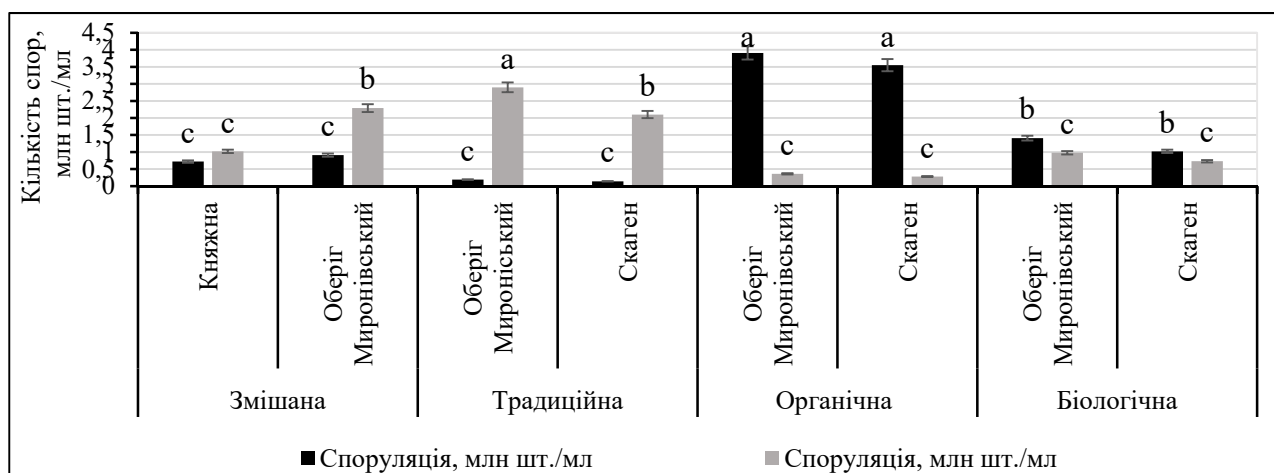


Рис. 3. Інтенсивність споруляції інфекційних структур гриба *F. oxysporum* у фазу досягання ($x \pm SD$, Тьюкі тест, $n = 5$ повторів); a, b, c – статистично значущі відмінності кількості мікроміцетів ($P < 0.05$)

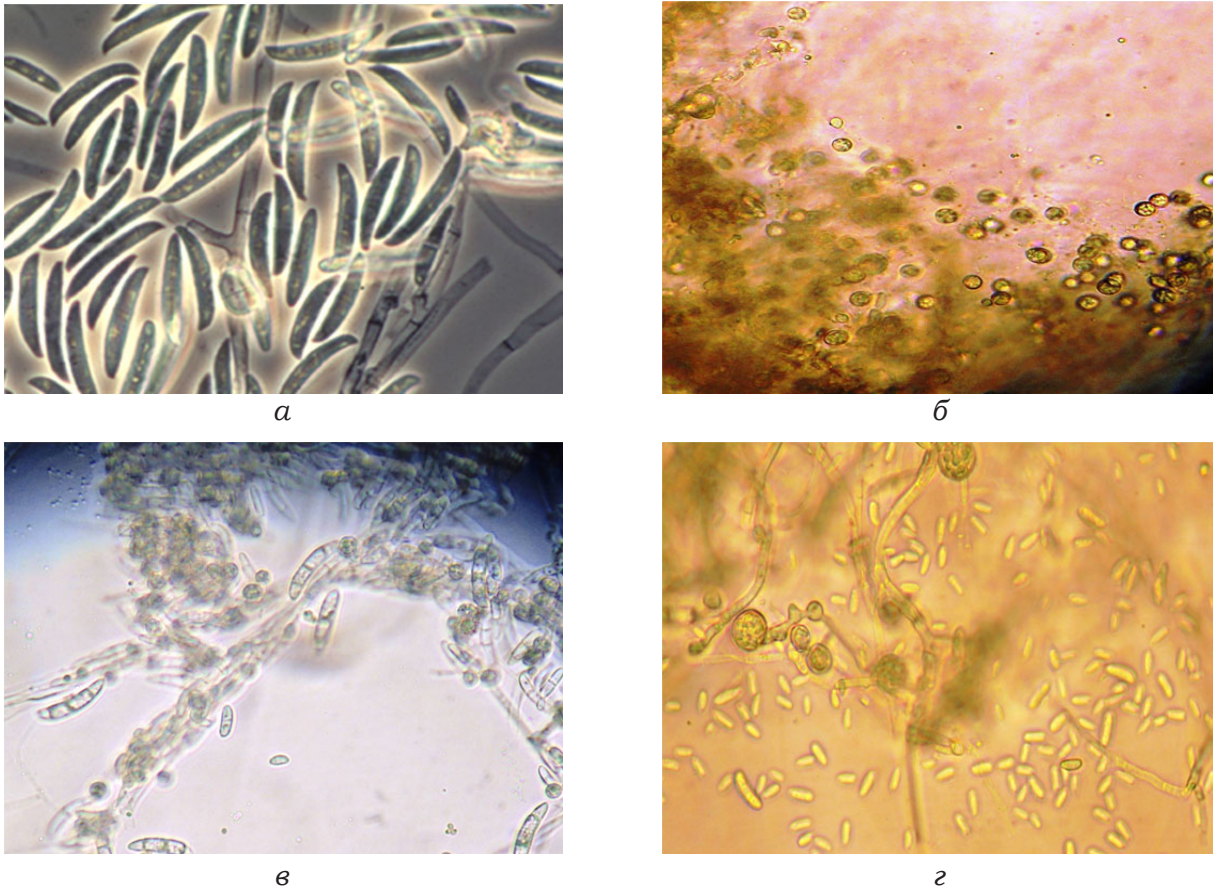


Рис. 4. Життєві стратегії мікроміцету *F. oxysporum* в агроценозах пшениці озимої за різних технологій вирощування:
a – традиційна (*r* – стратегія); *б* – органічна (*L*-стратегія); *в* – біологічна (*K*-стратегія); *г* – змішана (*K*-стратегія переходить в *r*-стратегію)

різних сортів пшениці озимої залежно від технології вирощування.

За змішаної технології вирощування на ранніх етапах онтогенезу спостерігали збільшення хламідоспор, а вкінці істотно зростала кількість конідій, що становила 2,29 млн шт./мл. Це притаманно *K*-стратегії, яка переходить в *r*-стратегію.

За традиційної технології вирощування утворюється велика кількість конідій, що становила 2,9 млн шт./мл. Це сприяє швидкому поширенню мікроміцету *F. oxysporum* в агроценозах пшениці озимої та підвищення рівня біологічного забруднення.

За біологічної технології вирощування переважало утворення багато спочиваючих структур мікроміцету *F. oxysporum*, кіль-

кість хламідоспор коливалася в межах від 1,4 до 3,9 млн шт./мл. За даною технологією створюються стресові умови для розвитку мікроміцету та оптимальні умови для рослини, що з одного боку забезпечує зберігання виду гриба, а з іншого – стримує його поширення в агрофітоценозах.

Отже, у процесі селекції сортів рослин на стійкість до фітопатогенних грибів доцільно оцінювати сорти культурних рослин за показниками його впливу на інтенсивність споруляції та життєві стратегії мікроміцетів, що дасть можливість створювати стійкі екосистеми в агрофітоценозах. За результатами досліджень можна стверджувати, що рослини вирощені за органічної технології є більш екологічно безпечними.

Список використаної літератури

ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2004.01.01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2003. 173 с.

ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005.07.01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2005.

Мостов'як І.І., Дем'янюк О.С., Парфенюк А.І., Безноско І.В. Сорт як фактор формування стійких агроценозів зернових культур. *Вісник полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 2. С. 110–118. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.02.13>.

Парфенюк А.І. Сорт рослин як чинник біологічної безпеки в агроценозах України. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 155–163. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220172>.

Парфенюк А.І., Благініна А.А. Вплив метаболітів рослин сортів пшениці озимої на життєві стратегії гриба *Fusarium oxysporum* Schltdl. *Вісник Львівського університету*. 2014. № 65. С. 372–378 [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_biol_2014_65_42 (дата звернення 11.06.2022).

Парфенюк А.І., Волощук Н.М. Формування фітопатогенного фону в агрофітоценозах. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 4. С. 106–114. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271247>.

Парфенюк А.І., Горган Т.М., Стерлікова О.М., Безноско І.В., Сагановська В.І., Благініна А.А., Тищенко Г.Ф., Ковтун В.В. Екологічне оцінювання культурних рослин за впливом на формування популяцій фітопатогенних грибів. Науково-методичні рекомендації. Київ. 2015. 40 с.

Татарінова В.І., Бурдуланюк А.О., Рожкова Т.О. Фітопатогенний контроль агроценозів зернових культур. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2018. Вип. 3 (35). С. 8–13. [Електронний ресурс]. URL: <http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6551/1/2.pdf> (дата звернення 29.09.2023).

Фуртат І.М., Остапюк Н.А., Антонюк М.З. Біологічні особливості та екологія представників роду *Fusarium*, збудників захворювань злаків. *Наукові записи НаУКМА*. 2017. Том 197. С. 3–18. [Електронний ресурс]. URL: [file:///C:/Users/VS-2/Downloads/NaUKMApr_2017_197_3%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/VS-2/Downloads/NaUKMApr_2017_197_3%20(2).pdf) (дата звернення 11.05.2022).

Ямборко Г.В., Єлинська Н.О., Зінченко О.Ю., Васильєва Н.Ю. Мікробіологія з основами вірусології. Методичні вказівки до лабораторних занять для студентів хімічного факультету. Одеса. 2018. 52 с.

Bertero A., Moretti A., Spicer L., Caloni F. *Fusarium* molds and mycotoxins: potential species specific effects. *Toxins*. 2018. 10 (6). 244 p. <https://doi.org/10.3390/toxins10060244>.

Chetouhi C., Bonhomme L., Lasserre-Zuber P., Cambon F., Pelletier S., Renou J., Langin T. Transcriptome dynamics of a susceptible wheat upon *Fusarium* head blight reveals that molecular responses to *Fusarium graminearum* infection fit over the grain development processes. *Funct. Integr. Genom.* 2016. Vol. 16. P. 183–201. <https://doi.org/10.1007/s10142-016-0476-1>.

Hou Y., Hsu L., Wang H., Lai Y., Chen Y. Calcineurin regulates conidiation, chlamydospore formation and virulence in *Fusarium oxysporum* sp. lycopersici. *Front. Microbiol.* 2020. 11. 539702. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.539702>.

Kalagatur N., Nirmal Ghosh O., Sundararaj N., Mudili V. Antifungal activity of chitosan nanoparticles encapsulated with *Cymbopogon martinii* essential oil on plant pathogenic fungi *Fusarium graminearum*. *Frontiers in Pharmacology*. 2018. Vol. 9. P. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00610>.

Sasaki K., Ito Y., Hamada Y., Dowaki A., Jogaiah S. FoMC69 Gene in *Fusarium oxysporum* f. sp. radialis-lycopersici Is Essential for Pathogenicity by Involving Normal Function of Chlamydospores. *Pathogens*. 2022. 11(12). 1433. <https://doi.org/10.3390/pathogens11121433>.

Volkogon V.V. Agricultural microbiology in Ukraine: Achievements, problems, prospects. *Bulletin of Agricultural Science*. 2018. 11. 20–27. [Electronic resource] URL: https://agrovisnyk.com/pdf/en_2018_11_03.pdf (access date 29.09.2023).

References (translated & transliterated)

DSTU 4138:2002 (2003). Nasinnya silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennya yakosti. [Seeds of agricultural crops. Methods for determining quality]. [From 1th January 2004.01.01]. *Kyiv. Derzhstandart Ukrainy [Kyiv. State Standard of Ukraine]* [in Ukrainian].

DSTU 4287:2004 (2005). Yakist gruntu: Vidbyrannya prob [Soil quality: Sampling]. [From 2005.01.07]. *Kyiv. Derzhstandart Ukrainy [Kyiv. State Standard of Ukraine]* [in Ukrainian].

Mostovyak, I.I., Demyanyuk, O.S., Parfenyuk, A.I., & Beznosko, I.V. (2020). Sort yak faktor formuvannya stiykykh ahrotsenoziv zernovykh kultur [Variety as a factor in the formation of stable agrocenoses of cereals]. *Visnyk poltavskoyi derzhavnoyi ahrarnoyi akademiyi [Bulletin of the Poltava*

State Agrarian Academy], 2, 110–118. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271247> [in Ukrainian].

Parfenyuk, A.I. (2017). Sort roslyn yak chynnyk biolohichnoyi bezpeky v ahrotsenozakh Ukrayiny [Plant variety as a factor of biological safety in agrocenoses of Ukraine]. *Ahroekolohichnyy zhurnal [Agroecological journal]*, 2, 155–163. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220172> [in Ukrainian].

Parfenyuk, A.I., & Blahinina, A.A. (2014). Vplyv metabolitiv roslyn sortiv pshenytsi ozymoyi na zhyttyevi stratehiyi hryba *Fusarium oxysporum* Schltdl [Influence of plant metabolites of winter wheat varieties on life strategies of *Fusarium oxysporum* Schltdl.]. *Visnyk Lvivskoho universytetu [Bulletin of Lviv University]*, 65, 372–378. [Electronic resource] URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VLNU_biol_2014_65_42 (access date 11.06.2022) [in Ukrainian].

Parfenyuk, A.I., & Voloshchuk, N.M. (2016). Formuvannya fitopatohennoho fonu v ahrofitotsenozakh [Formation of phytopathogenic background in agrophytocenoses]. *Ahroekolohichnyy zhurnal [Agroecological journal]*, 4, 106–114. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271247> [in Ukrainian].

Parfenyuk, A.I., Gorgan, T.M., Sterlikova, O.M., Beznosko, I.V., Saganovska, V.I., Blaginina, A.A., Tyshchenko, G.F., & Kovtun, V.V. (2015). Ekolohichne otsynuyvannya kulturnykh roslyn za vplyvom na formuvannya populyatsiy fitopatohennykh hrybiv [Ecological assessment of cultivated plants on the influence on the formation of populations of phytopathogenic fungi]. *Naukovo-metodychni rekomendatsiyi [Scientific and methodological recommendations]*. Kyiv, 40 p. [in Ukrainian].

Tatarynova, V.I., Burdulanyuk, A.O., & Rozhkova, T.O. (2018). Fitopatohennyy control ahrotsenoziv zernovykh kultur [Phytopathogenic control of agrocenoses of cereals]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [Bulletin of Sumy National Agrarian University]*, 3 (35), 8–13. [Electronic resource] URL: <http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6551/1/2.pdf> (access date 29.09.2023) [in Ukrainian].

Furtat, I.M., Ostapyuk, N.A., & Antonyuk, M.Z. (2017). Biolohichni osoblyvosti ta ekolohiya predstavnykiv rodu *Fuzarium*, zbudnykiv zakhvoryuvan zlakiv [Biological features and ecology of the genus *Fuzarium*, pathogens of cereals]. *Naukovi zapysy NaUKMA [Scientific records of NaUKMA]*, 197, 3–18. [Electronic resource] URL: [file:///C:/Users/VS-2/Downloads/NaUKMApr_2017_197_3%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/VS-2/Downloads/NaUKMApr_2017_197_3%20(2).pdf) (access date 11.05.2022) [in Ukrainian].

Yamborko, G.V., Yelynska, N.O., Zinchenko, O.Yu., & Vasyliieva, N.Yu. (2018). Microbiology with the basics of virology [Mikrobiolohiya z osnovamy virusolohiyi]. *Metodychni vkazivky do laboratornykh zanyat dlya studentiv khimichnoho fakultetu [Methodical instructions for laboratory classes for students of the Faculty of Chemistry]*. Odesa, 52 p. [in Ukrainian].

Bertero, A., Moretti, A., Spicer, L., & Caloni, F. (2018). *Fusarium* molds and mycotoxins: potential species specific effects. *Toxins*, 10 (6), 244. <https://doi.org/10.3390/toxins10060244> [in English].

Chetouhi, C., Bonhomme, L., Lasserre-Zuber, P., Cambon, F., Pelletier, S., Renou, J., & Langin, T. (2016). Transcriptome dynamics of a susceptible wheat upon *Fusarium* head blight reveals that molecular responses to *Fusarium graminearum* infection fit over the grain development processes. *Funct. Integr. Genom*, 16, 183–201. <https://doi.org/10.1007/s10142-016-0476-1> [in English].

Hou, Y., Hsu, L., Wang, H., Lai, Y., & Chen, Y. (2020). Calcineurin regulates conidiation, chlamydospore formation and virulence in *Fusarium oxysporum* sp. lycopersici. *Front. Microbial*, 11, 539702. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.539702> [in English].

Kalagatur, N., Nirmal Ghosh, O., Sundararaj, N., & Mudili, V. (2018). Antifungal activity of chitosan nanoparticles encapsulated with *Cymbopogon martinii* essential oil on plant pathogenic fungi *Fusarium graminearum*. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00610> [in English].

Sasaki, K., Ito Y., Hamada, Y., Dowaki, A., & Jogaiah, S. (2022). FoMC69 Gene in *Fusarium oxysporum* f. sp. radicis-lycopersici Is Essential for Pathogenicity by Involving Normal Function of Chlamydospores. *Pathogens*, 11 (12), 1433. <https://doi.org/10.3390/pathogens11121433> [in English].

Volkogon, V.V. (2018). Agricultural microbiology in Ukraine: Achievements, problems, prospects. *Bulletin of Agricultural Science*, 11, 20–27. [Electronic resource] URL: https://agroviznyk.com/pdf/en_2018_11_03.pdf (access date 29.09.2023) [in English].

Отримано: 06.11.2023

Прийнято: 30.11.2023



УДК 581.9+712.3:614.215(477.87)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.11>

АНАЛІЗ ДЕНДРОФЛОРИ ПАРКУ САНАТОРІЮ «КВІТКА ПОЛОНИНИ» (ЗАКАРПАТСЬКА ОБЛАСТЬ)

І. В. Бесеганич¹

Парки відіграють суттєву роль у формуванні оптимального життєвого середовища, а в межах санаторно-курортних закладів підвищують лікувально-оздоровчі функції. Санаторій «Квітка полонини» було створено у 1965 році. Досліджень стану та складу деревно-чагарникових порід у зелених насадженнях парку в останні десятиліття не проводилось. Такі дослідження вкрай важливі для збереження і, в разі необхідності, розробки рекомендацій щодо відновлення і реконструкції зелених насаджень, які є важливою частиною комфорту, відпочинку та оздоровлення.

Метою нашої роботи є встановлення особливостей наявної дендрофлори парку санаторію «Квітка полонини» та оцінка їх сучасного стану.

Досліджено таксономічний склад дендрофлори парку та встановлено, що на його території росте 1139 деревних рослин, що об'єднані в два відділи, 39 родин, 76 родів і представлені 136 видами та 31 культурваром. В її складі інтродуценти становлять 68% від усіх видів.

Наведено повний список виявлених деревних рослин та назви культурварів. Флористичний аналіз показав переважання видів північно-американського та східно-азійського походження. Встановлено, що дерева і чагарники представлені майже однаковою кількістю, а ліан виявлено всього 4 види. Оцінка якісного стану деревних рослин парку вказує на те, що переважна більшість рослин (1124 екземпляри) знаходиться у доброму стані. Унаслідок обстежень виявлено, що на території парку санаторію «Квітка полонини» сформовані лісопаркові, паркові та пейзажні ландшафти. Неоднозначною структурною категорією парку є несформовані насадження, до яких відноситься 4 % усіх дерев.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження: вперше проведено комплексний аналіз дендрофлори парку санаторія «Квітка полонини», що дає корисну інформацію для теорії і практики паркобудівництва та навчального процесу, досліджено таксономічний, біоморфологічний та флористичний склад дендрофлори, виявлені типи ландшафтів. Наведено список виявлених видів рослин та культурварів, проаналізовано їх життєвий стан.

Практична значущість результатів дослідження: аналіз складу дендрофлори набуває застосування у навчальному процесі; запропоновано заходи з догляду за насадженнями, зокрема заміна окремих рослин, які втратили своє функціональне та декоративне значення, поліпшення ландшафтно-планувальної структури і функціонального зонування території та видалення всіх дерев-продуцентів інвазійного виду *Ailanthus altissima*.

¹ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри ботаніки
(Ужгородський національний університет, м. Ужгород)
e-mail: innabeseganych@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8977-5560

Ключові слова: види, дендрофлора, інвентаризація, інтродуцент, культивар, таксономічний і флористичний аналіз, типи ландшафту, стан насаджень.

ANALYSIS OF DENDROFLORA OF THE PARK OF THE HEALTH RESORT KVIITKA POLONYNY (TRANSCARPATHIAN REGION)

I. V. Beseganich

Parks play a significant role in the formation of an optimal living environment, and within the limits of health resort facilities, they increase medical and health-improving functions. The health resort “Kvitka Polonyny” was established in 1965. There have been no studies of the condition and composition of tree and shrub plantations within the green plantings of the park. Such studies are extremely important for the preservation and, if necessary, for the development of recommendations for green spaces restoration and reconstruction, which are an important part of the comfort, relaxation and recovery of recreation facilities.

The purpose of our research is establishing the peculiarities of the available dendroflora of the park of the health resort “Kvitka Polonyny” and assessing their current state.

The taxonomic composition of the park dendroflora has been studied and it has been established that 1,139 woody plants, which are arranged into two divisions, 39 families, 76 genera, which are represented by 136 species and 31 cultivars, grow on its territory. In its composition, introducers make up 68% of all detected species. A complete list of discovered woody plants and names of cultivars used in various landscape compositions of the park has been represented. Floristic analysis has shown the predominance of species of North American and East Asian origin. It has been established that trees and shrubs are represented in almost the same number, and only 4 types of vines have been found. The assessment of the quality of the tree and shrub species of the park indicates that the vast majority of plants (1,124 specimens) are in good condition. As a result of the surveys, it has been discovered that forest park, park and natural landscapes have been formed on the territory of “Kvitka Polonyny” health resort. Unformed plantations are an ambiguous structural category of the park, which consist of 4% of all trees.

The scientific novelty of the research results: for the first time a comprehensive analysis of dendroflora of the park of the health resort “Kvitka Polonyny” has been carried out, which provides useful information for the theory and practice of a park construction and educational process. The taxonomic, biomorphological and floristic composition of the dendroflora has been investigated, and the types of landscapes have been identified. A complete list of discovered species of plants and cultivars has been provided, as well as their life status has been analysed.

*Practical significance of the research results: the analysis of the dendroflora composition will be applied in the educational process; plant care measures have been proposed, including replacing individual plants that have lost their functional and decorative value, improving the landscape planning structure and functional zoning of the territory, and removing all invasive species of the trees-producers *Ailanthus altissima*.*

Key words: species, dendroflora, inventory, cultivar, taxonomic floristic analysis, landscape types, condition of plantations.

Вступ

Парки і сквери – це об’єкти рекреаційного простору, на території яких забезпечується найбільш демократичне проведення вільного часу. Зелені насадження і, зокрема, парки відіграють суттєву роль у формуванні оптимального життєвого середовища (збагачення повітря киснем, фітонцидами, негативно зарядженими іонами; зниження критичних температур; зменшення негативного впливу вітру і шумового навантаження, тощо), мають величезний світоглядний і емоційний вплив на людину, а в межах санаторно-курортних закладів підвищують лікувально-оздоровчі функції.

Дослідження дендрофлори парків (її видового складу, структури, стану деревних рослин, місцю в урбаноекосистемах тощо) проводяться у багатьох країнах. На Україні такі дослідження здійснено в різних регіонах: Львів (Каспрук, 2003), деякі міста Карпатського регіону України (Генік, Дудін та ін., 2013), Чернівці (Михайлович, 2014), Дніпро (Пономарьова та ін., 2014), Вінниця (Сиплива, 2014), Рівне (Покотилова, 2018; Мельник і Денисюк, 2020), Херсон (Бойко і Дементьєва, 2018), загалом у Лісостепу України (Масальський і Кузнєцов, 2018), Одеса (Попова та ін., 2007; Немерцалов та ін., 2021). Аналогічні дослідження про-

водилися і у парках Білорусі (Кравчук, 2011), Хорватії (Taфра et al., 2012), Польщі (Dudkiewicz et al., 2015), Угорщини (Bartha, 2021) тощо.

Вивченню зеленої архітектури міст і сіл Закарпаття приділялося мало уваги, практично відсутні дослідження з інвентаризації зелених насаджень, відомості про дендрофлору парків міст області мають фрагментарний характер (Барбарич, 1954; Фодор, 1964; Чуприна і Гордієнко, 1978; Кохно та ін., 1980; Фодор та ін., 1982). В останні роки проведено дослідження парків і скверів міста Ужгорода (Гасинець та ін., 2018; Бесеганич та ін., 2020). На черзі вивчення зелених насаджень парків закладів курортно-рекреаційної сфери Закарпаття. Такі дослідження вкрай важливі для збереження і, в разі необхідності, розробки рекомендацій щодо відновлення і реконструкції зелених насаджень, які є важливою частиною комфорту, відпочинку та оздоровлення в таких установах.

Санаторій “Квітка полонини”, який було відкрито в 1965 р., розташований між селами Голубине і Солочин в урочищі Луги на правому березі річки Піня в передгірній частині Карпат (300 м н.р.м.). Займає площу 14 га. Досліджень стану та складу деревно-чагарникових порід у зелених насадженнях парку в останні десятиліття не проводилось.

Метою нашої роботи є встановлення особливостей наявної дендрофлори парку санаторію “Квітка полонини” та оцінка її сучасного стану. Завдання включають проведення комплексної інвентаризації деревно-чагарникових порід парку, встановлення видового складу, назви культиварів та віку зелених насаджень; аналіз таксономічної структури дендрофлори, виявленої на території парку санаторію; здійснення флористичного аналізу та встановлення походження використаних в озелененні видів та життєвих форм рослин, визначення частки автохтонних та інтродукованих видів.

Матеріал і методи

Оцінка видового складу деревно-чагарникових порід виконана маршрутно-польовим методом у вегетаційний період 2021–2022 р.р. Інвентаризацію здійснювали згідно з «Інструкцією з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах та селищах міського типу України» (Інструкція..., 2001). Життєві форми визначалися за І. Г. Серебряковим (1962). Оцінку життєвого стану зелених насаджень здійснювали

за методикою В. А. Алексєєва (1989). Типи ландшафтів наведено згідно з класифікацією Л. І. Рубцова (1979) та Ю. А. Атаманюка (Атаманюк та ін., 1987).

Назви таксонів аборигенної флори латинською наведені за S. Mosyakin & M. Fedoronchuk (1999). Назви екзотів наведено з урахуванням довідників «Дендрофлора України. Дикорослі та культивовані дерева й кущі» (Кохно та ін., 2001; 2002; 2005), «Stromy Evropy» (Spohnovi & Spohnovi, 2013).

Результати

За результатами інвентаризаційних обстежень на території парку санаторію “Квітка полонини” обліковано 116 видів та гібридів, а також 31 культивар деревно-чагарникових рослин, загальна кількість яких становила 1139 екземпляри (табл. 1).

Голонасінні представлені 28 видами, що відносяться до 6 родин. Переважна більшість з них (20 видів) – це екзоти і тільки 7 видів є аборигенними. Серед інтродукованих голонасінних переважають рослини північно-американського (11 видів) та східно-азійського походження (7 видів). Всього в парку санаторію росте 431 екземпляр голонасінних деревних рослин. Найбільш чисельними є: ялина європейська (*Picea abies*) – 150 екз. (найчисельніший вид у парку), туя західна (*Thuja occidentalis*) – 81 екз., сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) – 35 екз. Дванадцять видів голонасінних представлені також одним або декількома культиварами, з них тільки 2 аборигенних: *Pinus mugo* “Winter Gold” та *Taxus baccata* ‘Fastiagata aurea-marginata’. Найбільшою кількістю культиварів представлені *Chamaecyparis lawsoniana* (4) та *Thuja occidentalis* (3).

Серед квіткових в парку санаторію представники 88 деревно-чагарникових видів та гібридів, у кількості 708 екземплярів. Інтродуковані рослини представлені 72 видами, що в два рази більше кількості видів аборигенних рослин (35 видів). Інші рослини парку мають гібридне походження. За загальною кількістю особин місцеві види та інтродуценти, що ростуть на території парку, суттєво не відрізняються: 523 та 565 екземплярів відповідно. В групі екзотів переважають види північно-американського (15) та східно-азійського (22) походження.

Серед дерев найчисельнішими є: *Fraxinus excelsior* (47 екз.), *Alnus glutinosa* (36 екз.), *Fraxinus ornus* (31 екз.), *Cerasus serrulata* (30 екз.), *Betula pendula* (26 екз.), *Acer pla-*

tanoides (25 екз.), *Carpinus betulus* (22 екз.), *Catalpa bignonioides* (21 екз.), *Salix alba* (19 екз.), *Sorbus aria* (16 екз.), *Tilia cordata* (14 екз.), чагарників – *Deutzia scabra* (40 екз.), *Fargesia murielae* (23 екз.), *Yucca smalliana* (18 екз.), *Buxus sempervirens* (14 екз.).

Окремі види представлені поодинокими екземплярами: *Araucaria araucana*, *Juglans cordiformis*, *Phellodendron amurense*, *Cedrus atlantica*, *Pinus ponderosa*, *Taxodium distichum*, *Cryptomeria japonica*, *Wisteria floribunda* ('Pink Ice'), *Mespilus germanica* та деякі інші.

Окремо нами проаналізована внутрішньовидова різноманітність рослин, що ростуть у парку. Встановлено, що 21 вид рослин представлений 31 культиваром у загальній кількості 157 екземплярів. Серед них є як аборигенні (*Acer platanoides* 'Globosa' та 'Drummondii', *Salix caprea* 'Kilmarnock', *Ulmus glabra* 'Pendula'), так й інтродуковані (*Malus floribunda* 'Royalty', *Weigela florida* 'Variegata', *Wisteria floribunda* 'Pink Ice', *Prunus divaricata* 'Pissartii', *Salix integra* 'Hakuro-Nishiki', *Kerria japonica*

'Plena' тощо), причому переважають останні (18 видів). Всі вони висаджені в останні 20–30 років.

Таксономічний склад дендрофлори парку санаторію «Квітка полонини» охоплює 136 видів, які належать до 39 родин і 76 родів. Голонасінні представлені 6 родинами і 28 видами, покритонасінні – 33 родинами та 88 видами. Найбільш чисельними є родини *Rosaceae*, *Pinaceae* та *Cupressaceae* (по 20 (14,7%), 12 (8,8%) та 11 (8,1%) видів відповідно), до яких відноситься 1/3 всіх видів. Родина *Salicaceae* включає 7 видів (5,2%), родини *Aceraceae* та *Fabaceae* – по 6 (по 4,4%), *Carrifoliaceae* – 5 видів (3,7%), родини *Oleaceae* та *Fagaceae* – по 4 види (по 2,9%), родини *Betulaceae* та *Bignoniaceae* – по 3 види (по 2,2%), тобто до 11 провідних родин відноситься 60 % всіх видів дендрофлори парку. Інші 28 родин представлені одним-двома видами (табл. 1).

До інтродуцентів належить 92 види (67,6% від загальної кількості видів), чисельність яких складає 565 екземплярів. Серед екзотичних рослин найбільше

Таблиця 1

Конспект дендрофлори парку санаторію «Квітка полонини»

1	2	3	4
<i>Abies alba</i> Mill.	Pin	Абор. Гірські системи Центр. і Пд. Європи	5
<i>Abies koreana</i> Wils.	Pin	Ін. Гори півд. частини Корейського півострова (1000-1850 м над р. м.)	2
<i>Acer campestre</i> L.	Acer	Абор. Європа, Кавказ, Мала Азія, Іран.	9
<i>Acer negundo</i> L.	Acer	Ін. Пн. Америка, в Європі – з 1688 р.	2
<i>Acer negundo</i> 'Variegatum'			6
<i>Acer palmatum</i> Thunb.	Acer	Ін. Японія, Корея, Східний Китай	2
<i>Acer platanoides</i> L.	Acer	Абор. Європа, Мала Азія, Кавказ	18
<i>Acer platanoides</i> 'Globosum'			4
<i>Acer platanoides</i> 'Drummondii'			1
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	Acer	Абор. Зх. і Сер. Європа, гори Пд. Європи (Балкани), Кавказ, Мала Азія	7
<i>Acer saccharinum</i> L.	Acer	Ін. Сер. і сх. част. Пн. Америки, в Європі – з 1725 р.	12
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	Hipp	Ін. гори Балкан, здавна культивується	2
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Sim	Ін. Китай, в Європі – з 1751 р., в Чехословаччині – з 1865 р., як адвент в Європі з 1909 р.	7
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	Bet	Абор. Зах. част. Азії, Європа; півн. країни Африки.	36
<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliot	Ros	Ін. Півн. Америка	4
<i>Aucuba japonica</i> Thunb.	Garr	Ін. Східна Азія	1
<i>Berberis thunbergii</i> DC.	Verb	Ін. Японія, в Європі – з 1864 р.	9
<i>Berberis julianae</i> C.K. Schneider.	Verb	Ін. Китай, в Європі – з ого. 20 ст.	1
<i>Betula pendula</i> Roth	Bet	Абор. Європа, Сибір	26

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
<i>Buxus sempervirens</i> L.	Bux	Ін. Зх. і Пд. Європа, Кавказ, здавна кул. в Європі	14
<i>Campsis radicans</i> (L.) Seem.	Bign	Ін. Пн. Америка, з XVII-го ст. кул. в парках Європи	2
<i>Carpinus betulus</i> L.	Bet	Абор. Європа, сх. Туреччина, сх. Іран, Кавказ	22
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	Bign	Ін. Пд.-сх. області Пн. Америки, в Європі з 1726 р.	21
<i>Catalpa speciosa</i> Ward.	Bign	Ін. Пн. Америка, Півд. Частина басейну Місісіпі.	2
<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Carrière	Pin	Ін. Атлаські гори Пн. Африки (1000-2500 м н.р.м.), здавна культивується в Європі	1
<i>Cerasus avium</i> (L.) Moench.	Ros	Абор. Європа, Сер. і Мала Азія, Кавказ, пн. Африка, пн. Іран	6
<i>Cerasus serrulata</i> Lindl. 'Hisacura'	Ros	Ін. Японія, в Європі – з 19 ст. a species complex with <i>Prunus jamasakura</i> and <i>P. leveilleana</i>	30
<i>Chaenomeles japonica</i> (Thunb.) Lindl. ex Spach	Ros	Ін. Японія, Китай, в Європі – з 1796 р., в Чехословаччині – з 1865 р.	9
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (A. Murray) Parl.	Cupr	Ін. Пн. Америка, в Європі – з 1854 р., в Чехословаччині – з 1855 р.	10
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> 'Alumi'		1	
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> 'Ivonne'		2	
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> 'Stardast'		1	
<i>Ch. lawsoniana</i> 'Van Pelt's Blue'		2	
<i>Chamaecyparis obtusa</i> Endl. 'Nana Gracilis'	Cupr	Ін. Гори Японії до 600-1500 м н.р.м.	2
<i>Corylus avellana</i> L.	Cor	Абор. Європа, Сх. Африка, Мала Азія, Кавказ	8
<i>Cotoneaster horizontalis</i> Decne	Ros	Ін. Півд.-Сх. Китай, в кул. – з 1880 р.	3
<i>Crataegus momogyna</i> Jacq.	Ros	Абор. Зах. Білорусь й Україна, Молдова, Кавказ, більша частина Зах. Європи.	5
<i>Cryptomeria japonica</i> (Thunb. Ex L. fil.) D. Don	Tax	Ін. Японія, Пд. Китай, в Європі – з 1842 р.	1
<i>Deutzia scabra</i> Thunh.	Phil	Ін. Китай, Японія, в Європі – з 1822 р.	15
<i>D. scabra</i> 'Candidissima'			25
<i>Euonymus japonicus</i> Thunb.	Celas	Ін. Японія, Китай	1
<i>Fagus sylvatica</i> L.	Fag	Абор. Зх., Сер, Пд. Європа	1
<i>Fargesia murielae</i> (Gamble) T.P.Yi.	Poac	Ін. Китай. В культурі з 1913 року.	23
<i>Forsythia</i> × <i>intermedia</i> Zabel.	Olea	Гібрид <i>Forsythia suspensa</i> × <i>F. viridissima</i> , в кул. – з 1880 р.	14
<i>Frangula alnus</i> Mill.	Rham	Абор. Сер. і Зах. Європа, крім північної частини, Кавказ, Сибір, Казахстан, північ малої Азії, Китай	1
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Olea	Абор. Європа на сх. до Волги (відсутній в Іспанії, Італії, Греції), Кавказ	47
<i>Fraxinus ornus</i> L.	Olea	Абор. Півд. і Сер. Європа, Закавказзя	31
<i>Ginkgo biloba</i> L.	Gink	Ін. Пд.-Сх. Китай, в Європі – з 1730 р.	3
<i>Gymnocladus dioicus</i> (L.) Kkoch	Fab	Ін. Пн. Америки	5
<i>Hamamelis virginiana</i> L.	Ham	Ін. Східна част. Пн. Америки	2
<i>Hibiscus syriacus</i> L.	Malv	Ін. Індія, Китай, в Європі – з 1596 р.	9
<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	Hydr	Ін. Японія, в Європі – з 18 ст.	12

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
<i>Plex aquifolium</i> L.	Aquif	Ін. Пд. і Атл. Євр., Пн. Африка, сх. Кавказ, пн. Іран	5
<i>Juglans cordiformis</i> (Maxim.) Mak.	Jugl	Ін. Японія	1
<i>Juglans regia</i> L.	Jugl	Ін. Пд. Балкани, Мала, Зах. і Сер. Азія	3
<i>Juniperus chinensis</i> L.	Cupr	Ін. Сх. Азія, в Європі – з 1767 р.	11
<i>Juniperus chinensis</i> 'Blue Alps'			1
<i>J. chinensis</i> L. 'Ekspansa Variegata'			3
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Limeglow'	Cupr	Ін. Атлантичний регіон Півн. Америки	3
<i>Juniperus horizontalis</i> 'Blue Chip'			2
<i>Juniperus x media</i> 'Pfitzeriana Old Gold'	Cupr	Гібрид <i>Juniperus sabina</i> x <i>Juniperus sphaerica</i>	1
<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg. 'Blue Arrow'	Cupr	Ін. Гори Тихоокеанського регіону Півн. Америки	1
<i>Juniperus squamata</i> Lamb. 'Blue star'	Cupr	Ін. Корея, Китаю, острів Тайвань, сх. Гімалії	2
<i>Kerria japonica</i> (L.) DC. 'Plena'	Ros	Ін. Китай, в Європі – з 1834 р.	2
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik.	Fab	Абор. Зах. Європа	2
<i>Larix decidua</i> Mill.	Pin	Абор. Альпи, Карпати	16
<i>Lonicera xylosteum</i> L.	Capr	Абор. Від Архангельська до Кавказу та Прибалтики до Алтаю, Зах. Європа	1
<i>Magnolia x soulangeana</i> Soulange-Bodin.	Magn	Гібрид <i>M. denudata</i> x <i>M. liliiflora</i> , виведений у Франції в 1820 р., в Чехословаччині – з 1844 р.	9
<i>Malus sieversii</i> (Ledeb.) M.Roem 'Hiilieri'	Ros	Ін. Гори Сер. Азії (півд. Казахстан, Киргизстан, Таджикистан) і Китай (провінція Сінцзян)	3
<i>Malus domestica</i> Borkh.	Ros		3
<i>Malus floribunda</i> 'Royalty'	Ros	Ін. Японія	1
<i>Mespilus germanica</i> L.	Ros	Ін. Кавказ, Півн. Іран, Півд. і Пд.-Сх. Мала Азія	1
<i>Padus avium</i> Mill.	Ros	Абор. Європа, Пн. Африка (Марокко), Кавказ, Сибір на сх. до Єнісею	1
<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	Rut	Ін. Російський Дал. Схід, півн.-сх. Китай, Корея	2
<i>Photinia villosa</i> (Thunb.) DC.	Pin	Ін. Японія, Китай, Корея	2
<i>Philadelphus coronaries</i> L.	Phil	Ін. Пд. і Пд.-Сх. Європа, в Європі – з 18 ст.	6
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	Pin	Абор. Європа	150
<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss. 'Conica'	Pin	Ін. Пн. Америка	7
<i>Picea pungens</i> Engelm.	Pin	Ін. Пн. Америка (центр. і пд. Скелясті гори, до висоти 1800-3000 м над р. м.), в Європі – з 1862 р.	1
<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold.	Pin	Ін. Гори Балкан, передгір'я Альп, здавна кул.	10
<i>Pinus mugo</i> Turra (<i>P. mughus</i> Scop.)	Pin	Абор. Гори Сер. і Пд. Європи	10
<i>Pinus mugo</i> 'Winter Gold'			2
<i>Pinus ponderosa</i> Dougl.	Pin	Ін. Гори Тихоокеанського регіону Пн. Америки	1
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Pin	Абор. Сибір, Урал, Європа	35
<i>Platanus acerifolia</i> Willd.	Plat	Гібрид <i>P. occidentalis</i> x <i>P. orientalis</i>	7
<i>Platyclusus orientalis</i> (L.) Franco	Cupr	Ін. Корея, Китай, в Європі – з 1737 р.	15
<i>P. orientalis</i> 'Aurea Nana'			13

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
<i>Populus alba</i> L.	Sal	Абор. Серед., Пд., Сх. Європа, Сибір до Єнісею, Мала, Перед., Сер. Азія	1
<i>Populus tremula</i> L.	Sal	Абор. Європа, Казахстан, Китай, Монголія, на півострові Корея, по всій території Росії.	3
<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	Ros	Ін. Балкани, Мала і Сер. Азія, Ірак, Іран, Сирія, Кавказ (Західна Грузія)	2
<i>Prunus divaricata</i> 'Pissartii'			11
<i>Prunus divaricata</i> 'Pissartii Nigra'			1
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirbel) Franco	Pin	Ін. Пн. Америка, в Європі – з 1827 р.	6
<i>Pyracantha coccinea</i> M.J. Roemer.	Ros	Ін. Середземномор'я – від Італії до Малої Азії, Крим, в Європі – з 1629 р.	8
<i>Pyrus communis</i> L.	Ros	Абор. Півн. Європа, Азія	2
<i>Quercus robur</i> L.	Fag	Абор. Зах., Сер, Пд.-Сх. Європа	11
<i>Quercus petraea</i> (Mattuschka) Liebl.	Fag	Абор. Зах., Сер, Пд.-Сх. Європа на пн. до Норвегії, на пд. до Сицилії, на сх. до Бугу і Дністра	1
<i>Quercus rubra</i> L. (<i>Q. borealis</i> Michx.)	Fag	Ін. пд.-сх. част. Пн. Америки, в Європі – з 1691 р.	11
<i>Rhus typhina</i> L.	Anac	Ін. Пн. Америки	2
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Fab	Ін. Центр. і сх. част. Пн. Америки, в Європі з 1601	6
<i>Salix alba</i> L.	Sal	Абор. Європа (крім півночі), Мала Азія, Західна Сибір, Іран, Казахстан.	19
<i>Salix babylonica</i> L.	Sal	Ін. Північний Китай	8
<i>Salix caprea</i> L.	Sal	Абор. Європа, Мала Азія, центр. області Сибіру, Пн. Монголія, півд. райони Дал. Сходу, Японія.	2
<i>Salix caprea</i> 'Kilmarnock'			1
<i>Salix integra</i> 'Hakuro-Nishiki'	Sal	Ін. Півн.-східний Китай, Японія, Корея	2
<i>Salix matsudana</i> Koidz 'Torturosa'	Sal	Ін. Китай, Корея	8
<i>Sambucus nigra</i> L.	Capr	Абор. Європа, Кавказ, Прикаспій	1
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	Ros	Ін. Зах. Європа, Крим, Мала Азія, Півд. Африка	16
<i>Spiraea</i> × <i>billardii</i> Hérincq	Ros	Гібрид <i>Spiraea alba</i> × <i>S. douglasii</i> . В кул. з 1854 р.	3
<i>Spiraea</i> × <i>cinerea</i>	Ros	Гібрид <i>S. hypericifolia</i> × <i>S. cana</i> , 1949 р.	4
<i>Spirea</i> × <i>vanhouttei</i> (Briot) Carrière	Ros	Гібрид <i>Spirea cantoniensis</i> × <i>S. trilobata</i> , в Європі – з 1868 р., в Чехословаччині – з 1927 р.	1
<i>Swida alba</i> L. (<i>Cornus alba</i> p.p.)	Corn	Ін. Росія, Зах. і Сх. Сибір, Далекий Схід, Монголія, Півн. Корея, Японія, Півн.-Сх. Китай	3
<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz.	Corn	Абор. Європа від Прибалтики до низин Дону	3
<i>Syringa vulgaris</i> L.	Olea	Ін. Пд.-Сх. Європа, локус в Малій Азії	5
<i>Tamarix parviflora</i> DC.	Tam	Ін. Західна Азія: Ізраїль; Туреччина. Півд. Європа	2
<i>Taxodium distichum</i> (L.) L.C.M. Richard	Taxod	Ін. пд.-сх. Пн. Америки, в Європі – з 1640 р.	1
<i>Taxus baccata</i> L.	Tax	Абор. Європа, Середземномор'я	4
<i>T. baccata</i> 'Fastiagata aurea-marginata'			2

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
<i>Thuja occidentalis</i> L.	Cupr	Ін. Пн. Америка (до 900 м над р.м.), в Європі – з 1536 р., в Чехословаччині – з 1809 р.	10
<i>Thuja occidentalis</i> ‘Smaragd’			50
<i>Thuja occidentalis</i> ‘Danica’			11
<i>Thuja occidentalis</i> ‘Globosa’			10
<i>Thuja plicata</i> D. Don.	Cupr	Ін. Тихоокеанське узбережжя США і Канади, до 1900 м над р. м., в Європі – з 1844 р.	20
<i>Thuja plicata</i> ‘Zebrina’			1
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Til	Абор. Європа (крім півночі), Крим, Кавказ	14
<i>Ulmus glabra</i> Huds. (<i>Ulmus scabra</i> Mill.)	Ulm	Абор. Центр. та Сх. Європа, Крим. п/ос і Мала Азія	8
<i>Ulmus glabra</i> ‘Pendula’			2
<i>Viburnum opulus</i> L.	Capr	Абор. Сер. і Пд. Європа, Мала Азія, Пн. Африка, Сер. Азія, Зх. Сибір.	8
<i>Viburnum rhytidophyllum</i> Hemsl.	Capr	Ін. Центр. і зх. Китай, в Європі – з 1900 р.	4
<i>Weigela florida</i> (Bunge) DC.	Capr	Ін. Китай, Корея, в Європі – з 1845 р.	2
<i>Weigela florida</i> ‘Variegata’			1
<i>Wisteria sinensis</i> (Sims) Sweet	Fab	Ін. Сх. Азія (Японія, Китай), в Європі – з 1816 р.	3
<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC. ‘Pink Ice’	Fab	Ін. Японія	1
<i>Yucca smalliana</i> Fern (syn. <i>Y. filamentosa</i>)	Agav	Ін. Пд.-сх. Атлантичні області Пн. Америки	18
ВСЬОГО			1132

У таблиці подано наступну інформацію: 1 – таксон (вид, культивар); 2 – родина; 3 – регіон походження; 4 – кількість (штук). **Ін.** – інтродуцент, **Абор.** – аборигенний таксон.

представників китайсько-японського походження (28 видів, 21%) та північно-американського (25 видів, 18%).

Біоморфологічний аналіз показав, що дерева та чагарники представлені майже в однаковій кількості – 57 (49,1%) та 55 (47,4%) видів відповідно, а життєва форма ліани – всього 4 видами (3,4%).

Вікові градації деревних порід парку співпадають з основними періодами посадок. Найстаршими є дерева *Abies alba*, *Tilia cordata*, *Ulmus glabra* та *Fraxinus excelsior*. Вік декількох екземплярів сягає 70–90 років. Можна припустити, що ці особини росли тут ще до відкриття санаторію. Вік більшості особин *Abies alba*, *Acer saccharinum*, *Acer pseudoplatanus*,

Fraxinus excelsior, *Ulmus glabra* та *Larix decidua*, які ростуть в старій частині парку, становить 50–60 років. Вік дерев *Catalpa bignonioides* та *Catalpa speciosa*, 5 особин *Cerasus serrulata*, *Acer campestre*, *Chamaecyparis lawsoniana*, *Ginkgo biloba*, *Phellodendron amurense*, *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. rubra*, *Sorbus aria*, *Ailanthus altissima*, *Taxus baccata*,

Viburnum opulus, *V. rhytidophyllum*, *Wisteria sinensis* становить 30–50 років.

Оцінка якісного стану деревно-чагарникових порід парку санаторію вказує на те, що переважна більшість рослин (1124 екземплярів) знаходиться у доброму стані. Незначна кількість рослин (10 особин) має задовільний стан: *Acer saccharinum* – 2 екз., *Cryptomeria japonica* – 1 екз., *A. alba* – 3 екз., *Larix decidua* – 3 екз., *Cerasus serrulata* – 1 екз.

Тільки 3 дерева *Abies alba* знаходяться в незадовільному стані, одна особина *Sambucus nigra* та дві особини *C. serrulata* – в стані відмирання. Дереву *A. saccharinum* вражені омелою.

Унаслідок обстежень виявлено, що на території парку санаторію «Квітка полонини» сформовані три типи ландшафтів. На парковій ландшафти, які розташовані на території позаду корпусу «Квітка полонини», припадає 40% від загальної площі. Ці ділянки мають розвинену дорожньо-стежкову мережу, елементи благоустрою, споруди та будівлі, заклади громадського

харчування, спортивні майданчики, атракціони, дитячі ігрові майданчики тощо. Основною композиційною структурою є алейні насадження.

Навколо корпусу «Сузір'я» сформований пейзажний ландшафт, який включає стрижений газон, дерева та чагарники з природною формою крон, невелику водойму з плавними обрисами, скульптури з каменю та металу і яскраві квіти, висаджені групами біля водойми та будинку. Основною композиційною структурою є дерева, які висаджені солітерами, але частина з них посаджена з певними порушеннями (відстань від дерева до найближчих насаджень зазвичай у 1,5 рази менша за його висоту).

Лісопарковий ландшафт напіввідкритого типу займає площу до 30% і характеризується поєднанням окремих груп дерев, галявин та ставок, що оточений деревами, але бракує акцентів (кущів, які гарно цвітуть, солітерів з виразною формою крони).

Неоднозначною структурною категорією парку є несформовані насадження, до яких відноситься 4% усіх дерев. Їх не можна віднести до певних композиційних структур через неоднорідність деревних рослин та неадекватним розташуванням.

Пішохідні доріжки на території санаторію вимощено сучасною бруківкою, біля річки облаштовано оглядові майданчики, встановлено нові оригінальні лавочки, вишукані ліхтарі, оригінальні скульптури з каменю і металу, функціонує 4 фонтани, зокрема скульптури-фонтан «Квітучий кінь» та «Водолій мінеральної води «Полі-бачі».

Обговорення

Таксономічний склад зелених насаджень парку санаторію «Квітка полонини» характеризується великим діапазоном – 136 видів та 31 культивар деревно-чагарникових рослин. Для порівняння у провідних парках м. Дніпродзержинська число видів і форм дерев і кущів не досягає навіть 40; у Центральному парку Запоріжжя «Дубовий гай» – 66 видів і 17 форм дерев і кущів; у насадженнях м. Нової Каховки зафіксовано 87 видів та 9 форм деревних, кущових і витких рослин (Кузнецов та ін., 1997); у курортному парку міста Моршин виявлено 80 видів рослин (Пацура та ін., 2013). Дендрофлора штучних заповідних парків зони широколистяних лісів Рівненської області представлена 127 видами, 73 родами й трьома родинами, а дендрофлора 14 парків пам'яток садово-паркового мистецтва складена

133 видами рослин (Покотилова, 2018).

Останнє дослідження дендрофлори парку санаторію «Квітка полонини» проводилось у 2008 році (Роговський, 2008). За цей час сталися певні зміни кількісного та якісного складу дендрофлори. Поповнення видового різноманіття здійснювалось, в основному, за рахунок екзотичних рослин.

В умовах передгір'я Карпат на території санаторію успішно вирощують види рослин які характерні для більш теплого і м'якого клімату: *Aucuba japonica*, *Fargesia murielae*, *Photinia villosa*, а такі види як: *Ginkgo biloba*, *Gymnocladus dioicus*, *Juglans cordiformis*, *Mespilus germanica*. *Phellodendron amurense* щорічно плодоносять і дають схоже насіння, причому *Gymnocladus dioicus* активно розмножується, завдяки чому і розширює свої площі.

Парковий ландшафт характеризується дещо загущеними посадками, а в останні роки відсутністю планування та хаотичними підсадками екзотичних дерев та чагарників.

Деякі з інтродукованих видів є інвазійними. До таких відносяться *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* та *Ailanthus altissima*. Окремо варто відзначити наростаючу проблему експансії *Ailanthus altissima*. Особливу загрозу становить насіннева поросль, яка швидко виростає до молодих дерев, конкурентно витісняючи інші, розладнуючи та забруднюючи композиції зелених насаджень. Боротьба з порослю потребує значного ресурсу, тому, мабуть, доцільним буде видалення всіх дерев-продуцентів насінневого матеріалу.

Парк активно відвідується як відпочиваючими, так і туристами, і виконує соціальні функції, є осередком біологічного різноманіття, на важливість забезпечення чого звертають увагу зарубіжні дослідники (Braubach et al., 2017; Kirk et al., 2021).

Висновки

Дослідження, проведені на території парку санаторію «Квітка полонини», дали можливість встановити склад та стан дендрофлори, яка характеризується значним видовим і формовим різноманіттям. Голонасінні представлені 28 видами та 21 культиваром, що об'єднані в 6 родин та 15 родів. Покритонасінні нараховують 88 видів та 10 культиварів, що належать до 33 родин та 61 роду. Родина Rosaceae представлена найбільшою кількістю видів, а чисельно переважають рослини видів *Abies alba* та *Thuja occidentalis*. Видове та

формове різноманіття дендрофлори парку санаторію «Квітка полонини» свідчить про адаптивну здатність деревних видів рослин до кліматичних умов регіону.

Загалом переважають рослини північно-американського та східно-азійського походження, за життєвою формою – дерева і чагарники, які представлені однаковою кількістю видів.

Оцінка якісного стану деревно-чагарникових порід парку санаторію вказує на те, що переважна більшість рослин (1124 екземпляри) знаходиться у доброму стані.

Малі архітектурні форми відрізняються високою якістю, оригінальністю та висо-

ким рівнем виконання, а їх використання є доречним.

Запропоновано заходи з догляду за насадженнями, зокрема заміна окремих рослин, які втратили своє функціональне та декоративне значення, поліпшення ландшафтно-планувальної структури і функціонального зонування території та видалення всіх дерев-продуцентів інвазійного виду *Ailanthus altissima*.

Враховуючи унікальність сформованого ландшафту та значне видове і формове різноманіття дендрофлори, пропонується внести парк санаторію «Квітка полонини» до списку пам'яток садово-паркового мистецтва місцевого значення.

Список використаної літератури

Барбарич А.І. Декоративні рослини. В кн.: Рослинність Закарпатської області УРСР. К., 1954. С. 255–269.

Бесеганич І.В., Гасинець Я.С., Кіш Р.Я., Сойма А.Д., Вакерич М.М. Парки та сквери історичного мікрорайону «Малий Галагов» м. Ужгорода. *Науковий Вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2020. №49. С. 7–35.

Бойко Т.О., Дементьєва О.І. Деревна рослинність дендропарку Херсонського державного аграрного університету. *Український екологічний журнал* 2018. 8 (2). С. 120–127.

Гасинець Я.С., Бесеганич І.В., Кіш Р.Я., Сойма А.Д., Вакерич М.М. Дендрофлора скверу пл. Шандора Петефі м. Ужгорода та її сучасний стан. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2017. №42. 94–105.

Геник Я.В., Дудин Р.Б., Дида А.П., Марутяк С.Б., Каспрук О.І. Систематична структура дендрофлори та санітарний стан паркових насаджень міст Карпатського регіону України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво (Частина І)*. 2013. 18 (7). С. 42–52.

Денисюк Н.В. Екологічні проблеми озеленення міста Рівне. *Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів*. Мат. V Всеукр. наук.-техн. конф., м. Рубіжне, 22–26 квітня 2019 р. Рубіжне, 2019. С. 61–63.

Інструкція з технічної інвентаризації зелених насаджень у містах та селищах міського типу України. Київ: Держжитлокомунгосп, 2001. 26 с.

Каспрук О.І. Садово-паркові насадження старовинної частини міста Львова і шляхи підвищення їх фітомеліоративної ефективності: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.03.01; Львів: Укр. держ. лісотехн. ун-т. 2003. 18 с.

Кохно М.А., Пасічний А.О., Чуприна П.Я., Ципаляк Г.Н. Деревя і кущі міських декоративних насаджень Прикарпаття та Закарпаття. *Український ботанічний журнал*. 1980. Т. 37, № 2. С. 27–31.

Кохно М.А., Гордієнко В.І., Захаренко Г.С., Колесниченко О.В., Кузнецов С.І. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева й кущі. Голонасінні: Довідник. Київ: Вища школа, 2001. 207 с.

Кохно М.А., Пархоменко А.І. Зарубенко А.У., Вахновська Н.Г., Горелов О.М., Клименко С.В., Собко В.Г., Шумик М.І., Дорошенко О.К., Коршук Т.Г., Музика Г.І., Діденко Т.В., Горб В.К., Косенко І.С., Козлов В.Г., Колесниченко О.М., Сидорук Т.М., Харчишин В.Т. Дендрофлора України. Дикорослі та культивовані дерева й кущі. Покритонасінні. Частина І: Довідник. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 448 с.

Кохно М.А., Трофименко Н.М., Пархоменко, А.І. та ін. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина ІІ: Довідник. Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 716 с.

Крамарець В.О., Кучерявий В.О., Соломаха В.А. Паркова та лісопаркова рослинність міст заходу України. *Український ботанічний журнал*. 1992. 49 (3). С. 12–20.

Масальський В.П., Кузнецов С.І. Аборигенна дендрофлора покритонасінних – основа паркобудування в Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. 28 (8). С. 14–18.

Мельник В.Й., Денисюк Н.В. Таксономічна та екологічна структури дендрофлори парків і скверів міста Рівне. В кн.: Наукові розробки України та ЄС у сфері природничих наук. 2020. С. 523–540.

Михайлович Н.В. Структурний аналіз дендрофлори парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва «Чернівецький парк культури і відпочинку ім. Т.Г. Шевченка». *Науковий вісник Національного ун-ту біоресурсів і природокористування України*. 2014. № 1. С. 175–180.

Немерцалов В.В., Коломійчук В.П., Васильєва Т.В. Сучасний стан дендрофлори парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва місцевого значення «Парк інституту ім. В.П. Філатова». *Вісник Одеського національного ун-ту. Біологія*. 2021. Т. 26, 1 (48). С. 55–70.

Пацура І.М., Івченко А.І., Янків Ю.Я., Хомюк П.Г., Часковский О.Г., Вицега Р.Р. Дендрофлора парку курорту міста Моршин і перспектива природної динаміки її складу. *Науковий вісник НАТУ України*. 2013. 23 (4). С. 15–24.

Покотилова К. Систематичний та біоморфологічний аналіз дендрофлори штучних заповідних парків Рівненської області. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. Серія: Біологічні науки, 2018. 8 (381). С. 17–22.

Пономарьова О.А., Бессонова В.П., Іванченко О.Є. Дендрофлора парку ім. Ю. Гагаріна у Дніпропетровську. *Науковий вісник НАТУ України*. 2014. 24 (1). С. 63ж69.

Роговський С.В. Особливості інтродукційної оптимізації рекреаційного ландшафту на території санаторію «Квітка полонини». *Науковий вісник НАТУ України*. 2008. 18 (12). С. 50–60.

Сиплива Н.О. Інвентаризаційні дослідження парків-пам'яток садово-паркового мистецтва Вінниччини. *Вісник Національного науково-природничого музею*. 2014. №12. С. 116–122.

Чуприна П.Я., Гордієнко Г.Г. Поширення інтродукованих голонасінних рослин на Поліссі, в Лісостепу, Прикарпатті та Закарпатті України. В кн.: Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. Київ, 1978. №12. С. 52–61.

Фодор С.С. Акліматизовані деревні та чагарникові породи Закарпаття. В кн.: Охороняймо природу. Ужгород. 1964. С. 75–91.

Фодор С.С., Терлецький В.К., Гладун Я.Д. Екзоти Карпат. Ужгород: Карпати, 1982. 120 с.

Bartha D. An Annotated and Updated Checklist of the Hungarian Dendroflora. *Acta Botanica Hungarica*. 2021. 63 (3-4). P. 227–284.

Braubach M., Eragov A., Volf T. Effects of urban Green Space on Enviromental Health, Equity and Resilience Nature-based Solutions to Climate Change in Urban Areas. *Linkages of science, society and policy*. 2017. 237–253.

Dudkiewicz M., Dudkiewicz M., Dabski M., Durlak W. Dendroflora zabytkowego parku w Kijanach. *Formatio circumiectus*. 2015. №14. P. 15–25.

Kirk H., Garrad G.E., Croeser T. et al. Building biodiversity into the urban fabric: a case study inappling Biodiversity Sensitive Urban Design (BSUD) urban forestry and Urban Greening. 2021. 62 p.

Mosyakin S., Fedoronchuk M. Vascular plants of Ukraine (a nomenclatural cheklist). Kiev: M.G. Kholodny Institute of Botany, 1999. 346 p.

Spohnovi M., Spohnovi R. *Stromy Evropy*. Praga-Plzen. 2013. 303 p.

Tafra D., Pandza M., Milovic M. Woody plants of the Omis. *The nature of Croatia*. 2012. № 2. P. 301–334.

References (translated & transliterated)

Barbarych, A.I. (1954). Dekoratyvni roslyny. [Decorative plants]. V kn.: Roslynnist Zakarpatskoi oblasti URSR [In the book: Vegetation of the Transcarpathian region of the Ukrainian SSR.]. Kyiv [in Ukrainian].

Besehanych, I.V., Hasynets, Ya.S., Kish, R.Ya., Soyma, A.D., & Vakerych, M.M. (2020). Parky ta skvery istorychnoho mikroraionu «Malyi Galagov» m. Uzhhoroda [Parks and park squares of the historical urban district «Malyi Galagov» of Uzhhorod city]. *Naukovyi Visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seria Biologhiia [Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series Biology]*, 49, 7–35 [in Ukrainian].

Boiko, T.O., & Dementieva, O.I. (2018). Derevna roslynnist dendroparku Khersonskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu [The tree vegetation of the Kherson State Agrarian University Arboretum]. *Ukrainskyi ekolohichnyi zhurnal [Ukrainian journal of ecology]*, 8 (2), 120–127 [in Ukrainian].

Hasynets, Ya.S., Besehanych, I.V., Kish, R.Ya., Soima, A.D., & Vakerych, M.M. (2017). Dendroflora skveru pl. Shandora Petefi m. Uzhhoroda ta yii suchasnyi stan [Public park dendroflora of Shandora Petefi square of Uzhhorod town and its present state]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriya Biologiya* [Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology], 42, 94–105 [in Ukrainian].

Henyk, Ya.V., & Dudyn, R.B. (2013). Systematychna struktura dendroflory ta sanitarnyi stan parkovykh nasadzen mist Karpatskoho rehionu Ukrainy [Systematic structure of dendroflora and sanitary condition of park plantations in the cities of the Carpathian region of Ukraine]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia. Seriya: Lisivnytstvo ta dekoratyvne sadivnytstvo (Chastyna I)*. [Scientific bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management. Series: Arboriculture and Ornamental Horticulture], 187(1), 42–52 [in Ukrainian].

Denysiuk, N.V. (2019). Ekolohichni problemy ozelenennia mista Rivne [Environmental problems of greening the city of Rivne]. *Aktualni problemy nauково-promyslovoho kompleksu rehioniv* [Actual problems of the scientific and industrial complex of the regions]. Materiali V Vseukrainskoyi nauk.-tekhn. konf. [Materials of the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference]. Rubizhne, pp. 61–63 [in Ukrainian].

Instruktsiia z tekhnichnoi inventaryzatsii zelenykh nasadzen u mistakh ta selyshchakh miskoho typu Ukrainy. (2001) [Instructions for the technical inventory of green plantings in towns and settlements of the Ukrainian type]. Kyiv [in Ukrainian].

Kaspruk, O.I. (2003). Sadovo-parkovi nasadzhenia starovynnoi chastyny mista Lvova i shliakhy pidvyshchennia yikh fitomelioratyvnoi efektyvnosti: avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk : 06.03.01; Lviv: Ukr. derzh. lisotekhn. un-t. [Garden and park plantations of the old part of the city of Lviv and ways of increasing their phytomelioration efficiency: author's abstract. thesis ... candidate s.-g. of science. Lviv: Ukraine state forest technology Univ] [in Ukrainian].

Kokhno, M.A., Pasichnyi, A.O., Chupryna, P.Ya., & Tsypaliak, H.N. (1980). Dereva i kushchi miskykh dekoratyvnykh nasadzen Prykarpattia ta Zakarpattia [Trees and bushes of urban ornamental plantings in Prykarpattia and Transcarpathia]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian botanical journal], 37 (2), 27–31 [in Ukrainian].

Kokhno, M.A., & Gordiyenko, V.I. (2001). Dendroflora Ukraine: dikorosli i kulytvovani dereva i kuschi. Golonaisinni: dovidnik [Dendroflora of Ukraine: wild and cultivated trees and shrubs. Gymnosperms]. Kyiv: Visha shkola [in Ukrainian].

Kokhno, M.A. (ed.) (2002). Dendroflora Ukraine: dikorosli i kulytvovani dereva i kuschi. Pokrytonasinni. – I [Dendroflora of Ukraine: wild and cultivated trees and shrubs. Angiosperms. P. I], Kyiv: Fitosociocentr [in Ukrainian].

Kokhno, M.A., & Trofimenko, N.M. (ed.) (2005). Dendroflora Ukrainy: dykorosli i kulytvovani dereva i kuschi. Pokrytonasinni. – Ch. II [Dendroflora of Ukraine: wild and cultivated trees and shrubs. Angiosperms P. II]. Kyiv: Fitosociocentr [in Ukrainian].

Kramarets, V.O., Kucheriavyyi, V.O., & Solomakha, V.A. (1992). Parkova ta lisoparkova roslynnist mist zakhodu Ukrainy [Park and forest-park vegetation of the city of Ukraine]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian botanical journal], 49(3), 12–20 [in Ukrainian].

Masalskyi, V.P., & Kuznietsov, S.I. (2018). Aboryhenna dendroflora pokrytonasinnykh – osnova parkobuduvannia v Lisostepu Ukrainy [Aboriginal dendroflora of angiosperms is the basis of park construction in the Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy* [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine], 28 (7), 49–52 [in Ukrainian].

Melnyk, V.Y., & Denysiuk, N.V. (2020). Taksonomichna ta ekologichna struktura dendroflory parkiv i skveriv mista Rivne [Taxonomic and ecological structure of dendroflora of parks and squares of the city of Rivne]. V. kn.: Naukovi rozrobky Ukrainy ta YeS u sferi pryrodnychkykh nauk [In book: Scientific developments of Ukraine and EU in the area of natural sciences] [in Ukrainian].

Mykhailovych, N.V. (2014). Strukturnyi analiz dendroflory parku-pamiatky sadovo-parkovoho mystetstva «Chernivetskyi park kultury i vidpochynku im. T.H. Shevchenka» [Structural analysis of the dendroflora of the park-monument of horticultural art “Chernivetsky Park of Culture and Recreation named after T. G. Shevchenko”]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho un-tu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy* [Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine], 1, 175–180 [in Ukrainian].

Nemertsalov, V.V., Kolomiichuk, V.P., & Vasilyeva, T.V. (2021). Suchasnyi stan dendroflory parka-pamiatky sadovo-parkovoho mystetstva mistsevoho znachennia «Park instytutu im. V.P. Filatova»

[Current state of dendroflora of the monument park of garden artistry of local importance “Park of V. P. Filatov institute”]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho un-tu. Biologhiia [Bulletin of Odessa National University. Biology]*, 26, 1 (48), 55–70 [in Ukrainian].

Patsura, I.M., & Ivchenko, A.I. (Eds). (2013). Dendroflora parku kurortu mista Morshyn i perspektyva pryrodnoi dynamiky yii skladu [Dendrological flora of the Morshyn park resort and perspective of its natural dynamics of tree composition]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 23 (4), 15–24 [in Ukrainian].

Pokotylova, K. (2018). Systematychnyi ta biomorfolohichnyi analiz dendroflory shtuchnykh zapovidnykh parkiv Rivnenskoï oblasti [Systematic and Biomorphological Analysis of Dendroflora of Artificial Protected Parks of the Rivne Region]. *Naukovyi visnyk Skhidnoevropeiskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Serii: Biologichni nauky [Lesia Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin Series: Biological Sciences]*, 8, 381 [in Ukrainian].

Ponomaryova, O.A, Bessonova, V.P., & Ivanchenko, O.Ye. (2014). Dendroflora parku im. Yu. Haharina u Dnipropetrovsku [Dendroflora of Dnipropetrovsk Yu. Gagarin Park]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 24 (1), 63–69 [in Ukrainian].

Rohovskyi, S.V. (2008). Osoblyvosti introduktsiinoï optymizatsii rekreatsiinoho landshaftu na terytorii sanatoriiu «Kvitka polonyny» [Features of the introductory optimization of the recreational landscape on the territory of the sanatorium “Kvitka Polonyna”. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 18 (12), 50–60 [in Ukrainian].

Syplyva, N.O. (2014). Inventaryzatsiini doslidzhennia parkiv-pamiatok sadovo-parkovoho mystetstva Vinnychchyny [Inventory research of parks-monuments of horticultural art of Vinnytsia]. *Visnyk Natsionalnoho nauково-pryrodnychoho muzeiu [Bulletin of the National Science and Nature Museum]*, 12, 116–122 [in Ukrainian].

Chupryna, P.Ya., & Hordiienko, H.H. (1978). Poshyrennia introdukovanykh holonasinnykh roslyn na Polissi, v Lisostepu, Prykarpatti ta Zakarpatti Ukrainy [Distribution of introduced gymnosperms in Polissia, in the Forest Steppe, Prykarpattia and Transcarpathia of Ukraine]. V kn.: *Introduktsiia ta aklimatyziatsiia roslyn na Ukraini [In book: Introduction and acclimatization of plants in Ukraine]*, 12, 52–61 [in Ukrainian].

Fodor, S.S. (1964). Aklimatyizovani derevni ta chaharnykovi porody Zakarpattia. [Acclimatized tree and shrub species of Transcarpathia]. V kn.: *Okhoroniaimo pryrodu. Uzhhorod: Karpaty. [In the book: Let's protect nature]. Uzhhorod [in Ukrainian].*

Fodor, S.S., Terletskyi, V.K., & Hladun, Ya.D. (1982). Ekzoty Karpat. [Exotics of the Carpathians]. Uzhhorod: Carpathians [in Ukrainian].

Bartha, D. (2021). An Annotated and Updated Checklist of the Hungarian Dendroflora. *Acta Botanica Hungarica*, 63 (3–4), 227–284 [in English].

Braubach, M., Eragov, A., & Volf, T. (2017). Effects of urban Green Space on Enviromental Health, Equity and Resilience Nature-based Solutions to Climate Change in Urban Areas. *Linkages of science, society and policy* [in English].

Dudkiewicz, M., Dabski, M., & Durlak, W. (2015). Dendroflora zabytkowego parku w Kijanach. *Formatio circumiectus*, 14, 15–25 [in English].

Kirk, H., Garrad, G.E., & Croeser, T. et al. (2021). Building biodiversity into the urban fabric: a case study inapplying. *Biodiversity Sensitive Urban Design (BSUD) urban foresty and Urban Greening* [in English].

Mosyakin, S., & Fedoronchuk, M. (1999). Vascular plants of Ukraine (a nomenclatural cheklist). Kiev: M.G. Kholodny Institute of Botany [in English].

Spohnovi, M., & Spohnovi, R. (2013). *Stromy Evropy. Praga-Plzen: Beta-Dobrovský Ševčík* [in English].

Tafra, D., Pandza, M., & Milovic, M. (2012). Woody plants of the Omis. *The nature of Croatia*, 2, 301–334 [in English].

Отримано: 08.11.2023

Прийнято: 29.11.2023



УДК 574:911.2

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.12>

ФОРМУВАННЯ ЕКОМЕРЕЖІ ЛОКАЛЬНОГО РІВНЯ НА ПРИКЛАДІ ПРОЄКТУВАННЯ ЕКОМЕРЕЖІ ВИЖНИЦЬКОГО РАЙОНУ ЧЕРНІВЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Н. В. Заблотовська¹, О. М. Данілова², Ю. П. Білоус³, П. Д. Осташек⁴

Формування екологічної мережі є одним із найбільш ефективних способів збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Але якщо на національному та регіональному рівні дана проблема піднімається досить часто, то на локальному – згаданий напрям ще потребує активності вчених. На фоні провадження реформи децентралізації, коли дотримання умов для забезпечення екологічно безпечного навколишнього природного середовища стало проблемою керівництва громади, розробки та вивчення екологічних мереж є не тільки науково актуальними, але й практично значимими. Адже для повноцінного функціонування територіальної громади необхідна розробка стратегії екологічного розвитку, задля забезпечення дотримання засад сталого розвитку. У статті запропоновано проєкт екомережі новоствореного Вишницького адміністративного району Чернівецької області з детальністю до рівня територіальних громад. Із урахуванням географічних особливостей території, відмінностей у їх заселенні та економічному розвитку. У Вишницькому районі наявні такі складові локальної екомережі як: ключові території (природні ядра – лісові масиви), екологічні коридори (водотоки, річки, їх долини, заплавна та лучна місце-

¹ кандидат географічних наук,
доцент кафедри географії України та регіоналістики,
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: n.zablotovskaja@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7669-6118

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри економічної географії та екологічного менеджменту,
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: o.danilova@chnu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3800-6750

³ здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 106 Географія,
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: bilous.yurii@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0003-8205-1396

⁴ здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 106 Географія,
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: ostashek.petro@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0002-1007-5914

вість), буферні зони (можна назвати їх ще захисними, або ж перехідними до території людської діяльності – сіножаті, пасовиська, сільськогосподарські поля, які не часто обробляються тощо). Лісові масиви Покутсько-Буковинських Карпат та ліси Буковинського передгір'я складають природні ядра локальної екологічної мережі Вижницького району. Додаються ще відновні території – НПП «Вижницький», та «Черемоський», ЗЗ «Зубровиця». Чітко виділяються три основні гідрологічні екокоридори: Екокоридор «Черемош», екокоридор «Сірет» та екокоридор «Сучава» (останні два належать до міждержавних). Варто вказати й на «Буковинський екокоридор», створений фахівцями Вижницького НПП і зоологами ЗЗ «Зубровиця» на основі досліджень проведених у 2010 році. Нами ж виділено локальні екокоридори – «Путила», «Міхідра-Міходерка», «Коритниця», «Бережниця-Бережонка», «Псярева», «Глибочок», «Брусниця». Вони є складовими коридорів регіонального та загальнодержавного рівнів і є невід'ємною частиною екомережі.

Ключові слова: екологічний коридор, ключова територія, природне ядро, буферна зона, екологічна мережа.

FORMATION OF A LOCAL LEVEL ECOLOGICAL NETWORK ON THE EXAMPLE OF DESIGNING THE ECOLOGICAL NETWORK OF THE VIZHNYTSIA DISTRICT OF THE CHERNIVTSI REGION

N. V. Zablotska, O. M. Danilova, Y. P. Bilous, P. D. Ostashek

Forming an ecological network represents a highly efficient approach to safeguarding biological and landscape diversity. Nevertheless, while this matter is frequently brought up at national and regional scales, it still demands the involvement of scientists at the local level. In the context of decentralisation reform, ensuring an environmentally safe environment has become a concern for community leaders. This makes the development and study of ecological networks both scientifically relevant and practically significant. After all, to achieve sustainable development, it is imperative to establish an environmental development strategy that enables a territorial community to operate at full capacity. The article presents a proposal for an ecological network in the recently established Vyzhnytsia administrative district of the Chernivtsi region. The proposal includes specific details down to the level of territorial communities and considers the region's geographical features, population diversity, and economic development. The Vyzhnytsia district contains several elements of the local ecological network, including key areas such as forests, ecological corridors such as watercourses, rivers, their valleys, floodplain and meadow areas, as well as protective or transitional buffer zones which may include hayfields, pastures and less frequently cultivated agricultural fields. Such buffer zones contribute towards support for areas that are immediately surrounding human activity. The woodlands of the Pokutsko-Bukovyna Carpathians and the Bukovyna foothills constitute the natural nucleus of the local ecological network of the Vyzhnytsia district. Additionally, there are restoration areas such as the National Parks «Vyzhnytskyi» and «Cheremoskyi», and the Zubrovtsyia Reserve. Three main hydrological eco-corridors have been identified in the area, namely the Cheremosh eco-corridor, the Siret eco-corridor, and the Suceava eco-corridor (the latter two are interstate). The Bukovyna Ecocorridor, which was established by specialists from Vyzhnytsia National Park and zoologists from the Zubrovtsyia Reserve following research in 2010, deserves particular attention. Several local eco-corridors have been identified, including Putyla, Mihidra-Mikhoderka, Korynytsia, Berezhnytsia-Berezhonka, Psysareva, Hlybochok and Brusnytsia, all of which are integral components of both regional and national ecological networks.

Key words: ecological corridor, key area, natural core, buffer zone, ecological network.

Вступ

На зламі ХХ початку ХХІ століття основними тенденціями у взаємодії суспільства та природи стало розширення ареалів їх взаємодії і перехід від локального рівня до глобального, перевищення рівнів екологічно допустимого антропогенного впливу на природу, порушення механізмів саморегулювання та відновлення рівноваги у природному середовищі та екологічних функцій геоекосистем. Людство, порушивши

чотири основних принципи свого існування – втрата цілісності біосфери, зміни в глобальному землекористуванні, зміни біохімічних циклів, вплив на планетарні і регіональні зміни клімату зіштовхнулося із необхідністю переосмислення своїх взаємовідносин із навколишнім природним середовищем. Усвідомивши небезпеку розвитку за старими принципами існування – «брати по-максимуму незважаючи на можливості та вичерпність ресурсів» – було запропоно-

вано нову парадигму розвитку, що розглядається як збалансований розвиток економічної, екологічної та соціальної складових, численні завдання якого пов'язані із необхідністю вирішення проблем збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Визначення на міжнародному рівні сучасної стратегії охорони природи (збереження не окремих ланок природи (видів, угруповань), а головних рівнів організації її біоти (від популяцій до екосистем) стало поштовхом для обґрунтування нових підходів до реалізації практичних засад охорони природи. Як спосіб вирішення описаних вище проблем була розроблена концепція екомережі.

Ідея створення екологічної мережі, як природоохоронної технології виникла у 80-х роках минулого століття. У 1993 році на Міжнародній конференції «Охорона природної спадщини Європи через створення Європейської екологічної мережі» (м. Маастріхт, Нідерланди) фахівцями було запропоновано створити Європейську екологічну мережу (European Ecological Network або EECONET). Питання формування Європейської екомережі було включено у Всеєвропейську стратегію збереження біологічного та ландшафтного різноманіття (Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy або PEBLDS), прийняту на 3-й Всеєвропейській конференції міністрів з охорони навколишнього середовища європейських країн (Софія, 23–25 жовтня 1995 р.).

Історичні подробиці становлення концепції екомереж досить докладно розглянуто в працях Гродзинського М. Д. (Гродзинський 2005; 2014) Варто зауважити, що зазначена концепція ґрунтується, передусім, на піонерних розробках Р. МакАртура та Е. Вільсона з теорії т.зв. острівної біогеографії (MacArthur R. H. et. al., 1967) Практично одразу ж після формулювання основ цієї теорії з'явилася низка публікацій, в яких розглядалися можливості її застосування до умов наземних ландшафтів. І, напевне, найбільш повний аналіз таких можливостей виконано Дж. Даймоном і Р. Меєм (Даймон і Меєм, 1981). Другим теоретичним джерелом концепції екомереж і екологічних коридорів можна вважати теорію метапопуляції та засновану на ній т.зв. метапопуляційну стратегію охорони живої природи (Levins, 1970). У результаті творчого осмислення цих ідей на початку 1980-х років одночасно в Європі та США було розроблено дві концепції т.зв. екологічної структури ландшафту,

дуже близькі за змістом і вихідними принципами. У США така концепція отримала назву «моделі екологічних плям і коридорів» (Forman, 1986; 1995), а в Європі – «територіальних систем екологічної стабільності ландшафту» (Buseck & Lacina 1983; Low, 1985). Пізніше в інших європейських країнах оформилися близькі за стратегією концепції, які було покладено в основу розробки регіональних і національних схем охорони екосистем і ландшафтів.

Окрім згаданої Всеєвропейської екомережі, існує ще декілька важливих національних і міжнародних програмних ініціатив щодо створення мереж територій, що охороняються, для реабілітації стану довкілля, зокрема, «Природа-2000», «Смарагдова мережа». Програма «Природа-2000» реалізується на теренах країн Європейського Союзу. Для країн, які не належать до Євросоюзу, території спеціального збереження та середовища існування рідкісних і зникаючих видів визначені Резолюцією Постійного комітету Бернської конвенції № 4 від 1996 року і вони формують Смарагдову мережу Європи, яка є аналогом програми «Natura-2000» (Майорова, 2021).

Уваги заслуговують доробки українських вчених спрямовані на розробку та вивчення Карпатської екомережі, невід'ємною частиною якої є Буковинський екокоридор. Саме обґрунтуванням меж останнього займаються фахівці Управління екології та управління природними ресурсами разом із науковцями Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича (Білоконь, 2012; Масікевич, 2020). Про важливість вивчення екологічної складової при просторовому плануванні громад йдеться у колективній праці фахівців Інституту географії Академії наук України під керівництвом Л.Г. Руденка (Руденко, 2014; 2020). Дослідженням екологічних мереж на локальному рівня займаються фахівці Вінницької географічної школи під керівництвом Г. І. Денисика (Денисик, 2021). Особливості природокоористування саае в басейнах малих річок України розкривають у колективній монографії географи тернопільської географічної школи (Царик, 2021).

В Україні з початку ХХІ століття значна увага вчених була зосереджена на розробленні екомереж національного та регіонального рівнів. І лише впродовж минулого десятиріччя активізувались розробки проєктів локальних екомереж. Серед них переважають дослідження екомереж адміністра-

тивних районів (Яценюк, 2018; Царик, 2022, 2023; Маруняк, 2023). Однак, дані вишукування ускладнилися впровадженням адміністративно-територіальної реформи й пов'язаними з нею змінами в особливостях управління природними ресурсами на рівні територіальних громад. Необхідність розробки проєктів локальних екокоридорів на території Вишницького району підсилюється ще й тим, що Буковинський екокоридор охоплює близько третини сучасного Вишницького району Чернівецької області. Однак, враховуючи специфіку природних умов та географічного положення регіону дослідження, доцільним стає проєктування локальних екомереж на рівні поєднання території громад.

Тому метою цього дослідження є проєктування екомереж локального рівня (у Вишницькому районі Чернівецької області), функціонування яких допоможе у майбутньому розвивати громади (на умовах децентралізації) більш збалансованішого та раціональнішого підходу у використанні ресурсів території, а також збереженню біорізноманіття. Для цього необхідно: проаналізувати наявний картографічний матеріал (на рівні топографічних карт) щоб сформулювати загальне розуміння природних особливостей досліджуваних громад, узагальнити інформацію щодо функціонування екологічних коридорів регіонального та вищих рівнів і лише тоді спроектувати локальні екомережі в контексті функціонування згаданих коридорів.

Матеріал і методи

Для вирішення поставлених завдань дослідження, необхідно було створити картографічну основу. Нами використано картографічні матеріали – карти Власенка (2006) року масштабом 1:100000 (в 1 см 1 км). Вони зручні тим, що на них відображено межі сільських рад сіл за старим адміністративним поділом, а також, відображено річки, водотоки, притоки, джерела, лісові масиви, лучну рослинність, пасовища та сіножаті, населені пункти, сільськогосподарські угіддя, тощо. Щоб відобразити межі сучасного Вишницького району було використано 5 квадратів карт (Віков-де-Сус – населений пункт Сучавського повіту Румунії, на півночі; Коломиа – південно-східна частина Івано-Франківської області; Радівці – північ Румунії, Сучавський повіт; Рахів – місто у східній частині Закарпатської області; Чернівці – обласний та адміністративний центр Чернівецької області та Чернівецького

району України). Також використані матеріали Вишницької районної військової адміністрації (Схема планування, 2016; Паспорт Вишницького району, 2023). У межах досліджуваної території (Вишницького району, Чернівецької області) були виділені такі складові локальної екомережі: ключові території (або ж іншими словами природні ядра – лісові масиви), екологічні коридори (водотоки, річки, їх долини, заплавна та лучна місцевість), буферні зони (захисні, або ж перехідні до територій людської діяльності – сіножаті, пасовиська, сільськогосподарські угіддя, які не часто обробляються, тощо).

Результати

Одним із найбільш ефективних способів збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, балансу природних і змінних ландшафтів, їх варіативності, а також, умов для забезпечення екологічно безпечного навколишнього природного середовища існування населення є формування екологічної мережі різного таксономічного рангу. Важливість її створення обґрунтовується низкою аргументів найважливішими серед яких є наступні: в умовах поглиблення системної кризи цивілізації біосфера виступає основою біологічного існування людства і стає бар'єром на шляху екологічної кризи; живі організми є одними із найбільш чутливих інформаційних індикаторів тих змін, які відбуваються в довкіллі; зберігаючи, як найбільш цінні та найменш порушені ділянки природи вона забезпечує умови, які необхідні для виживання популяцій видів у ландшафті залученому в господарську діяльність.

У межах України реалізується три територіальні рівні екомереж: національний (міжрегіональний), регіональний і локальний. Кожен із зазначених територіальних рівнів екомереж виконує свої завдання, що дозволяє інтегрувати всі цінні для збереження біологічного та ландшафтного різноманіття елементи регіону в єдині екомережі найвищого рівня (Всеєвропейську тощо). Особливо важливими при проєктуванні є екомережі найменших територіальних рівнів – регіональні та локальні, так як саме вони визначають які території стануть елементами екомережі. Найдетальнішим є проєктування локальних екомереж, в процесі якого визначаються всі елементи екомереж, їхнє місцезнаходження та вирішення відповідних питань щодо землеустрою та ін.

Саме тому при проведенні даного дослідження нами було детально проаналізовано структуру природно-заповідного форму регіону дослідження, структуру земельних ресурсів та генеральний план території, а також досліджено її географічні особливості. Після створення картографічної основи нами поетапно виокремлювали основні структурні елементи екомережі. На першому етапі виділено гідрографічну мережу. Поряд з основними річками району – Черемош, Сірет, були виділені р. Сучава, р. Путила, р. Перкалаб, р. Виженка, Лустун, Борсуки, Миговка, Міхідра, Міходерка, Брусниця, Псярева, Глибочок, Бережниця, Бережонка, Коритниця. Річки, які протікають в межах громад проектується екологічними коридорами. Наступним кроком стало виокремлення ключових територій, якими є лісові масиви Покутсько-Буковинських Карпат, та ліси Буковинського передгір'я, які вкривають більшу половину району (рис. 1).

У межах району функціонують НПП «Вижицький» та НПП «Черемоський», які є структурно інтегровані до європейської, національної і регіональної екомережі, виконуючи роль ключових територій відповідного рангу (див. рис. 1).

Екологічні коридори мають видовжену лінійну форму різної ширини, сполучають ключові території (природні ядра) між собою. У нашому випадку, вони представлені лінійно-видовженими водотоками, руслами, заплавами місцевостями та долинами.

На представленій картосхемі чітко виокремлюються три основних екологічних коридори – екокоридор «Черемош», екокоридор «Сірет» та екокоридор «Сучава», які таксономічно інтегровані в локальну, регіональну і відповідно в міждержавну екомережі.

Екокоридор «Черемош» має напрямок з південного-заходу на північний схід, і на схід Вижицького району. Ширина

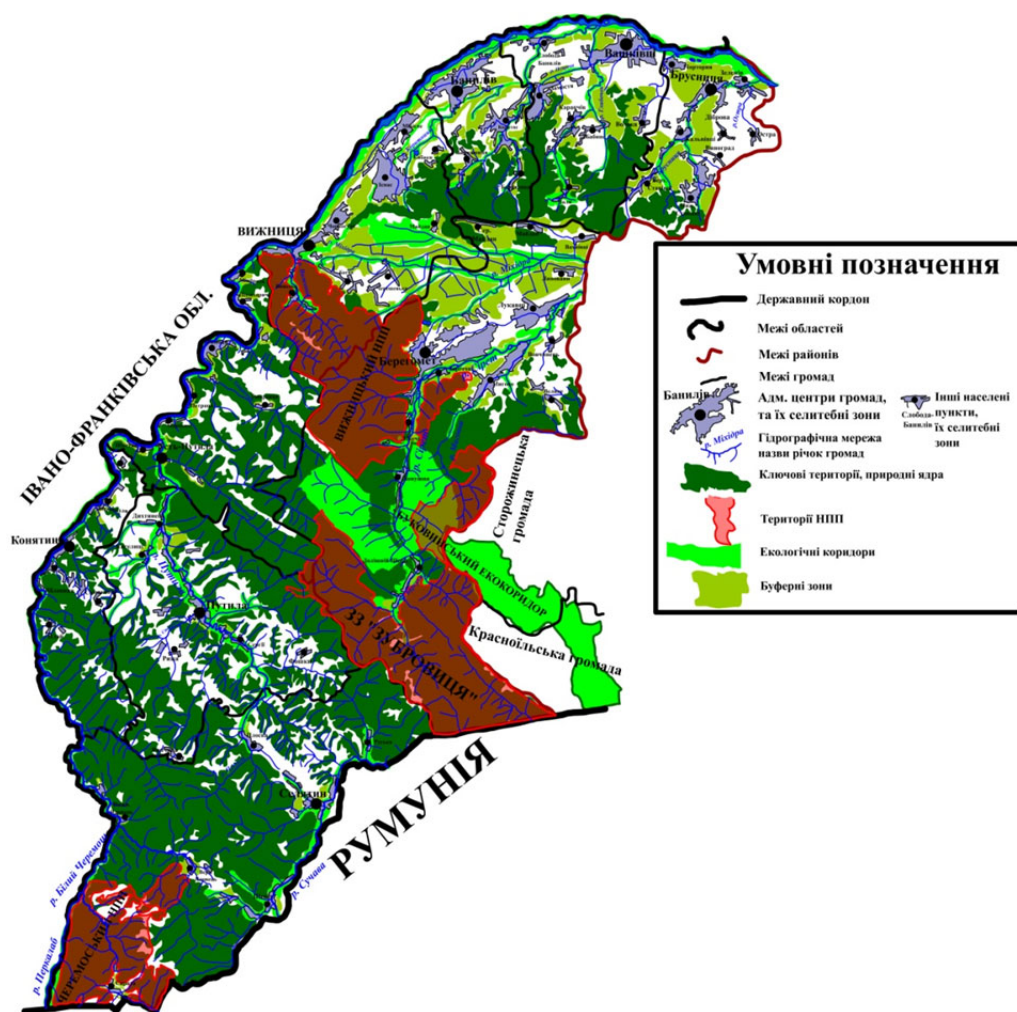


Рис. 1. Картосхема локальної екомережі Вижицького району

екокоридору залежить від ширини та форми річкової долини, відповідно у гірській місцевості ширина долини р. Черемош складає 100 м., а при виході на рівнину до чотирьох кілометрів (сягає до третьої тераси) і її форма змінюється із U-подібної на трапецієподібну. У Вишницькій, Банилівській, Вашківецькій, Брусницькій громадах цей коридор займає заплавні місцевості річки. У таких населених пунктах як Іспас, Мілієве, Банилів, Слобода-Банилів, Вашківці, Чортория часто межа між заплавними місцевостями та сельбищною зоною звужується, тим самим буферна (перехідна) зона у цих місцях майже відсутня. Наразі колишні пасовища освоюються населенням громад та у майбутньому будуть потребувати більшої уваги, оскільки дані землі можуть змінити призначення та втратити теперішні екологічні функції. До екокоридору також включено територію між другою та третьою терасою річки Черемош (місцева назва «Забереж»), висотою приблизно до двадцяти метрів, яка заліснена переважно дубом, буком, грабом, вільхою, сполучається з природним ядром лісового масиву у Вашківецькій громаді. Екокоридор «Черемош» сполучений з екокоридором «Прут» та поєднує природні ядра Буковинських Карпат із лісовими масивами у Чернівецькому адміністративному районі.

Екокоридор «Сірет» сполучає Карпати та природні ядра Сторожинецької громади Чернівецького району. Його напрямком аналогічний напрямку долини р.Сірет (на північ до смт. Берегомет далі, на північний схід у Вишницькому районі, південний схід у Чернівецькому районі). Як і у попередньо розглянутому екокоридорі, його ширина змінюється в гірських та рівнинних умовах. У Вишницькому районі він займає тільки одну Берегометську громаду (заплавні місцевості у населених пунктах Берегомет та Лукавці завширшки від 50 м до 80 м) і далі продовжується у Сторожинецькій громаді.

Екокоридор «Сучава» знаходиться в південній частині району у межах Селятинської громади та сполучає ключові природоохоронні ліси НПП «Черемоський» і лісові масиви на території Румунії. Екокоридор співпадає із напрямком течії річки Сучава (в Україні – північний схід, схід, Румунії – східний, південно-східний) та сполучається з екокоридором «Сірет». Він є сполучною ланкою між природними ядрами, які розташовані на території Румунії: лісові масиви поблизу міста Сучава. Його ширина, визначається формою і шириною річкової долини

та змінюється від 70 до 120 метрів. Вздовж екокоридору є велика кількість населених пунктів, що призводить до збільшення антропогенного впливу.

У межах вищезгаданих екокоридорів пропонуємо виділити наступні екологічні локальні екокоридори: «Путила» (Путильська, Усть-Путильська громади); Каналізована система «Міхідра-Міходерка» (Вишницька, Берегометська громади); «Коритниця» (Вишницька, Банилівська громади); «Бережниця-Бережонка» (Банилівська); «Псярева», «Глибочок» (Вашківецька громада); «Брусниця» (Брусницька). Зауважимо, що в межах поселенських зон територіальних громад вони піддаються антропогенному впливу.

Окремої уваги при проектуванні потребують буферні зони локальної екомережі, які є захисним елементом сполучних та ключових територій від антропогенного впливу. До них віднесені території сіножатей, переважно поблизу гірських населених пунктів, території пасовищ, орні землі сільськогосподарських угідь, які не отримують мінеральних добрив. Розташування та конфігурація буферних зон залежить від географічного положення території. Так у передгірських громадах району, таких як Банилівська, Вашківецька, Брусницька (частково Вишницька, Берегометська) із компактним розселенням та більшою площею сільськогосподарських земель угідь, вони знаходяться на околицях поселень. А пасовища у цих громадах займають заплавні території річок, луків.

У гірських громадах (Селятинська, Усть-Путильська, Конятинська, Путильська) – із дисперсним розселенням, освоєння земель відбувається у житлових зонах та по долинах річок Путила, Черемош, що зумовлює менший антропогенний вплив. Із рисунку 1 бачимо, що буферні зони менш виражені та представлені переважно сіножатями та пасовищами поблизу забудованих територій.

У виділенні елементів екомережі на рівні територіальних громад можна виокремити певні територіальні особливості.

Банилівська, Вашківецька, Брусницька ТГ. У них знаходиться одне природне ядро, частина регіонального екокоридору «Черемош», та локальні коридори, які є його складовими. Буферні зони представлені у вигляді сільськогосподарських угідь на околицях поселень. У населених пунктах Банилів, Слобода-Банилів, Вашківці,

Чорторія, Зеленів житлова забудова знаходиться дуже близько до екокоридору, а площі луків та пасовищ зменшуються, залишаючи менший простір для вільного переміщення біорізноманіття. Деякі поселення дуже близько розташовані до природних ядер, як наслідок – спостерігається відсутність перехідної зони між ними (рис. 2).

Достатньо висока освоєність земельних ресурсів потребує перегляду та охорони складових елементів екомережі, що у майбутньому сприятиме відновленню природних екосистем.

В межах Вижницької, Берегометської, Усть-Путильської ТГ площа ключових територій (природних ядер) більша ніж у попередніх громадах. Екокоридори «Черемош» та «Сірет», а також «Міхідра» сполучають природні ядра лісових масивів північно-східних частин Покутсько-Буковинських Карпат та природних ядер у Вижницькій та Сторожинецькій громадах. Функціонування природного ядра національного рівня (НПП «Вижницький») забезпечує захист та охорону лісових масивів від рубок та сприяє збереженню рідкісних видів тварин та рослин. Буферні зони переважно зосереджені у центральній частині Вижницької та північній частині Берегометської громад, це с/г угіддя та руслова системи річок Міхідра та Міходерка. В Усть-Путильській (гірській) громаді вони представлені сіножатями та пасовищами поодиноких поселень хутірського типу. У таких селах як Долішній Шепіт, Лопушна, Лекечі та поселеннях долини річки Черемош, де житлова забудова знаходиться близько знаходиться до лісових масивів та сполучних територій,

буферні зони не широкі, а в деяких місцях вони взагалі відсутні (рис. 3).

Окремо виділимо Путильську, Конятинську та Селятинську територіальні громади. Для територій даних громад буферні зони формують тільки сіножаті та пасовища поодиноких поселень на схилах гір. Тут немає великих площ сільськогосподарських угідь. Сполучними територіями тут є малі річки та їх вузькі долини. Як результат – тут виділяємо екокоридор «Путила» який є складовим екокоридору «Черемош». У Селятинській громаді функціонує екокоридор обласного та міждержавного рівня «Сучава». Він відіграє роль сполучника між природними ядрами Вижницького району України та Сучавського повіту Румунії. Оскільки дані громади є прикордонними то їй потребують спільного, з сусідньою державою, вишукування шляхів вдосконалення екологічної мережі (рис. 4).

Обговорення

Відповідно Закону України «Про засади державної регіональної політики» пріоритетними вважаються напрямки управління територіями спрямовані на збереження та відновлення кості навколишнього середовища та раціонального використання його ресурсів (Закон..., 2004; Закон..., 2015). Такі законодавчі наративи зумовили активізацію наукових вишукувань в галузі територіального планування на усіх рівнях як управлінських так і наукових. Враховуючи різноманітність природних умов та ресурсів регіонів України, відмінностей у розселенні та господарському освоєнні, сучасне геопланування територій ґрунтується «на сучасних концепціях територіальної організації суспільства,

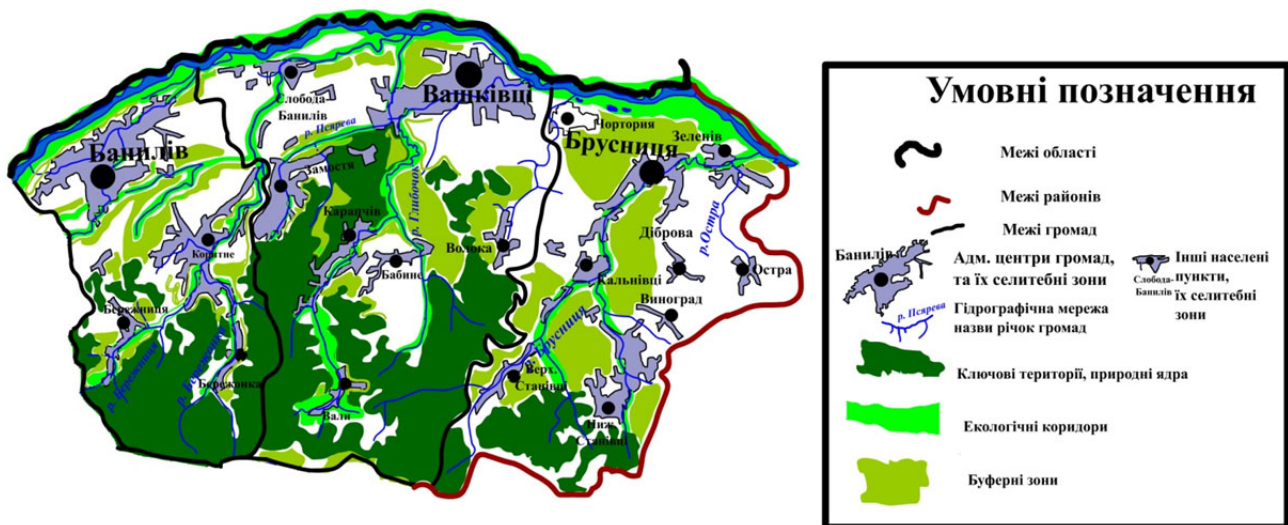


Рис. 2. Картосхема локальної екомережі першого блоку

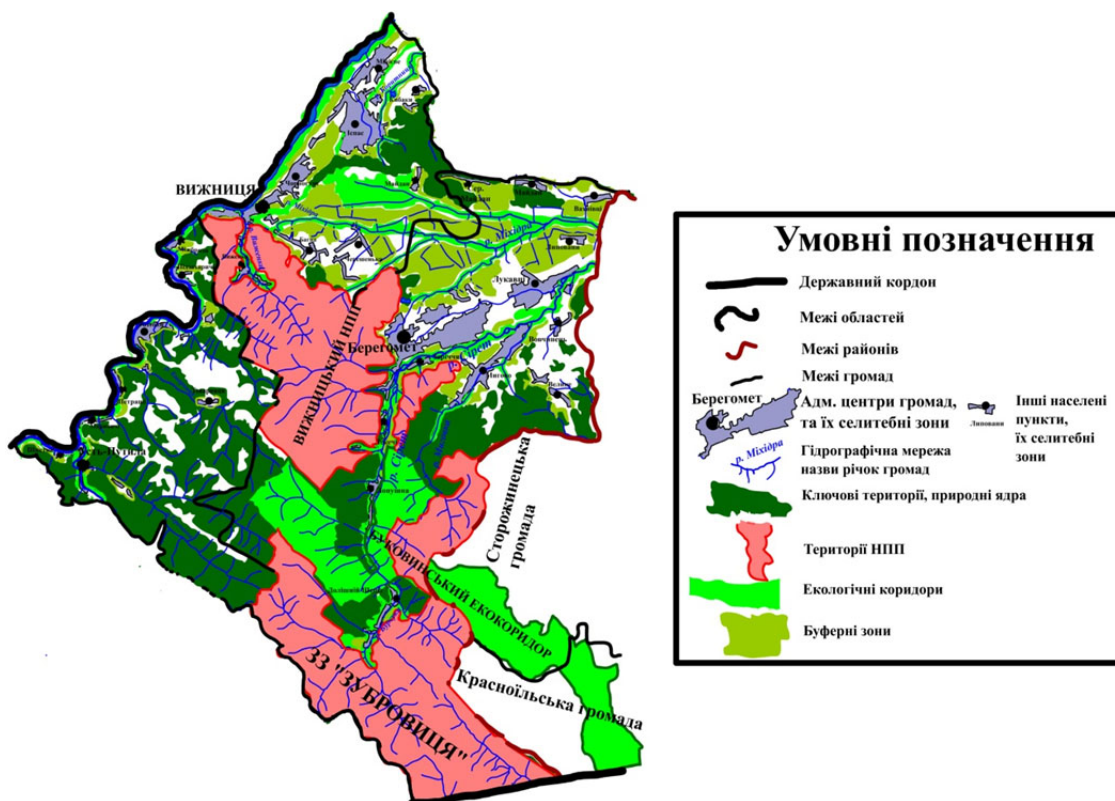


Рис. 3. Картоschema локальної екомережі другого блоку

природних каркасів екологічної безпеки території, систем розселення, територіальних систем виробничої та соціальної інфраструктури, територіальних рекреаційних систем,

якості життя населення». Прикладом наукової актуальності та практичної затребуваності проведено нами дослідження з виокремлення елементів екологічної мережа на найниж-

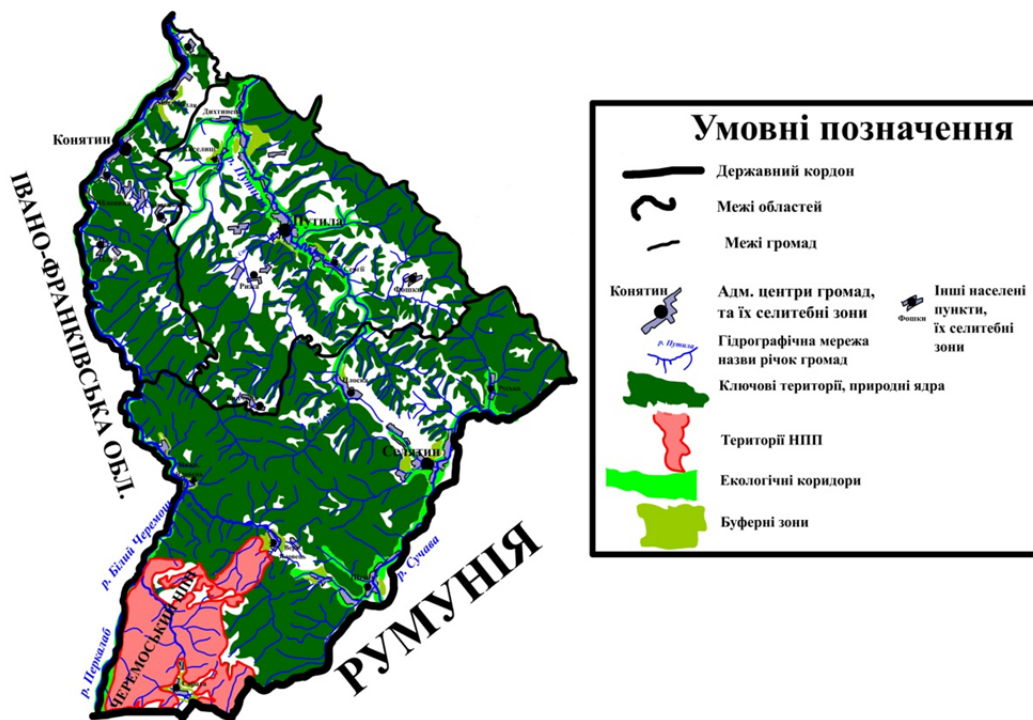


Рис. 4. Картоschema локальної екомережі третього блоку

чому адміністративно-територіальному рівні. Як бачимо, картографічний метод підсилює аналітичний підхід та дозволяє провести детальне проектування елементів екомережі на рівні територіальних громад з одного боку, та є підґрунтям для продовження аналогічних досліджень на територіях сусідніх адміністративних одиниць – з іншого.

Окремо варто зауважити на необхідності у функціонуванні територіальних громад врахування положень Стратегії сталого розвитку, зокрема й при розробках Стратегій екологічного розвитку адміністративних одиниць. Їх розробка має враховувати специфіку функціонування екологічних коридорів усіх рівнів. Тому дане дослідження є прикладом для подальших вишукувань на локальному рівні.

Висновки

В ході проведеного дослідження, поєднавши результати аналізу картографічної

інформації досліджуваних громад із установленими положеннями функціонування екологічних коридорів регіонального, загальнодержавного та міжнародного рівнів нами спроектовано локальні екомережі в межах Вишницького адміністративного району. Виокремлені нами найдетальніші елементи екомережі (з їх точним місцезнаходженням) можуть слугувати екологічною основою для оптимального територіального планування територіальних громад (у контексті розміщення селітебних зон, території для рекреації, розміщення виробництва, екомаршрутів, тощо). Врахування розміщення та функціонування запропонованих екокоридорів дозволить впровадити ідеї Стратегії сталого розвитку при розробці Концепції регіонального розвитку Вишницького району та окремих територіальних громад, що на сучасному етапі є нагальним завданням.

Список використаної літератури

Білоконь М.В., Іваненко І.Б., Кохан О.М., Масікевич Ю.Г., Матвеев С.Р., Мовчан Я.І., Проценко Л.Д. Буковинський екокоридор: обґрунтування варіантів втілення і аргументів для громади в умовах експлуатації. *Вісник Національного транспортного університету*. 2011. № 22. С. 157–165.

Білоконь М.В., Масікевич Ю.Г. Фітосанітарний стан букових насаджень Чернівецької області на територіях природно-заповідного фонду. *Науковий вісник НУБіП України. Сер.: Лісівництво і декоративне садівництво*. 2012. Вип. (17).1. С. 34–38.

Вишницька районна державна адміністрація (Районна військова адміністрація). Паспорт Вишницького району Чернівецької області. Чернівці 2023 [Електронний ресурс]. URL: https://rada.info/upload/users_files/04062086/ae0ba1d031540054cc7f05a8381e3419.pdf (дата звернення: 18.04.2023).

Вишницький район (схема планування територій). Київ. 2016 [Електронний ресурс]. URL: <http://new.vnrda.gov.ua/images/doc/shema2017/2016.compressed.pdf> (дата звернення: 16.05.2023).

Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: Місце і простір. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. Том.1. 431 с.

Гродзинський М.Д. Ландшафтна екологія : підручник. Київ : Знання. 2014. 550 с.

Денисик Г. І., Яцентюк Ю.В., Воловик В.М., Барчук Ж.Г. Локальна екомережа міста Вінниця. *Український географічний журнал* – 2021. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.041>.

Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року: Закон України [Електронний ресурс]. URL: <http://dei.gov.ua/menu-4/2012-01-22-11-32-56/528> (дата звернення 19.04.2023).

Про екологічну мережу України: Закон України [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15> (дата звернення 19.04.2023).

Інтеграція екологічної складової в просторові плани громад (методичні настанови). Під ред. акад. Л.Г. Руденка. Київ : Інститут географії НАН України. 2020. 168 с.

Ландшафтне планування в Україні / Л.Г. Руденко та ін.. Київ : Реферат, 2014. 144 с.

Лозо О.В. Екологічна мережа як правовий формат регулювання та охорони ландшафтів. *Право: Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Григорія Сковороди*. 2014. №21. С. 91–95.

Майорова О.Ю., Ковальчук І.І., Прокоп'як М.З., Крижановська М.А. Природно-заповідний фонд Хмельницької області в контексті формування Смарагдової мережі. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Харків : Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна*, 2021. № 35. С. 131–139. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-12>.

Маруняк Є.О., Голубцов О.Г., Лісовський С.А., Чехній В.М., Фаріон Ю.М. Методичні підходи і практика розробки ландшафтних планів територіальних громад (на прикладі Пісочинської та Роганської громад Харківської області). *Ландшафтознавство*. 2023. №2(2). С. 46–55. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-46-55>.

Масікевич А.Ю. Науково-практичні засади підвищення рівня екологічної безпеки Покутсько-Буковинських Карпат: дис. ... д-ра техн. наук : спец. 21.06.01. Харків, 2020. 354 с.

Самойленко В.М., Корогода Н.П. Регіональні та локальні екомережі : підручник. Київ : «ЛОГОС», 2013. 192 с.

Топографічні карти заходу України Власенка. Київ. 2006. [Електронний ресурс]. URL: <https://maps.vlasenko.net/map1k-2006.html> (дата звернення 16.04.2023).

Природокористування та охорона природи у басейнах малих річок : монографія / А.П.Царик та ін. 2-ге вид., перероб. і доповн. Тернопіль : СМП «Тайп», 2021. 162 с.

Царик П., Царик Л., Кузик І., Царик В. Перспективні моделі заповідної і екологічної мереж територіальних громад Чортківського району. *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія*. 2023. №1. С. 256–263.

Царик Л., Царик П., Кузик І., Царик В. Перспективний регіональний ландшафтний парк «Баришський» у структурі екомережі Тернопільщини. *Scientific Collection «InterConf+»*, 2022. № 105. С. 248–258. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2022.025>.

Яценюк Ю.В. Відновлювальні території парадинамічної антропогенної ландшафтної системи екомережі Мурованокуріловецького району Вінниччини. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2018. № 1-2 (29). С. 29–39 <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-29-03>.

Bucek A., Lacina J. Vytvareni uzemnich systemu ekologicke stability jako predpoklad zachovani genofondu. *Aktualni problemy ochrany fauny. UVO CSAV a KSPPOP*. Brno. 1983. P. 117–123.

Diamond J.M., May R.M. Island biogeography and the design of natural reserves. *Theoretical Ecology. 2nd edition. Ox-ford: Blackwell*. 1981. P. 228–252.

Forman R.T.T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge: University Press 1995. 632 p.

Forman R.T.T., Godron M. Landscape Ecology. New York : Wiley & Sons, 1986. 620 p.

Levins R. Extinction. *Some mathematical Questions in Biology*. Amer. Mathem. Soc. Providence, RI, 1970. Vol. 2. P. 77–107.

Low J. Territorial systems of the landscape ecological stability. *VII-th Int. Symp. on the Problems of Landscape Ecological Re-search «The Topical Problems of Landscape Ecological Research and Planning»*. Bratislava. 1985. Panel 1, Vol. 2. P. 24–38.

MacArthur R.H., Wilson E.O. The Theory of Island Biogeography. Princeton; N.J.: Princeton University Press, 1967. 203 p.

References (translated & transliterated)

Bilokonj, M.V., Ivanenko, I.B., Kokhan, O.M., Masikevych, Ju.Gh., Matveev, S.R., Movchan, Ja.I., & Procenko, L.D. (2011). Bukovyns'kyj ekokorydor: obghruntuvannja variantiv vtillennja i arghumentiv dlja ghromady v umovakh ekspluataciji [Bukovyna eco-corridor: justification of implementation options and arguments for the community in the conditions of exploitation]. *Visnyk Nacional'nogho transportnogho universytetu [Bulletin of the National Transport University]*, 22, 157–165 [in Ukrainian].

Bilokonj, M.V., & Masikevych, Ju.Gh. (2012). Fitosanitarnyj stan bukovykh nasadzenj Chernivec'kohoji oblasti na terytorijakh pryrodno-zapovidnogho fondu [Phytosanitary condition of beech plantations in the Chernivtsi region in the territories of the nature reserve fund]. *Naukovyj visnyk Nacional'nogho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannja Ukrainy. Ser.: Lisivnyctvo ta dekoratyvne sadivnyctvo [Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Ser: Forestry and ornamental gardening]*, 171(1), 34–38 [in Ukrainian].

Vyzhnyckja rajonna derzhavna administracija (Rajonna vijs'kova administracija). Pasport Vyzhnyckogho rajonu Chernivec'kohoji oblasti. Chernivci [Vyzhnytsia District State Administration (District Military Administration). Passport of the Vyzhnytsia district of the Chernivtsi region. Chernivtsi]. [Electronic resource] URL: https://rada.info/upload/users_files/04062086/ae0ba1d031540054cc7f05a8381e3419.pdf (access date 18.04.2023) [in Ukrainian].

Vyzhnyckyj rajon (skhema planuvannja terytorij). [Vyzhnytsia district (territory planning scheme)]. Kyiv. [Electronic resource] URL: <http://new.vnrda.gov.ua/images/doc/shema2017/2016.compressed.pdf> (access date 16.05.2023) [in Ukrainian].

Ghrodzysjkyj, M.D. (2005). Piznannja landshaftu: misce i prostir [Understanding Landscape: Place and Space. In two volumes], 1, Kyiv: Kyivs'kyj universytet [in Ukrainian].

Denysyk, Gh.I., Jacentjuk, Ju.V., Volovyk, V.M., & Barchuk, Zh.Gh. (2021). Lokaljna ekomerezha mista Vinnycja [Local econetwork of vinnycia City]. *Ukrayins'kyj heohrafichnyy zhurnal – 2021 [Ukrainian Geographical Journal – 2021]*. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.041> [in Ukrainian].

Zakon Ukrainy “Pro osnovni zasady (strateghiju) derzhavnoji ekologhichnoji polityky Ukrajinny na period do 2020 roku” [On the basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period up to 2020]. [Electronic resource] URL: <http://dei.gov.ua/menyu-4/2012-01-22-11-32-56/528> (access date 19.04.2023) [in Ukrainian].

Zakon Ukrajinny «Pro ekologhichnu merezhu Ukrajinny» [About the Ecological Network of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15> (access date 19.04.2023).

Integracija ekologichnykh vymogh v prostorovi plany ghromad (metodychni nastanovy) [Integration of environmental requirements into spatial plans of communities (guidelines)] / Gh.V. Ajlikova, O.Gh. Gholubcov, T.V. Kryshtop, S.A. Lisovs'kyj, Je.O. Marunjak ta in. / Pid red. L.Gh. Rudenka (2020). Kyiv: Instytut gheohrafiji NAN Ukrajinny [in Ukrainian].

Rudenko, L.Gh. (2014). Landshaftne planuvannja v Ukraini: Metodychni nastanovy [Landscape planning in Ukraine] Kyiv: Referat [in Ukrainian].

Lozo, O.V. (2014). Ekologhichna merezha jak pravovyj format reghuljuvannja ta okhorony landshaftiv [Ecological network as a legal format for landscape regulation and protection]. *Zbirnyk naukovykh pracj Kharkivskogho nacional'nogho pedagoghichnogho universytetu im. GhS Skovorody. Serija [Collection of scientific papers of H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, «Pravo»]*, 21, 91–95 [in Ukrainian].

Majorova, O.Ju., Kovalchuk, I.I., Prokop'jak, M.Ja.Z., & Kryzhanovs'jka, M.A. (2021). Pryrodnozapovidnyj fond Khmel'nyts'koho oblasti v konteksti formuvannja Smaraghdovoji merezhi [The Nature Reserve Fund of Khmelnytskyi Region in the Context of the Emerald Network Development]. *Lyudyna ta dovkillja. Problemy neoekolohiji. Kharkiv : Kharkivsk'kyj natsional'nyj universytet im. V.N. Karazina [Man and environment. Problems of neoecology. Kharkiv: Kharkiv National University named after V.N. Karazin]*, 35, 131–139. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-12> [in Ukrainian].

Marunjak, Je.O., Gholubcov, O.Gh., Lisovs'kyj, S.A., Chekhnij, V.M., & Farion, Ju.M. (2023). Metodychni pidkhody i praktyka rozrobky landshaftnykh planiv terytorialnykh ghromad (na prykladi PISOCHYNS'KOJI TA ROGHANS'KOJI GHROMAD KHARKIVS'KOJI OBLASTI) [Methodical approaches and practice of developing landscape plans of territorial communities (on the example of PISOCHYNSK and ROGHANSK communities of Kharkiv region)]. *Landshaftoznavstvo [Landscape science]*, 2(2), 46–55. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-46-55> [in Ukrainian].

Masikevych, A.Ju. (2020). Naukovo-praktychni zasady pidvyshhennja rivnja ekologhichnoji bezpeky Pokuts'ko-Bukovyns'kykh Karpat [Scientific and Practical Principles of Increasing the Level of Ecological Safety of the Pokutsko-Bukovyna Carpathians] (Doctoral dissertation, Kharkiv) [in Ukrainian].

Samojlenko, V.M., & Korohoda, N.P. (2013). Reghionaljni ekologhichni merezhi: Pidruchnyk [Regional ecological networks: A textbook] [z ghryfom MONMS Ukrainy]. Kyiv : «Loghos» [in Ukrainian].

Topoghrafichni karty zakhodu Ukrajinny [Topographical maps of western Ukraine] Vlasenka. Kyjiv. 2006. [Electronic resource] URL: <https://maps.vlasenko.net/map1k-2006.html> (access date 16.04.2023) [in Ukrainian].

Caryk, L.P., Caryk, P.L., Kuzyk, I.R., & Caryk, V.L. (2021). Pryrodokorystuvannja ta okhorona pryrody u basejnakh malykh richok [Natural resource management and nature protection in small river basins] (2nd ed.). Ternopil [in Ukrainian].

Caryk, P., Caryk, L., Kuzyk, I., & Caryk, V. (2023). Perspektyvni modeli zapovidnoji i ekologhichnoji merezhi terytorialnykh ghromad Chortkivskogho rajonu. Naukovi zapysky Ternopil'skogho nacional'nogho pedagoghichnogho universytetu imeni Volodymyra Ghnatjuka. Serija: gheohrafija [Perspective models of the reserve and ecological networks of territorial communities of Chortkiv district]. *Naukovi zapysky TNPU im. V. Hnatyuka. Serija: Heohrafija. [Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: geography]*, 54(1), 256–263. <https://doi.org/10.25128/2519-4577.23.1.28> [in Ukrainian].

Caryk, L., Caryk, P., Kuzyk, I., & Caryk, V. (2022). Perspektyvnyj reghionalnyj landshaftnyj park «Baryshs'kyj» u strukturi ekomerezhi Ternopil'shchyny [A promising regional landscape park «Baryshs'kyj» in the structure of the ecological network of Ternopil'shchyna]

“Baryshsky” in the structure of the ecological network of Ternopil Region.]. *Scientific Collection «InterConf+»*, 105, 248–258. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.04.2022.025> [in Ukrainian].

Jacentjuk, Ju.V. (2018). Vidnovljuvaljni terytoriji paradynamichnoji antropoghennoji landshaft-noji systemy ekomerezhi Murovanokuryloveckogho rajonu Vinnychchyny [The recovery territories of the paradynamic anthropogenic landscape system of the econetwork of Murovanokurylovetsky district of Vinnytsia region]. *Ljudyna ta dovkillja. Problemy neoekologhiji [Man and the environment. Issues of neoecology]*, (1–2), 29–39. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2018-29-03> [in Ukrainian].

Bucek, A., & Lacina, J. (1983). Vytvareni uzemnich systemu ekologicke stability jako predpoklad zachovani genofondu. *Aktualni problemy ochrany fauny. UVO CSAV a KSPPOP*, Brno, 117–123 [in English].

Diamond, J.M., & May, R.M. (1981). Island biogeography and the design of natural reserves. *Theoretical Ecology. 2nd edition. Ox-ford: Blackwell* [in English].

Forman, R.T.T. (1995). Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge: University Press [in English].

Forman, R.T.T., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York : Wiley & Sons [in English].

Levins, R. (1970). Extinction. *Some mathematical Questions in Biology*. Amer. Mathem. Soc. Providence, RI, 2, 77–107 [in English].

Low, J. (1985). Territorial systems of the landscape ecological stability. *VII-th Int. Symp. on the Problems of Landscape Ecological Re-search «The Topical Problems of Landscape Ecological Research and Planning»*. Bratislava. Panel 1, 2, 24–38 [in English].

MacArthur, R.H., & Wilson, E.O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton; N.J.: Princeton University Press [in English].

Отримано: 07.11.2023

Прийнято: 29.11.2023



УДК 582.26/27

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.13>

ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ СТУБЕЛКА ЗА ПОКАЗНИКАМИ ФІТОПЛАНКТОНУ

І. В. Ковальова¹, І. А. Суходольська²

Фітопланктон, як первинна ланка трофічного ланцюга, швидко реагує на кліматичні, гідрологічні, гідрохімічні та інші зміни, що відбуваються у водній екосистемі. Миттєва реакція фітопланктону, що відображається у перебудові структурно-функціональних параметрів (видового багатства, співвідношення відділів, кількості видів, індексу Шеннона, середньої маси клітин, домінантів та субдомінантів), дозволяє об'єктивно оцінити якість води та стан водної екосистеми. Метою роботи було оцінити якість води р. Стубелка за видами-індикаторами фітопланктону. У статті проаналізовано сезонні зміни фітопланктону р. Стубелка та виявлено 109 видів водоростей, представлених 111 внутрішньовидовими таксонами із 8 відділів, 14 класів, 32 порядків, 43 родин та 75 родів. Показано, що фітопланктон р. Стубелка формують відділи *Vacillariophyta* (46,8% загальної кількості видів), *Chlorophyta* (27,9%), *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%).

Встановлено, що біомаса фітопланктону варіює від 0,21 мг/дм³ (жовтень) до 1,04 мг/дм³ (червень), а чисельність – від 714 тис. кл/дм³ (жовтень) до 3424 тис. кл/дм³ (серпень). Індекс Шеннона змінюється за біомасою від 3,97 біт/мг до 4,80 біт/мг, а за чисельністю – від 3,15 біт/екз до 4,74 біт/екз. У річці переважає полідомінантна структура фітопланктону. За індексом сапробності (1,55–2,04) вода р. Стубелка змінюється від α -олігосапробної до β -мезосапробної зони та відповідає II–III класам якості (чиста, помірно забруднена). Ядро фітопланктону р. Стубелка формують бентосні та планктонно-бентосні види, повільнотекучі за насиченням води киснем і реофільністю, індіференти за відношенням до галобності та температури води. Переважають індіференти та алкаліфіли за відношенням до рН. Виявлено найбільшу кількість видів-автотрофів, що витримують підвищені концентрації нітрогеновмісних органічних сполук. За рівнем трофності мезоевтрофні види становлять 41%. Види-індикатори органічного забруднення води (за системою Ватанабе) переважно представлені еврисапробами (помірно забруднені води), а за системою Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) найбільша кількість бета-мезосапробіонтів. Встановлено, що вода р. Стубелка за рівнем органічного забруднення згідно системи Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) належить до III класу якості (помірно забруднена).

Ключові слова: види-індикатори, видове багатство, сапробність, біомаса, чисельність, річка.

¹ здобувачка PhD зі спеціальності 101 – Екологія
(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне)
e-mail: ilona.basaraba@rshu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-6720-0419

² кандидат біологічних наук,
доцент кафедри екології, географії та хімії
(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне)
e-mail: iryana.sukhodolska@rshu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-7502-3061

EVALUATION OF WATER QUALITY OF THE STUBELKA RIVER ACCORDING TO PHYTOPLANKTON INDICATORS BY

I. V. Kovalova, I. L. Sukhodolska

Phytoplankton, as the primary link of the trophic chain, quickly reacts to climatic, hydrological, hydrochemical and other changes occurring in the aquatic ecosystem. The immediate reaction of phytoplankton, which is reflected in the restructuring of structural and functional parameters (species richness, ratio of departments, number of species, Shannon's index, average cell mass, dominants and subdominants), allows the most accurate assessment of water quality and the state of the aquatic ecosystem. The aim of the study was to assess the water quality of the Stubelka River by phytoplankton indicator species. The article analyzes the seasonal changes of the phytoplankton of the Stubelka River and reveals 109 species of algae, represented by 111 intraspecific taxa, 8 divisions, 14 classes, 32 orders, 43 families, and 75 genera. It is shown that the phytoplankton of the Stubelka River is formed by Bacillariophyta (46.8% of the total number of species), Chlorophyta (27.9%), Cyanobacteria (8.1%) and Euglenozoa (8.1%). It was established that the biomass of phytoplankton varies from 0.21 mg/dm³ (October) to 1.04 mg/dm³ (June), and the number – from 714 thousand cells/dm³ (October) to 3424 thousand cells/dm³ (August). The Shannon index varies by biomass from 3.97 b/mg to 4.80 b/mg, and by abundance – from 3.15 b/c to 4.74 b/c. The polydominant structure of phytoplankton prevails in the river. According to the saprobicity index (1.55–2.04), the water of the Stubelka River varies from the α -oligosaprobic to the β -mesosaprobic zone and corresponds to the II-III quality classes (clean, moderately polluted). The core of the phytoplankton of the Stubelka River is formed by benthic and planktonic-benthic species that are slow-flowing in terms of water saturation with oxygen and rheophilicity, and are indifferent in relation to water content and temperature. Indifferents and alkaliphiles predominate in relation to pH. The largest number of autotrophic species that can withstand high concentrations of nitrogen-containing organic compounds was found. According to the level of trophicity, mesoeutrophic species make up 41%. Species-indicators of organic water pollution (according to the Watanabe system) are mainly represented by eurysamples (moderately polluted waters), and according to the Pantle-Book system (in the modification of Sladeczek), the largest number of beta-mesosaprobionts. It was established that the water of the Stubelka River belongs to the III quality class (moderately polluted) in terms of the level of organic pollution.

Key words: indicator species, species richness, saprobity, biomass, abundance, river.

Вступ

Вплив антропогенного забруднення на водні екосистеми оцінюють за різними показниками, проте, обов'язково враховують автотрофну ланку – фітопланктон. Доцільність використання фітопланктону як ефективного індикатора стану водойми детально обґрунтована багатьма авторами (Van Dam et al., 1994; Varinova et al., 2015; Varinova et al., 2019; Eliaszk-Kowalska et al., 2022; Vilous et al., 2023; Shelyuk, 2023). Без сумніву, структура угруповань фітопланктону перебудовується внаслідок коливань хімічного складу води та конкурентної взаємодії між видами різних відділів за ресурси середовища. Зміни кількості видів, співвідношення відділів, сапробності, індексу Шеннона, середньої маси клітин, домінантного комплексу водоростей, а також розподілу видів, що є індикаторами місцезростань, насиченості води киснем і реофільності, галобності, рН середовища, температурних умов, типу живлення, відношення до кількості нітрогенвмісних орга-

нічних сполук, органічного забруднення дозволяють детально вивчити та проаналізувати якість води будь якого водного об'єкту, в тому числі і р. Стубелка. Для цієї річки практично відсутні дані про таксономічний склад фітопланктону, а також якісні та кількісні показники його розвитку, що ускладнює оцінювання багаторічних змін стану водойми за показниками водоростей.

Метою роботи було оцінити якість води р. Стубелка за видами-індикаторами фітопланктону.

Матеріал і методи

Річка Стубелка протікає Здолбунівським, Дубенським та Рівненським районами Рівненської області. Площа водозабору р. Стубелка становить 1350 км², а загальна довжина – 86 км. Річка неглибока, на окремих ділянках складає 1,2–1,5 м (Коротун і Коротун, 1996).

Для визначення фітопланктону р. Стубелка (50°28'12.4"N 25°58'03.9"E) щомісяця відбирали проби води (червень–жовтень 2022 р.) на глибині 0,2–0,3 м. Усього

було відібрано 15 альгологічних проб. Проби фіксували 40% розчином формальдегіду. Після відстоювання проби концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм³. Камеральна обробка проб здійснювалася з використанням світлового мікроскопу «Laboval» (Karl Zeiss, Німеччина). Підрахунок клітин здійснено з використанням камери Нажотта об'ємом 0,02 мл. Підрахунок біомаси водоростей здійснювали загальноприйнятим розрахунково-об'ємним методом (Щербак, 2002). Для ідентифікації водоростей використовували загальновідомі визначники і довідники. Таксономічна номенклатура планктонних водоростей представлена відповідно до міжнародного електронного каталогу AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2023). Оцінку якості води за фітопланктоном проведено згідно (Методи..., 2006; Varinova et al., 2019). Сапробіологічна оцінка якості води зроблена за методом Пантле-Букк у модифікації Сладечека (Sladecsek, 1973). Біоіндикаційний аналіз здійснено з урахуванням індикаторних характеристик водоростей (Van Dam et al., 1994; Varinova et al., 2019).

Результати

Фітопланктон р. Стубелка представлений 109 видами (111 внутрішньовидовими таксонами (в.в.т.) із 8 відділів (*Bacillariophyta* 51(52), *Chlorophyta* 30(31), *Cyanobacteria* 9(9), *Euglenozoa* 9(9), *Ochrophyta* 5(5), *Miozoa* 3(3), *Streptophyta* 1(1) та *Cryptophyta* 1(1)), 75 родів, 43 родин, 32 порядків та 14 класів (рис. 1).

Найбільшою кількістю видів вирізнялися відділи *Bacillariophyta* (46,8% загаль-

ної кількості видів) та *Chlorophyta* (27,9%). На другому місці відділи *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%), а на третьому – *Ochrophyta* (4,5%). Решта видів відділів представлені наступним чином: *Miozoa* (2,7%), *Streptophyta* (0,9%) та *Cryptophyta* (0,9%). Найвищий родовий коефіцієнт виявлено у *Bacillariophyta* (1,8) та *Euglenozoa* (1,5).

У червні фітопланктон р. Стубелка представлений 50 (51) видами та в.в.т. із 8 відділів. Кількість видів зменшується до 38 видів та 6 відділів у липні, проте, у серпні зростає до 40 видів. У вересні кількість видів становить 41, які належать до 7 відділів. Фітопланктон р. Стубелка у жовні представлений лише 25(26) видами та в.в.т. 4 відділів.

Біомаса фітопланктону р. Стубелка досягає максимального значення у червні (1,04 мг/дм³), а мінімального – у жовтні (0,21 мг/дм³). Якість води за біомасою фітопланктону змінюється від II класу до III класу. Найвищу чисельність зафіксовано у серпні (3424 тис. кл/дм³), а найнижчу – у жовтні (714 тис. кл/дм³). Безумовно вищі показники чисельності та біомаси виявлені влітку, а нижчі – восени (рис. 2).

Складність структури угруповань альгофлори відображає індекс видового різноманіття Шеннона. Значення індексу за чисельністю змінюється від 3,15 біт./екз. (липень) до 4,74 біт./екз. (червень). За біомасою індекс Шеннона варіює від 3,4 біт./мг (серпень) до 4,8 біт./мг (червень, липень) (рис. 3).

Високі показники індексу Шеннона за чисельністю та біомасою вказують на полі-

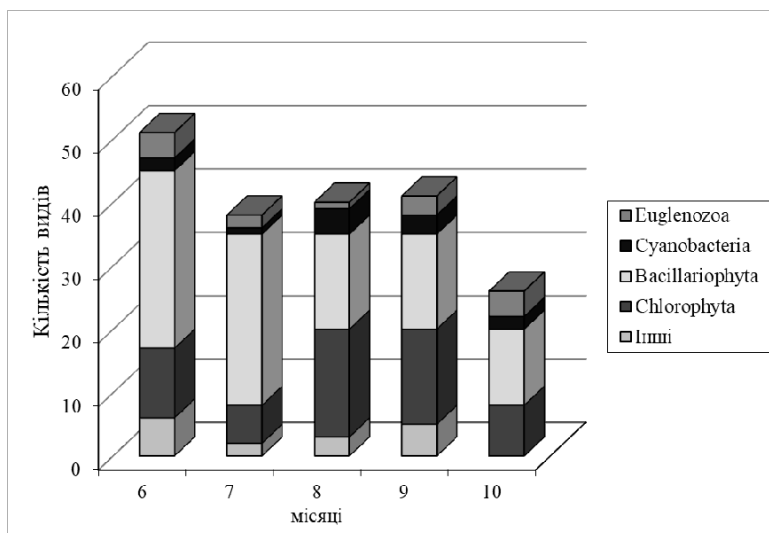


Рис. 1. Зміна видового багатства фітопланктону р. Стубелка

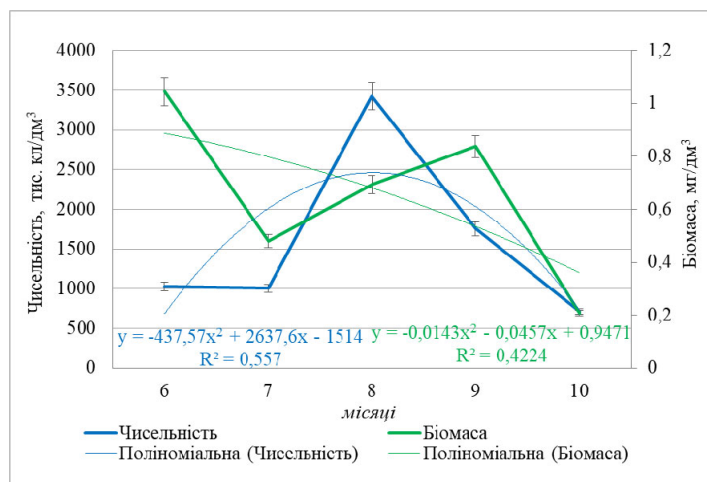


Рис. 2. Зміна численності та біомаси фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р., R^2 – величина достовірності апроксимації)

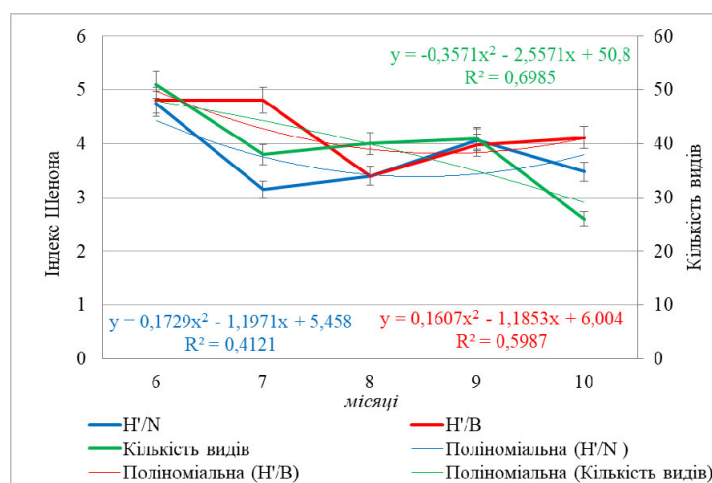


Рис. 3. Зміна індексу Шеннона за чисельністю і біомасою та кількість видів фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р., R^2 – величина достовірності апроксимації)

домінантну структуру угруповань фітопланктону р. Стубелка. Найчастіше домінанти та субдомінанти за чисельністю представлені видами відділів *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*. Найбільшою чисельністю вирізняється *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák, що домінує впродовж липня–жовтня (10,9–51,7%). За біомасою види домінанти та субдомінанти представлені видами відділів *Miozoa*, *Vacillariophyta* та *Euglenozoa*. Висока біомаса виявлена у виду відділу *Miozoa* – *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin (25,4–30,3%).

Індекс сапробності варіює від 1,55 у серпні до 2,04 у червні. За індексом сапробності вода р. Стубелка змінюється від α -олігосапробної до β -мезосапробної зони та відповідає II–III класам якості (чиста, помірно забруднена). Зниження загальної

кількості видів у липні та жовтні не призводить до суттєвого зниження індексу сапробності, що свідчить про інтенсивність процесів окиснення розчинених органічних речовин. Індекс сапробності знижується зі збільшенням видового багатства у червні, серпні та підвищується за умови зменшення загальної кількості видів у липні та жовтні. Відсутність різких коливань індексу сапробності свідчить про оптимальні умови інтенсивності процесів окиснення розчинених речовин та здатність річки до самоочищення від органічного забруднення (рис. 4).

Оцінка зміни структури фітопланктону оцінюється за середньою масою клітин, що вираховується за співвідношенням між біомасою та загальною чисельністю (B/N) (Pugnetti et al., 2004). Планктонні водорості р. Стубелка мають найбільшу середню масу

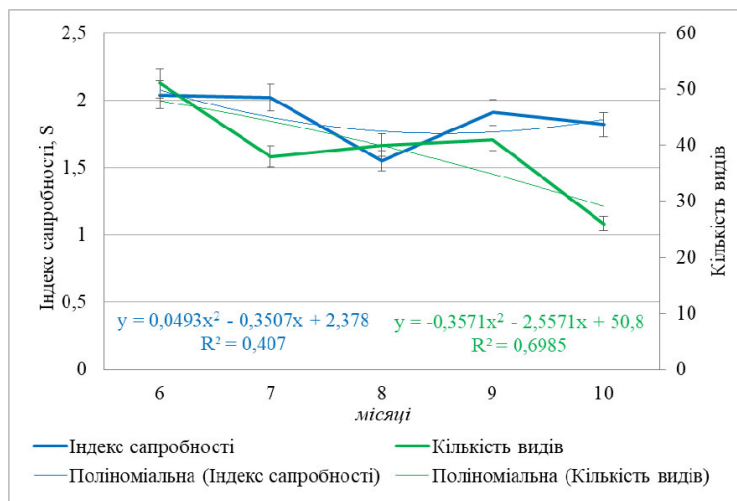


Рис. 4. Зміна індексу сапробності (S) та кількість видів фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р., R^2 – величина достовірності апроксимації)

клітин у червні за найвищого значення загальної біомаси. У серпні зафіксовано найнижчу середню масу клітин водоростей за найвищих показників чисельності. Середня маса клітин у жовтні також невисока, що може бути пов'язано з найнижчою чисельністю, біомасою та кількістю видів за весь період дослідження (рис. 5).

Фітопланктон чутливо реагує на зміну хімічного складу води, тому за його видами-індикаторами визначають забруднення чи чистоту водної екосистеми. Види-індикатори розташовано за порядком збільшення їхнього індикаторного значення, які на рисунках показано стрілками (рис. 6).

Для 83 видів-індикаторів місцезростає (74,4% від загального видового багатства) встановлено біотопічну приуроченість.

Найбільший відсоток становлять планктонно-бентосні (35%) та бентосні (29%) форми. Планктонні види становлять 19%. Крім того, у річці зустрічаються види, що проживають в різних середовищах і належать одночасно до планктонно-бентосних, епіфітних та планктонно-бентосних, ґрунтових (13% та 2%). Представниками перших є види відділу *Chlorophyta* – *Tetraëdron minimum* (A.Braun) Hansgirg, *Coelastrum astroideum* De Notaris, *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald, *Desmodesmus denticulatus* (Lagerheim) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald, *Desmodesmus opoliensis* (P.G.Richter) E.Hegewald, *Schroederia spiralis* (Printz) Korshikov, *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová, *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová,

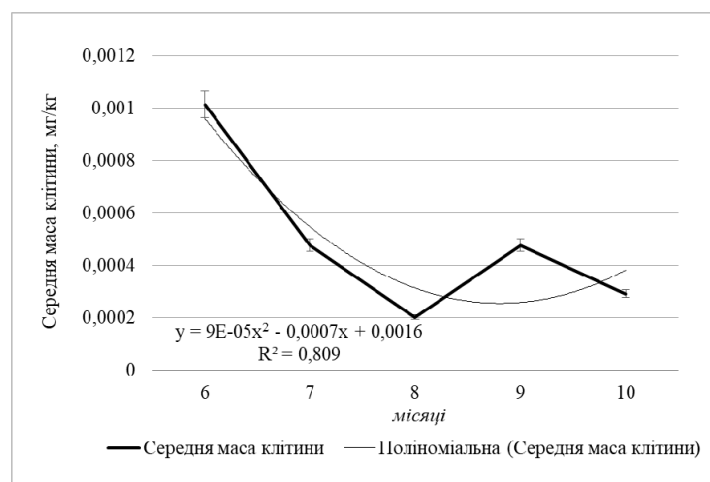


Рис. 5. Зміна середньої маси клітин фітопланктону р. Стубелка (червень–жовтень, 2022 р., R^2 – величина достовірності апроксимації)

Willea apiculata (Lemmermann) D.M. John, M.J. Wynne & P.M. Tsarenko, *Oocystis submarina* Lagerheim та *Lemmermannia triangularis* (Chodat) C. Bock & Krienitz. Представниками других є види відділу *Cyanobacteria* – *Microcystis pulverea* (H.C. Wood) Forti та *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli (рис. 6 А).

Індикаторами реофільності (проточності) і насичення води киснем є 66 видів (59,4% від загального видового багатства). Найбільш представлені види-індикатори повільнотекучих вод (76%). Відсоток видів-індикаторів стоячих вод становить 14, а швидкотекучих

вод складає 9. Також виявлено один аерофільний вид – *C. turgidus* (рис. 6 В).

Серед 73 видів, які є індикаторами галобності у фітопланктоні р. Стубелка переважають прісноводні види індиференти (82%). Галофіли і галофоби становлять 8% та 4%. Галофіли представлені трьома видами *Cyanobacteria* – *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *C. turgidus*, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Hippodonta capitata* (Ehrenberg) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski, *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg та *Navicula veneta* Kützing. Серед галофобів виявлено наступні

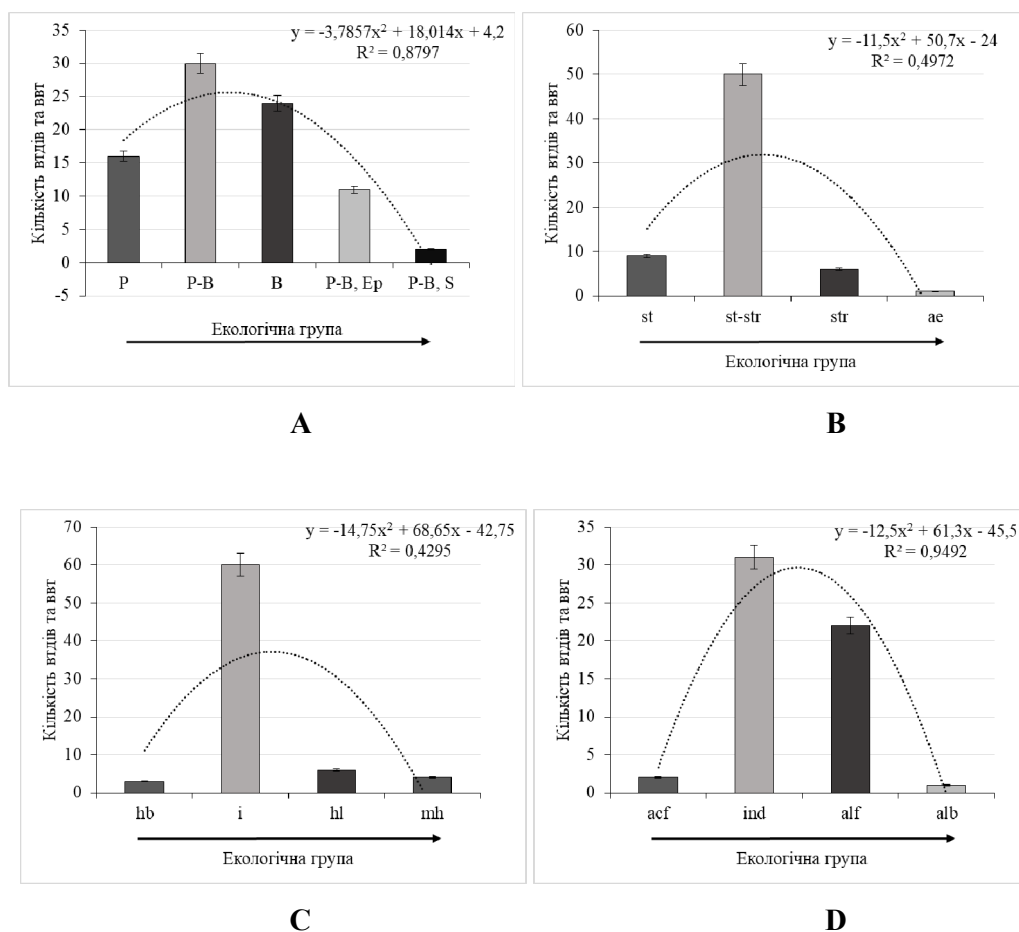
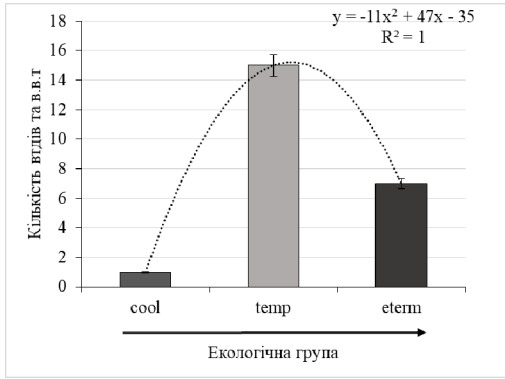
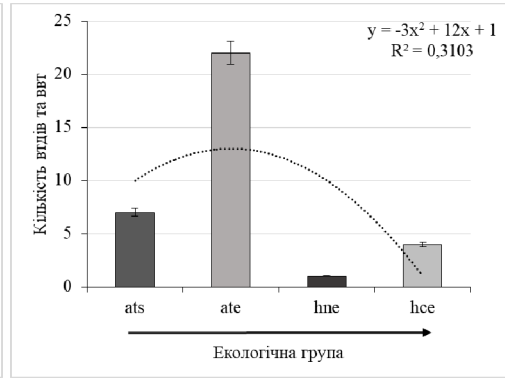


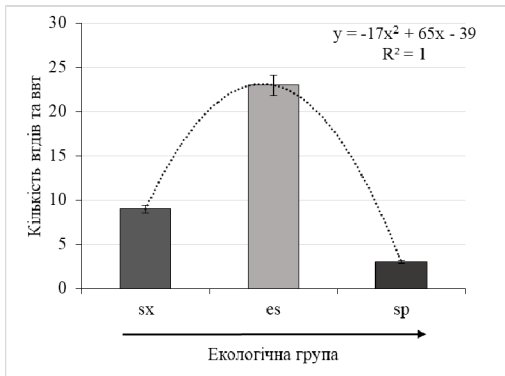
Рис. 6. Розподіл видів та в.в.т. водоростей, що є індикаторами: А – місцезростань (В – бентосні; Р-В – планктонно-бентосні; Р – планктонні; Ep – епіфітні; S – ґрунтові); В – насиченості води киснем та реофільності (st – стоячі; str – швидкотекучі; st-str – повільнотекучі та/або індиференти; ae – аерофільні); С – галобності (hb – галофоби; i – індиференти; hl – галофіли; mh – мезогалофи; oh – олігогалофи); D – рН середовища (acf – ацидофіли; ind – індиференти; alf – алкаліфіли; alb – алкалібійонти); Е – температурних умов (cool – холодолюбні; temp – помірного діапазону та/або індиференти; etern – евритермні; warm – теплолюбні); F – типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук (НОС): (ats – автотрофи, що розвиваються за низької концентрації НОС; ate – автотрофи, що витримують підвищені концентрації НОС; hne – факультативні гетеротрофи, які розвиваються у воді за періодичних підвищень концентрації НОС; hse – облігатні гетеротрофи, які розвиваються у воді за підвищених НОС); G – органічного забруднення



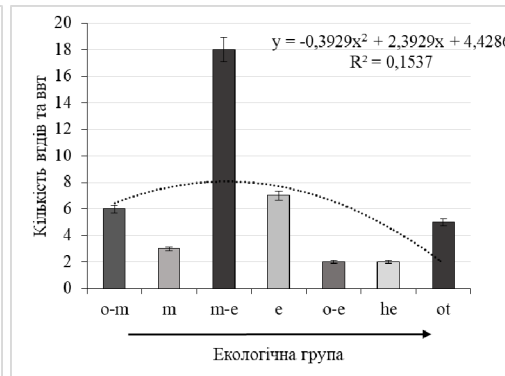
E



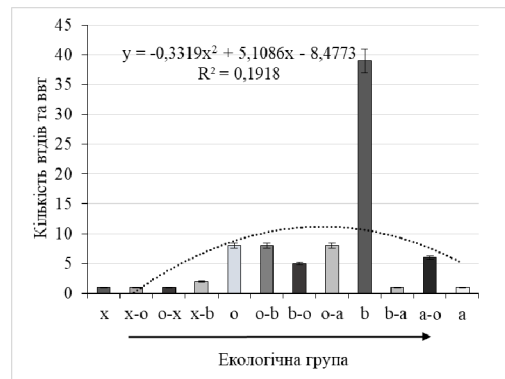
F



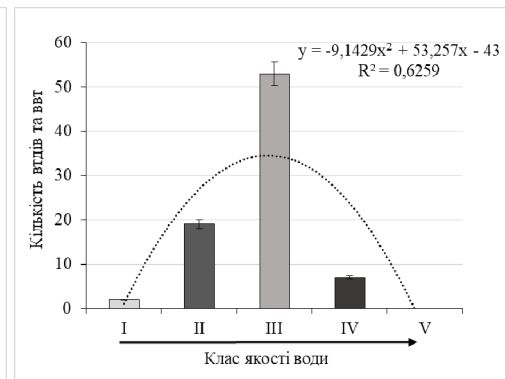
G



H



I



J

вод (за системою Ватанабе): sx – сапроксени (чисті води); es – еврисапроби (помірно забруднені води); sp – сапрофіли (забруднені води); Н – рівня трофності (ot – оліготрофні види; om – оліго-мезотрофні; m – мезотрофні; me – мезо-евтрофні; e – евтрофні; o-e – широкої амплітуди трофності; he – гіпертрофні); I – органічного забруднення (за системою Пантле-Бук у модифікації Сладчека): x – ксеносапробіонти; x-o – ксено-олігосапробіонти; o-x – оліго-ксеносапробіонти; x-b – ксено-бета-мезосапробіонти; o – олігосапробіонти; o-b – оліго-бета-мезосапробіонти; x-a – ксено-альфа-мезосапробіонти; b-o – бета-олігосапробіонти; o-a – оліго-альфа-мезосапробіонти; b – бета-мезосапробіонти; b-a – бета-альфа-мезосапробіонти; a-o – альфа-олігосапробіонти; b-p – бета-полісапробіонти; a – альфа-мезосапробіонти; p-a – полі-альфа-мезосапробіонти; a-b – альфа-бета-мезосапробіонти; p – полісапробіонти; i – і-еусапробіонти; m – m-еусапробіонти); J – класи якості води; R^2 – величина достовірності апроксимації.

види – *Fragilaria tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot та *Neidium iridis* (Ehrenberg) Cleve. Відсоток мезогаобів становить 5. Серед них два види *Euglenozoa* – *Euglena granulata* (G.A.Klebs) F.Schmitz, *Monomorphina pyrum* (Ehrenberg) Mereschkowsky та два види *Bacillariophyta* – *Tryblionella hungarica* (Grunow) Frenguelli і *Prestauroneis protracta* (Grunow) Kulikovskiy & Glushchenko (рис. 6 С).

Індикатори активної реакції середовища (рН) представлені 56 видами водоростей (50,5% від загального видового багатства), з яких 55% індиференти, 39% алкаліфіли, 4% ацидофіли (*Eunotia arcus* Ehrenberg, *F. tenera*) та 2% алкаліобіоти (*Ulnaria acus* (Kützing) Aboal) (рис. 6 D).

Водоростей-індикаторів температурного режиму зафіксовано 23 (20,7% від загального видового багатства). Водорості помірного діапазону представлені 15 (65%) видами. Евритермні представлені 7 (30%) видами. Холодолюбні представлені 1 (4%) видом відділу *Bacillariophyta* – *Gyrosigma acuminatum* (Kützing) Rabenhorst (рис. 6 E).

У р. Стубелка виявлено 34 види, які є індикаторами типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук. Загалом, переважають автотрофи (65%), які витримують підвищені концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. Друге місце займають автотрофи (21%), що розвиваються за низької концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. Третє місце належить obligатним гетеротрофам (12%), які розвиваються у воді за підвищених концентрацій нітрогенвмісних органічних речовин. Четверте місце займають факультативні гетеротрофи (3%), що розвиваються у воді за періодичних підвищень концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. До факультативних гетеротрофів належить *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing, а до obligатних гетеротрофів види відділу *Bacillariophyta* – *Nitzschia acicularis* (Kützing) W.Smith, *Nitzschia paleacea* (Grunow) Grunow, *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith та *Mayamaea atomus* (Kützing) Lange-Bertalot (рис. 6 F).

Водоростей-індикаторів органічного забруднення зафіксовано 35 (31,5% від загального видового багатства). З них найбільший відсоток складають еврисапроби (66%), що свідчить про помірне забруднення води. Серед індикаторів чистих вод виявлено дев'ять видів (26%) – *Nitzschia dissipata* (Kützing) Rabenhorst, *Cymboplectra lata*

(Grunow ex Cleve) Krammer, *Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck, *Placoneis gastrum* (Ehrenberg) Mereschkowsky, *F. tenera*, *Diatoma vulgare* Bory, *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Kützing, *Iconella biseriata* (Brébisson) Ruck & Nakov та *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing. Серед видів сапрофілів зафіксовано три види (9%) – *Nitzschia gracilis* Hantzsch, *N. palea* та *T. hungarica* (рис. 6 G).

Індикатори трофності представлені 44 видами (39,6% від загального видового багатства). Найбільший відсоток складають мезоевтрофні види (41%). Відсоток олігомезотрофних, евтрофних та оліготрофних видів становить 14, 16 та 11 відповідно. Серед оліготрофних видів зафіксовано *Caloneis dubia* Krammer, *Navicula semen* Ehrenberg, *Neidium hitchcockii* (Ehrenberg) Cleve, *N. iridis* та *Lindavia bodanica* (Eulenstein ex Grunow) T.Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson. Виявлено по 2 види з широкою амплітудою трофності (*Navicula cryptocephala* Kützing та *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère) та гіпертрофні (*N. palea* та *M. atomus*). До мезотрофних видів (9%) належать *A. flos-aquae*, *Closterium acutum* Brébisson, *N. gracilis* та *Nitzschia vermicularis* (Kützing) Hantzsch (рис. 6 H).

Водоростей, що є індикаторами сапробності, за системою Пантле-Бук у модифікації Сладечека, налічується у р. Стубелка 81 вид (73% від загального видового багатства). Найбільший відсоток складають бета-мезосапробіоти – 39%. По 10% становлять види олігосапробіоти, оліго-бета-мезосапробіоти та оліго-альфа-мезосапробіоти. Відсоток альфа-олігосапробіотів, бета-олігосапробіотів та ксено-бета-мезосапробіотів складає 7, 6 та 2. Ксеносапробіоти, ксено-олігосапробіоти, оліго-ксеносапробіоти, бета-альфа-мезосапробіоти та альфа-мезосапробіоти виявлені по 1 виду (рис. 6 I).

Виявлені види-індикатори тієї чи іншої зони самоочищення віднесено до відповідних класів якості води. Індикаторні види розділились на 4 класи якості води. Вершина лінії тренду вказує на III клас якості води, як найбільш представлений видами-індикаторами (65%). Види-індикатори II класу якості води становлять 23%. Індикатори I класу якості води становлять 2% (*E. arcus*, *L. bodanica*). Види-індикатори IV класу якості води (9%) представлені – *E. granulata*, *N. acicularis*, *N. palea* (Kützing) W.Smith, *T. hungarica*, *M. atomus*, *N. veneta* та *Nitzschia sublinearis* Hustedt (рис. 6 J).

Вода р. Стубелка за рівнем органічного забруднення згідно системи Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) належить до III класу якості (помірно забруднена).

Обговорення

Оцінювання стану водних екосистем за видами-індикаторами здійснено багатьма авторами (Barinova et al., 2015; Barinova et al., 2016; Barinova et al., 2019; Eliaz-Kowalska et al., 2022; Shcherbak et al., 2023; Bilous et al., 2023; Shelyuk, 2023). Вони аналізують переваги і недоліки індикаційних підходів. Насамперед зазначають точність дослідження якості води за видами, що підтверджується також результатами хімічного аналізу різних компонентів водних об'єктів. Водночас для багатьох видів фітопланктону екологічні характеристики представлені частково або взагалі відсутні, що потребує подальшого уточнення та доповнення з обов'язковим врахуванням умов конкретної водної екосистеми (Oksiyuk et al., 2011). Зміна умов середовища існування та специфічність екологічних вимог завжди призводить до перебудови показників чисельності, біомаси, домінантів, субдомінантів, співвідношення відділів, видового багатства, зникнення одних видів та появою інших (Sereda, 2016; Barinova et al., 2019; Eliaz-Kowalska et al., 2022; Bilous et al., 2023; Shcherbak et al., 2023).

У воді р. Стубелка за чисельністю домінують п'ять видів *Cyanobacteria* та один вид *Chlorophyta* – *A. flos-aquae* (12,2%), *S. acustris* (10,9–51,7%), *M. aeruginosa* (23,9%), *M. pulverea* (25,7%), *Oscillatoria agardhii* Gomont (19,5%) та *Actinastrum hantzschii* Lagerheim (10,1%). За біомасою домінують види відділів *Euglenozoa*, *Bacillariophyta* та *Miozoa*. Кожен з видів відділів *Euglenozoa* та *Bacillariophyta* домінує лише впродовж одного місяця, що вказує на швидкі зміни умов їхнього середовища. Найбільшу біомасу має вид-домінант відділу *Miozoa* – *C. hirundinella*. Так, його біомаса становить 30,3% (серпень) та 25,4% (вересень).

Більшість ідентифікованих видів фітопланктону належать до планктонно-бентосних, бентосних та планктонних форм. Проте виявлення планктонно-бентосних, епіфітних форм свідчить про важливу роль гідродинаміки як чинника регуляції видової структури фітопланктону р. Стубелка. При індикації умов насиченості води киснем та проточності переважають види, що характерні для повільнотекучих вод із середнім

рівнем кисню. Індикатори активної реакції середовища в переважній більшості представлені видами, що існують за рН 6–7 та 7–8. Значна кількість алкаліфілів вказує на лужність води р. Стубелка, яка взимку ще більше зростає (8,1–10,5). Присутність холодолюбного виду влітку (червень, липень) може бути пов'язана з недосконалістю системи індикації за даним показником, оскільки температура води в річці варіювала у межах 19–24°C. Науковці зазначають про доцільність зміни підходів щодо оцінки екосистеми за видами-індикаторами температурних умов (Oksiyuk et al., 2011; Barinova et al., 2019). Відповідно до кількості евриспробів вода р. Стубелка має помірне органічне забруднення. Зміни видів-індикаторів за типом живлення свідчать про вплив антропогенного навантаження, однак, переважання автотрофів забезпечує ефективні процеси самоочищення та підтримку стабільності водної екосистеми.

Для води р. Стубелка характерний середній рівень трофності, оскільки переважають мезо-евтрофні види. Водночас, періодично формуються оліго-мезотрофні та евтрофні умови, а якість води змінюється від чистої до забрудненої. Загалом у воді р. Стубелка переважають види-індикатори помірного рівня забруднення. Аналіз класу якості води р. Стубелка свідчить про присутність індикаторів чотирьох класів, проте, найбільш представлені види 3 та 2 класу (помірно забруднені та чисті).

Висновки

У воді р. Стубелка ідентифіковано 109 видів водоростей, представлених 111 внутрішньовидовими таксонами, що належать до 75 родів, 43 родин, 32 порядків, 14 класів, 8 відділів. Найбільш чисельними є *Bacillariophyta* (46,8% загальної кількості видів), *Chlorophyta* (27,9%), *Cyanobacteria* (8,1%) та *Euglenozoa* (8,1%). Чисельність фітопланктону р. Стубелка варіює від 714 тис. кл/дм³ (жовтень) до 3424 тис. кл/дм³ (серпень), а біомаса від 0,21 мг/дм³ (жовтень) до 1,04 мг/дм³ (червень). Якість води за біомасою фітопланктону змінюється від II класу до III класу. Індекс Шеннона за біомасою складає 3,97–4,80 біт/мг, а за чисельністю 3,15–4,74 біт/екз. За індексом сапробності вода р. Стубелка змінюється від α -олігосапробної до β -мезосапробної зони та відповідає II–III класам якості (чиста, помірно забруднена). Основу флористичного списку альгофлори р. Стубелка формують планктон-

но-бентосні та бентосні види, повільнотекучі за насиченням води киснем і реофільністю, індіференти за відношенням до галобності та температури води. За відношенням до рН переважають індіференти та алкаліфіли. Найбільший відсоток видів представлений автотрофами, що витримують підвищені концентрації нітрогенвмісних органічних сполук. За рівнем трофності переважають

мезоевтрофні види. Серед видів-індикаторів органічного забруднення вод (за системою Ватанабе) найбільше еврисапробів (помірно забруднені води), а за системою Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) – бета-мезосапробіонтів. За рівнем органічного забруднення вода р. Стубелка згідно системи Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) належить до III класу якості (помірно забруднена).

Список використаної літератури

- Коротун І.М., Коротун А.К. Географія Рівненської області: природа, населення, господарство, екологія: навчальний підручник. Рівне, 1996. 380 с.
- Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
- Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону. Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. Київ, 2002. С. 41–48.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 1: Таксономічне, екологічне різноманіття та просторовий розподіл. *Альгологія*. 2023. 33(3). 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147>.
- Barinova S.S., Klochenko P.D., Belous Y.P. Algae as indicators of the ecological state of water bodies: Methods and prospects. *Hydrobiol. Journal*. 2015. 51(6). 3–21. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i6.10>.
- Barinova S., Romanov R. Charophytes Locality in the Ga'aton River, Lower Galilee, Israel. *Journal of Biology and Life Science*. 2016. Vol.7. №1. 94–109. <https://doi.org/10.5296/jbls.v7i1.7815>.
- Barinova S.S., Bilous O.P., Tsarenko P.M. Algal indication of water bodies in Ukraine: methods and perspectives. Haifa, Kiev: University of Haifa Publisher, 2019. 367 p.
- Bilous O.P., Wojtal A.Z., Ivanova N.O., Burova O.V., Barinova S., Maystrova N.V., Polishchuk O., Curtean-Bănăduc A., Tsarenko P.M. Indication of Long-Term Changes of Algae Communities in a Hydrologically Transformed Estuary Sasyk, Black Sea, Ukraine. *Water*. 2023. 15. 2078. <https://doi.org/10.3390/w15112078>.
- Eliasz-Kowalska M., Wojtal A.Z., Barinova S. Influence of Selected Environmental Factors on Diatom β Diversity (*Bacillariophyta*) and the Value of Diatom Indices and Sampling Issues. *Water*. 2022. 14. 2315. <https://doi.org/10.3390/w14152315>.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.algaebase.org> (дата звернення: 15.01.2023).
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Karpezo Yu.I. Microphytobenthos as bioindicator of state of aquatic ecosystems. *Hydrobiol. Journal*. 2011. Vol. 47(1). 72–85. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i1.70>.
- Pugnetti A., Acri F., Alberighi L., Barletta D., Bastianini M., Bernardi-Aubry F., Berton A., Bianchi F., Socal G., Totti C. Phytoplankton photosynthetic activity and growth rates in the NW Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*. 2004. Vol. 20. №6. P. 399–409. <https://doi.org/10.1080/02757540412331294902>.
- Shelyuk Yu.S. Phytoplankton of the Ukrainian Polissia River Ecosystems. *International Journal on Algae*. 2023. 25 (2). P. 139–156. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i2.30>.
- Sereda T.N. Phytopotamoplankton of River Systems: Retrospective Review of Investigations, Search for Methodic Approaches. *Hydrobiol. Journal*. 2016. Vol. 52(6). 33–42. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i6.40>.
- Sladeček V. System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnol*. 1973. V. 7. №1/4. P. 1–218.
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal Aquatic Ecology*, 1994. 28. P. 117–133.

References (translated & transliterated)

- Korotun, I.M., & Korotun, L.K. (1996). *Heohrafiia Rivnenskoï oblasti: pryroda, naselennia, hospodarstvo, ekolohiia: navch. Pidruchnyk* [Geography of the Rivne region: nature, population, economy, ecology: study guide]. Rivne [in Ukrainian].
- Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnevnykh vod [Methods of hydroecological research of surface waters] (2006). / za red. V. D. Romanenka. Kyiv : LOHOS [in Ukrainian]
- Shcherbak, V.I. (2002). *Metody doslidzhen fitoplanktonu. Metodychni osnovy hidrobiolohichnykh doslidzhen vodnykh ekosystem* [Methods of phytoplankton research. Methodological bases of hydrobiological studies of aquatic ecosystems]. Kyiv [in Ukrainian].
- Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023). Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoho vodoskhovyshcha. Povidomlennia 1: Taksonomichne, ekolohichne riznomanittia ta prostorovi rozpodil [Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv Reservoir. Report 1: Taxonomic, ecological diversity and spatial patterns]. *Algologia*, 33(3), 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147> [in Ukrainian].
- Barinova, S.S., Klochenko, P.D., & Belous, Y.P. (2015). Algae as indicators of the ecological state of water bodies: Methods and prospects. *Hydrobiol. Journal*. 51(6). 3–21. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v51.i6.10> [in English].
- Barinova, S., & Romanov, R. (2016). Charophytes Locality in the Ga'aton River, Lower Galilee, Israel. *Journal of Biology and Life Science*, Vol.7, №1, 94–109. <https://doi.org/10.5296/jbls.v7i1.7815> [in English].
- Barinova, S.S., Bilous, O.P., & Tsarenko, P.M. (2019). Algal indication of water bodies in Ukraine: methods and perspectives. Haifa, Kiev: University of Haifa Publisher [in English].
- Bilous, O.P., Wojtal, A.Z., Ivanova, N.O., Burova, O.V., Barinova, S., Maystrova, N.V., Polishchuk, O., Curtean-Bănăduc, A., & Tsarenko, P.M. (2023). Indication of Long-Term Changes of Algae Communities in a Hydrologically Transformed Estuary Sasyk, Black Sea, Ukraine. *Water*, 15, 2078. <https://doi.org/10.3390/w15112078> [in English].
- Eliaszk-Kowalska, M., Wojtal, A.Z., & Barinova, S. (2022). Influence of Selected Environmental Factors on Diatom β Diversity (*Bacillariophyta*) and the Value of Diatom Indices and Sampling Issues. *Water*, 14, 2315. <https://doi.org/10.3390/w14152315> [in English].
- Guiry, M.D., & Guiry, G.M. (2023). AlgaeBase. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. [Electronic resource] URL: <https://www.algaebase.org> (access date 15.01.2023) [in English].
- Oksiyuk, O.P., Davydov, O.A., & Karpezo, Yu.I. (2011). Microphytobenthos as bioindicator of state of aquatic ecosystems. *Hydrobiol. Journal*. Vol. 47(1). 72–85. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v47.i1.70> [in English].
- Pugnetti, A., Acri, F., Alberighi, L., Barletta, D., Bastianini, M., Bernardi-Aubry, F., Berton, A., Bianchi, F., Socal, G., & Totti C. (2004). Phytoplankton photosynthetic activity and growth rates in the NW Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 20(6), 399–409. <https://doi.org/10.1080/02757540412331294902> [in English].
- Sereda, T.N. (2016). Phytopotamoplankton of River Systems: Retrospective Review of Investigations, Search for Methodic Approaches. *Hydrobiol. Journal*. Vol.52(6), 33–42. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i6.40> [in English].
- Shelyuk, Yu.S. (2023). Phytoplankton of the Ukrainian Polissia River Ecosystems. *International Journal on Algae*, 25(2), 139–156. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i2.30> [in English].
- Sladeček, V. (1973). System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnol*, 71/4, 1–218 [in English].
- Van, Dam H., Mertens, A., & Sinkeldam, J. (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal Aquatic Ecology*, 28, 117–133 [in English].

Отримано: 04.12.2023

Прийнято: 15.12.2023



УДК 504.064:621.311

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.14>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДКИСЛЕННЯ ВОДОЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА СКИДИ СУЛЬФАТ-ІОНІВ ЗІ ЗВОРОТНИМИ ВОДАМИ

П. М. Кузнецов¹

Робота присвячена дослідженню впливу технології підкислення шляхом стабілізаційної обробки (СО) сірчаною кислотою (H_2SO_4) охолоджуючої води водоциркуляційної оборотної системи охолодження (ОСО) на скиди сульфат-іонів (SO_4^{2-}) зі зворотними водами та вплив водного скиду на поверхневій воді. Об'єктом дослідження є вміст SO_4^{2-} в поверхневій воді р. Стир та технологічних водах Рівненської АЕС (РАЕС), предметом дослідження є СО з використанням H_2SO_4 для підкислення ОСО та її вплив на скиди SO_4^{2-} зі зворотними водами ОСО РАЕС. Метою роботи є дослідження технології СО ОСО РАЕС з використанням H_2SO_4 та виявлення забруднення поверхневої води р. Стир, що обумовлено SO_4^{2-} через СО ОСО, що застосовується у РАЕС та дослідження технологічного режиму обробки СО атомних електростанцій (АЕС) як джерела антропогенного забруднення SO_4^{2-} . Актуальність роботи обумовлена необхідністю реалізації заходів з охорони водних ресурсів від забруднення та раціоналізації їх використання в технологіях водопідготовки ОСО електростанцій. Мінімізація екологічного впливу зі зниженням використання реагентів для СО, що розглядається в даному дослідженні, є важливою з огляду сталого розвитку енергетичного сектора. Представлені результати досліджень та аналізу дозування H_2SO_4 для забезпечення водно-хімічного режиму (ВХР) ОСО з обробкою H_2SO_4 дозволяє нейтралізувати лужність охолоджуючої води, що обумовлена вмістом бікарбонат (HCO_3^-) та карбонат-іонів (CO_3^{2-}) та перевести частину іонів кальцію, що зв'язана з іонами HCO_3^- та CO_3^{2-} в постійну жорсткість. Застосування H_2SO_4 для СО може бути доцільним для забезпечення ВХР з метою зменшення накипу в ОСО, за критеріями підкислення додаткової охолоджуючої води, що визначається критерієм дозування.

Практична значущість роботи полягає в запровадженні на РАЕС технологічного режиму СО ОСО зі забезпеченням підтримання оптимальних показників якості ВХР ОСО, зменшення використання H_2SO_4 та мінімізацію скидів SO_4^{2-} в водний об'єкт – р. Стир. Дослідження може бути застосоване для будь-якої електростанції, що використовують технологію підкислення ОСО зі застосуванням H_2SO_4 .

Ключові слова: скиди забруднюючих речовин, водопідготовка, екологічні нормативи, водний скид.

¹ здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)
e-mail: kuznetpavel@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8263-0000

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WATER CIRCULATION ACIDIFICATION ON EFFLUENT SULPHATE ION DISCHARGES

P. M. Kuznietsov

The paper is devoted to the study of the impact of the acidification technology by stabilisation treatment (ST) with sulphuric acid (H_2SO_4) of cooling water of the water circulation system (WCS) on the discharge of sulphate ions (SO_4^{2-}) with return water and the impact of water discharge on surface waters. The subject of the study is SO_4^{2-} content in the surface water of the Styr River and the process water of the Rivne NPP (RNPP), the subject of the study is the ST with use H_2SO_4 for WCS and its impact on the SO_4^{2-} discharge with the return water of the RNPP. The aim of the study is to investigate the ST technology of the RNPP using H_2SO_4 and to determine the SO_4^{2-} contamination of the surface water of the Styr River caused by the ST used at the RNPP and to determine the influence of a nuclear power plant (NPP) operation modes on the minimisation of SO_4^{2-} sources. The relevance of the work is due to the need to implement measures to protect water resources from pollution and their rational use in water treatment technologies of NPPs WCS. Minimising the environmental impact by reducing the use of reagents for the ST, which is considered in the study, is important in view of the sustainable development of the energy sector. The paper presents the results of research and analysis of H_2SO_4 dosing to ensure the water chemical regime (WCR), the ST with H_2SO_4 regime allows to neutralise the alkalinity of the cooling water of the cooling plant due to the content of bicarbonate (HCO_3^-) and carbonate (CO_3^{2-}) ions and to convert part of the calcium ions bound to HCO_3^- and CO_3^{2-} ions to constant hardness. The use of H_2SO_4 for ST may be appropriate for water treatment to reduce scale in the cooling water system, according to the criteria for acidification of makeup cooling water, which is determined by the dosing criterion. The practical significance of the work is the introduction of the technological regime of cooling water treatment at RNPP to ensure the maintenance of optimal quality indicators of cooling water treatment, reduction of H_2SO_4 consumption and minimisation of SO_4^{2-} discharges into the water body – the Styr River. In general, the results of the study indicate that the ST WCS RNPP has no environmental impact on the Styr River water body. The study can be applied to any power plant that with WCS uses the technology of acidification of the ST using H_2SO_4 .

Key words: pollutant discharges, water treatment, environmental regulation, water discharge.

Вступ

Актуальність моніторингових досліджень, що пов'язують технологічні процеси промислових об'єктів та формування скидів забруднюючих речовин обумовлена необхідністю оптимізації технологічних процесів з метою мінімізації екологічного впливу. Вода є незамінним компонентом для роботи атомних електростанцій (АЕС), оскільки вона потрібна для охолодження в процесах пароводяного циклу (Macknick et al, 2012), до якості води в системах охолодження висуваються значні вимоги (Kuznietsov & Biedunkova, 2023), з цією метою для додаткової води систем охолодження застосовується водопідготовка, зокрема стабілізаційна обробка (СО). СО зі H_2SO_4 дозволяє нейтралізувати лужність охолоджуючої води ОСО, що обумовлена іонами HCO_3^- та CO_3^{2-} та перевести частину іонів кальцію, що зв'язана з іонами HCO_3^- та CO_3^{2-} в постійну жорсткість (Бедункова і Кузнєцов, 2023), яка не утворює накипу при температурному впливі та має меншу схильність до утворення накипу в ОСО (Кузнєцов і Бедункова, 2022). H_2SO_4 може бути найбільшою за обсягом хімічною речовиною, що використовується на електростанціях. Різке

підвищення ціни на концентровану H_2SO_4 за останні кілька років призвело до оптимізації її використання на багатьох електростанціях. Зокрема експлуатуючі організації електростанцій реагують на це впровадженням програм для мінімізації або виключення використання H_2SO_4 для СО охолоджуючої води ОСО (Strategies, 2010). До того ж SO_4^{2-} , що утворюються при дисоціації H_2SO_4 , концентруються в охолоджуючій воді ОСО, що може спричинити руйнування бетонних частин каналів і градирень (Argüelles et al, 2021).

Проведений аналіз останніх публікацій за темою дослідження свідчить про наявність широкого застосування та значної ефективності СО H_2SO_4 у боротьбі з кальцієвими відкладеннями (Kuznietsov & Biedunkova, 2023), але цей метод має ряд недоліків (Norbojev et al, 2023):

- зниження значення рН і, як наслідок, різке збільшення швидкості корозії конструкційних матеріалів ОСО;
- збільшення корозійно-активної домішки SO_4^{2-} у охолоджуючій воді;
- проблеми з утилізацією кислих стічних вод з високим вмістом SO_4^{2-} ;

– підвищений вміст розчинних солей та мінералізації охолоджуючої води.

Незважаючи на значне скорочення антропогенного викиду атмосферної сірки протягом останніх років, невирішеним питанням є поточний рівень концентрації SO_4^{2-} у поверхневих і ґрунтових водах, що залишається вищим за природний фоновий рівень (Dixit et al, 2015). Забруднення поверхневих вод SO_4^{2-} може мати токсичний вплив на водні рослини та тваринні організми, а також може мати негативні наслідки для здоров'я людини (Zak et al, 2021). Збільшення надходження SO_4^{2-} розглядається як проблема в управлінні прісноводними водними екосистемами (Peterson, 1990). SO_4^{2-} присутні в навколишньому середовищі в складі циклу сірки, який починається з ерозії сульфатів (евапоритів) і сульфідів, що містяться у гірських породах і мінералах, відбувається виділення сірко-вмісних сполук в навколишнє середовище, які при взаємодії з повітрям, перетворюється в SO_4^{2-} та поглинаються рослинами, мікроорганізмами і перетворюється в орґано-сірко-вмісні сполуки (Little et al, 2000). Існує обмежена інформація щодо інгаляційної та пероральної, хронічної та субхронічної токсичності, канцерогенності, а також репродуктивної токсичності сульфату у людини і тварин (RAIS, 1998). Розрізняють прямий екологічний вплив SO_4^{2-} на довкілля і непрямий, через його метаболіти, зокрема сульфід. Відновлення SO_4^{2-} до сульфідів відбувається шляхом окислення орґанічного вуглецю бактеріями (рис. 1), сульфід має

сильний несприятливий вплив на прісноводні організми та екосистеми (Barker et al, 2017). Частка протікання процесу відновлення SO_4^{2-} до сульфідів становить 12–81% (Chen et al, 2016). Природні концентрації SO_4^{2-} у водних об'єктах демонструють значну мінливість та зазвичай коливаються від 0 до 630 мг/дм³ в річках, від 0 до 250 мг/дм³ в озерах і від 0 до 230 мг/дм³ у підземних водах, однак можуть значно збільшуватись внаслідок антропогенного впливу (Zak et al, 2021). Більшість країн світу рекомендують стандарт питної води для SO_4^{2-} від 250 до 500 мг/л (WHO, 2004); служба громадської охорони здоров'я США рекомендувала контрольний рівень вмісту SO_4^{2-} у питній воді 250 мг/дм³ (RAIS, 1998); канадськанастановащодоґраничнодопустимоїконцентрації SO_4^{2-} впитнійводістановить 500 мг/ дм³ (GBC, 2006); згідно з Австралійськими рекомендаціями щодо питної води (NHMRC, 2004), смаковий поріг SO_4^{2-} знаходиться в межах 250–500 мг/дм³. Тому, враховуючи екологічний вплив та обмежену інформацію про токсичність SO_4^{2-} вирішення питань мінімізації антропогенного надходження SO_4^{2-} зі зворотними водами є важливим.

Доза реагентів для здійснення СО визначається на етапі проектування електростанції та, зазвичай, проводиться в сталих концентраціях, що не враховує подальші зміни технологічних режимів та показників якості охолоджуючої води при експлуатації (Kuznietsov & Biedunkova, 2023). Використання хімічних реагентів для водопідготовки та підтримання водно-хімічного режиму (ВХР) технологічних середовищ електростанцій впливає на економічність експлуатації електростанції в цілому (SC090012/R2, 2011). Сучасні підходи до реалізації технології СО передбачають застосування методології дозування реагентів з врахуванням екологічного та економічного факторів (Zhang et al, 2023). Для підвищення економічності роботи повинні вживатись заходи з виключенням можливості необґрунтованого надлишку дозування реагентів зі впровадженням дієвих механізмів оптимізації їх використання (Кузнецов і Бедункова, 2022). Оптимізація використання хімічних реагентів для електростанцій пов'язана зі скидом забруднюючих речовин із зворотними водами (Кузнецов, 2022). Недостатньо висвітленим та вивченим є питання законномірностей впливу скидів зворотної води ОСО на вміст SO_4^{2-} в поверхневих водах

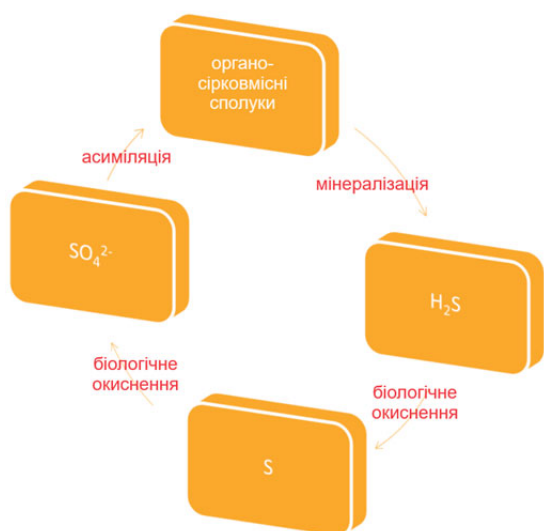


Рис. 1. Схематичне зображення природного циклу сірки у поверхневих водах

внаслідок реалізації технології СО з використанням H_2SO_4 . Дослідження цих процесів дозволить проводити оптимізацію використання H_2SO_4 у технології СО з метою обґрунтованої мінімізації екологічного впливу зворотних вод ОСО на поверхневій воді водойм зі скидом SO_4^{2-} .

Метою даного дослідження є здійснення оцінки впливу технології СО ОСО РАЕС з використанням H_2SO_4 на скиди SO_4^{2-} зі зворотною водою ОСО. Практична цінність дослідження полягає в оцінці нерадіаційного екологічного впливу водного скиду забруднюючої речовини діючої АЕС України. Робота тісно пов'язана з вирішенням завдань, що наведені у Водній стратегії України на період до 2050 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р).

Для досягнення мети для виконання дослідження були поставлені наступні задачі:

- виявити закономірності та провести оцінку ефективності застосування СО з використанням H_2SO_4 ;
- провести аналіз динаміки змін концентрації SO_4^{2-} в технологічних водах ОСО РАЕС та поверхневій воді р. Стир;
- провести екологічну оцінку впливу водного скиду SO_4^{2-} на природний водний об'єкт.

Об'єктом дослідження є скиди SO_4^{2-} зворотної води ОСО РАЕС внаслідок СО з використанням H_2SO_4 . Предметом дослідження є процеси формування та змін концентрації SO_4^{2-} в поверхневій воді р. Стир в зоні впливу водних скидів РАЕС.

Проблематика дослідження полягає у вивченні процесів скиду забруднюючих речовин зі зворотними водами ОСО у природні водойми, оскільки забруднюючі речовини можуть призводити до змін хімічної рівноваги природних компонентів та становлять потенційну екологічну небезпеку.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю дослідження нерадіаційного впливу водного скиду АЕС старих проектних рішень та технологій, що для них застосовуються.

Матеріал і методи

Джерелом технічного водопостачання РАЕС є р. Стир, що належить до водойми рибогосподарського призначення. Контроль гідрологічного режиму р. Стир в районі водозабору РАЕС проводиться на гідрологічному посту м. Варащ, зворотні води ОСО РАЕС збираються системою промисловою каналізації і скидаються в р. Стир без попереднього очищення. Водопідготовка

охолоджуючої води ОСО РАЕС проводиться освітленням шляхом вапнування в бікарбонатному режимі з наступною стабілізаційною обробкою H_2SO_4 . Витрати на підживлення ОСО, відповідно до умов дозволу на спеціальне водокористування (Дозвіл ..., 2020) не повинні перевищувати витрату $2,79 \text{ м}^3/\text{с}$ ($88 \text{ млн. м}^3/\text{рік}$). Зворотна вода ОСО РАЕС скидається в р. Стир, витрати якої за умовами (Дозвіл ..., 2020) не повинні перевищувати $0,7 \text{ м}^3/\text{с}$ ($18,36 \text{ млн. м}^3/\text{рік}$).

Гранично допустимі концентрації (ГДК) SO_4^{2-} у водоймах рибогосподарського та побутового призначення України складають $100 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (Вимоги, 1990) та $500 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (Вимоги, 2022) відповідно. Затверджена допустима концентрація SO_4^{2-} у зворотних скидних водах РАЕС, складає $250 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (Дозвіл ..., 2020), для порівняння на АЕС Isar 2, що має аналогічну систему ОСО встановлені ліміти скидів сульфат іонів $900 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (SC090012/R2, 2011).

Для контролю утворення накипу внаслідок випадіння карбонату кальцію $CaCO_3$ в ОСО застосовували критерій різниці значень коефіцієнтів випаровування ϕ та ψ , величина яких не повинна перевищувати 0,2. Коефіцієнт випаровування ϕ розраховується за хлорид-іонами, ψ розраховується за жорсткістю загальною за рівнянням (1), де Cl (Ж) вміст хлорид-іонів (загальна жорсткість), $\text{мг}/\text{дм}^3$ ($\text{ммоль}/\text{дм}^3$) в охолоджуючій (ОСО) та додатковій (ДВ) водах:

$$\phi = Cl_{\text{осо}}/Cl_{\text{дв}}; \psi = Ж_{\text{осо}}/Ж_{\text{дв}} \quad (1)$$

У процесі дослідження застосовували такі методи:

польовий метод, відбір проб води здійснювали відповідно (ДСТУ ISO 5667-6-2001, 2001);

лабораторний метод, вимірювання концентрації SO_4^{2-} здійснювали за методикою (МБВ 081/12-0177-05, 2005);

розрахунковий та статистичний методи, використовували програму розрахунків та візуалізації даних за (Wessa, 2023).

Результати та обговорення

Водопідготовка додаткової води ОСО РАЕС включає передочищення води р. Стир: вапнуванням в бікарбонатному режимі та СО з використанням H_2SO_4 . Процес СО з використанням H_2SO_4 має негативні аспекти технологічного впливу, оскільки збільшує агресивність води ОСО по відношенню до бетону гідроспород (Argüelles et al, 2021), інтенсифікує корозію металевих трубопроводів і обладнання, та вима-

гає дотримання спеціальних вимог з охорони праці (SC090012/R2, 2011). З 2017 р. з метою мінімізації негативних впливів та уникнення технологічних обмежень для ОСО РАЕС запроваджений режим оптимізації реагентів із частковим дозуванням H_2SO_4 . Згідно з проєктним рішенням РАЕС, до 2017 р. проводилось постійне дозування H_2SO_4 в додаткову охолоджуючу воду ОСО до значень водневого показника додаткової охолоджуючої води рН 7,5–7,8 од. Для оптимізації використання H_2SO_4 при обробці ОСО РАЕС був використаний фактор (НЛз) доцільності підкислення додаткової охолоджуючої води для нейтралізації загальної лужності охолоджуючої води ОСО (2, 3), що розраховується за різницею значень розрахункової загальної лужності (РЛз) та фактичної загальної лужності (ФЛз) охолоджуючої води. При значенні критерію НЛз, що перевищує $0,3 \text{ ммоль/дм}^3$ проводиться дозування H_2SO_4 для зменшення величини лужності та інтенсивності накопичення HCO_3^- та CO_3^{2-} в охолоджуючій воді ОСО.

$$\text{НЛз} = \text{РЛз} - \text{ФЛз} \quad (2)$$

$$\text{РЛз} = \varphi \cdot \text{ФЛз}_{\text{ДВ}} \quad (3)$$

де $\text{ФЛз}_{\text{ДВ}}$ фактична лужність додаткової води ОСО.

За проєктним постійним дозуванням H_2SO_4 для СО ОСО рН додаткової води підтримувався в діапазоні рН 7,5–7,8 од. При впровадженні частково дозування за критерієм НЛз, середні значення рН знаходились в діапазоні 8,7–9,3 од., максимальні значення рН відповідали значенням притаманним освітленій воді при вапнуванні (рис. 2).

Середні та максимальні значення НЛз охолоджуючої води ОСО РАЕС за періоди постійного та часткового дозування H_2SO_4 співставні. Так, середні значення знаходились в діапазоні $0,13\text{--}0,23 \text{ ммоль/дм}^3$, максимальні $0,25\text{--}0,52 \text{ ммоль/дм}^3$ (рис. 3).

Тобто був реалізований факторіальний режим дозування реагенту, що відповідав дозуванню H_2SO_4 і не застосуванню підкислення H_2SO_4 для обробки ОСО та визначався критерієм дозування (НЛз, РЛз).

Запровадження факторіального режиму дозування H_2SO_4 для СО ОСО РАЕС за критерієм дозування НЛз обумовило зменшення споживання H_2SO_4 (рис. 4).

Середньорічна кількість споживання H_2SO_4 за 2017–2022 рр. склала 228 т/рік, за період постійного дозування H_2SO_4 2015–2016 рр. – 410,5 т/рік. Зменшене дозування H_2SO_4 зменшує вміст SO_4^{2-} у скидних водах та зменшує надходження SO_4^{2-} зі скидними водами (рис. 4).

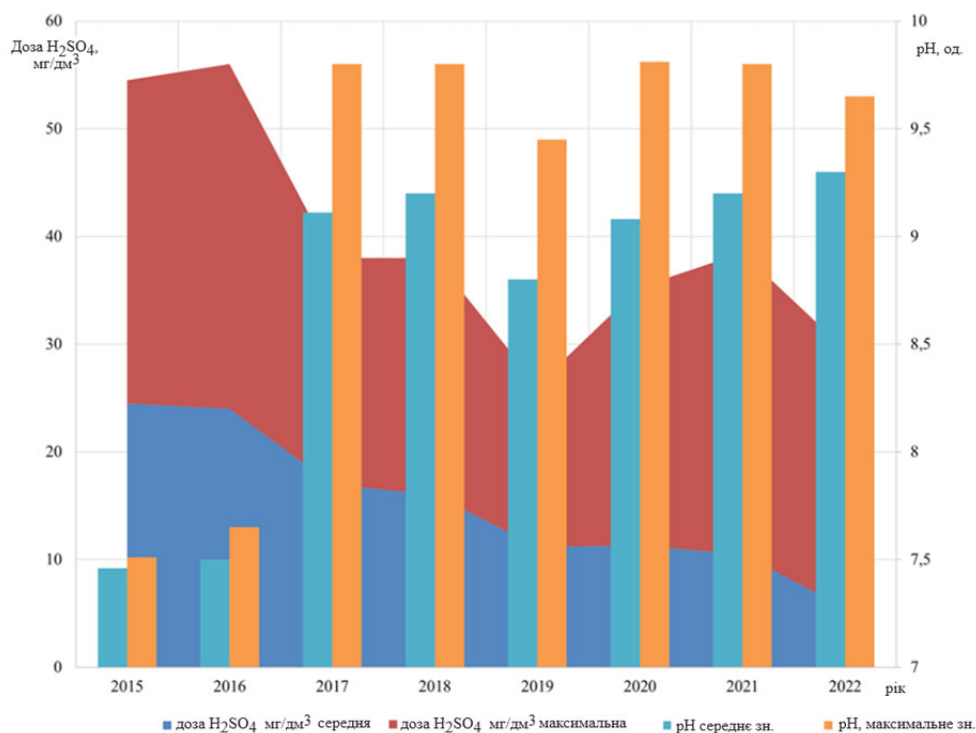


Рис. 2. Доза H_2SO_4 для СО та рН додаткової води ОСО РАЕС

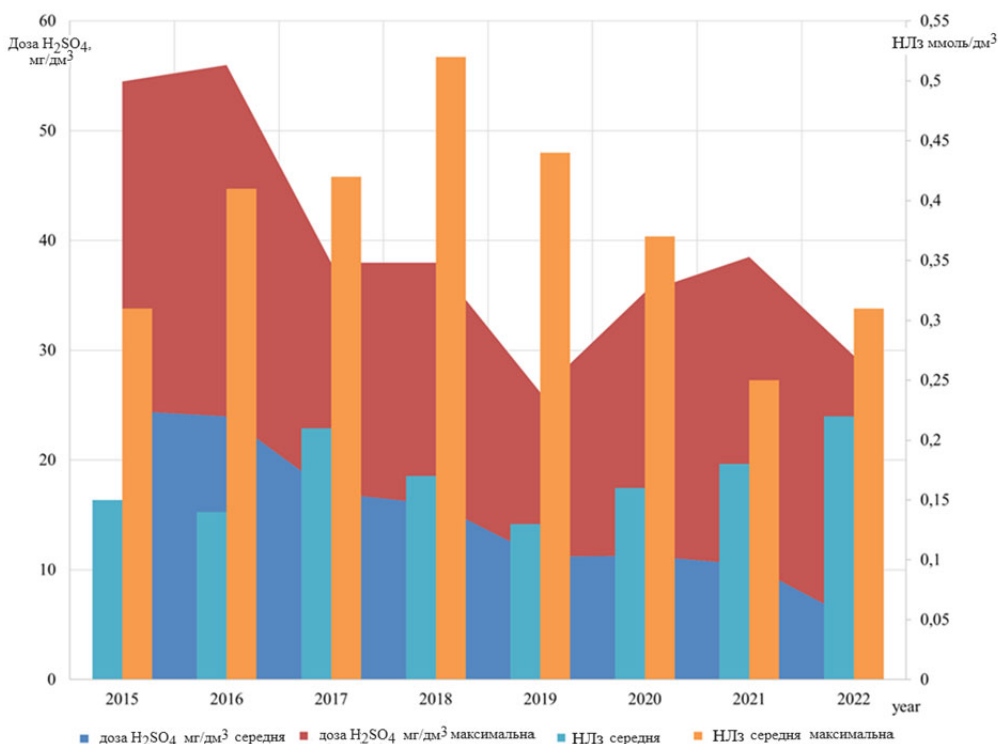


Рис. 3. Доза H₂SO₄ для СО додаткової води та значення НЛз охолоджуючої води ОСО ПАЕС

Концентрація SO₄²⁻ в воді р. Стир за 2015–2022 р. до водозабору ПАЕС знаходилась в діапазоні 20,3–92,6 мг/дм³, при серед-

ньому значенні 41,3±13,5 мг/дм³; після скиду зворотних вод ОСО ПАЕС 21,0–107,0 мг/дм³, середнє значення 42,8±14,5 мг/дм³; додат-

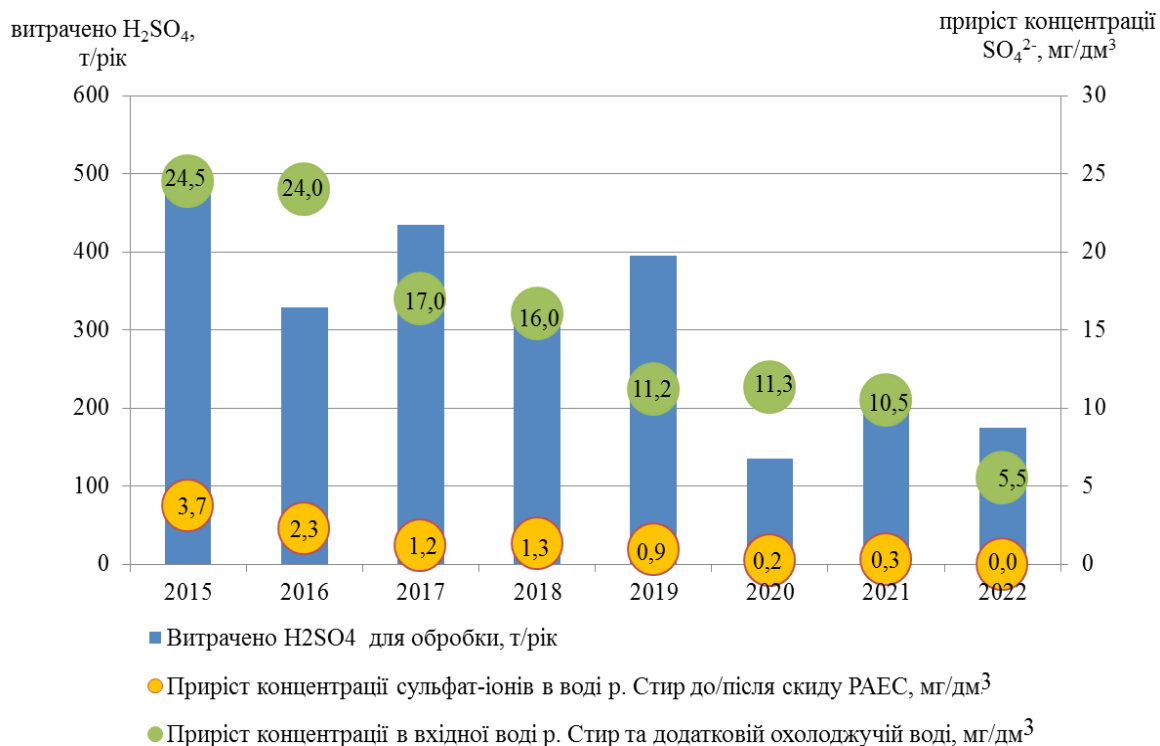


Рис. 4. Динаміка змін середньорічних кількостей H₂SO₄ для СО та відповідні прирости концентрації SO₄²⁻

Таблиця 1

Зміна концентрації SO_4^{2-} в технологічних водах РАЕС та воді р. Стир (2015–2022 рр.)

Показник	р. Стир до водозабору РАЕС, мг/дм ³	Додаткова вода ОСО РАЕС, мг/дм ³	Охолоджуюча вода ОСО РАЕС, мг/дм ³	р. Стир після скиду зворотних вод ОСО РАЕС, мг/дм ³
Середнє	41,3	52,3	154,0	42,8
Стандартне відхилення	13,5	14,6	56,3	14,5
Мінімум	20,3	30,6	81,2	21,0
Максимум	92,6	120,3	271,3	107,0

ковій воді ОСО 30,6–120,3 мг/дм³, середнє значення 52,3±14,6 мг/дм³; охолоджуючій воді ОСО РАЕС 81,2–271,3 мг/дм³, середнє значення 154,0±56,3 мг/дм³ (табл. 1). Аналіз концентрації SO_4^{2-} у воді р. Стир до водозабору РАЕС, після скиду зворотної води ОСО РАЕС та додатковій воді ОСО РАЕС виявляє помітні особливості їх розподілу (рис. 5).

Упродовж року у воді р. Стир спостерігалось незначне збільшення SO_4^{2-} в зимові та весняні місяці (рис. 6). Концентрація SO_4^{2-} в охолоджуючій воді ОСО РАЕС визначалась коефіцієнтом випаровування ϕ . У порівнянні з додатковою водою, вміст SO_4^{2-} в охолоджуючій воді ОСО збільшується пропорційно збільшенню коефіцієнту випаровування ϕ . Сезонна мінливість для концентрацій SO_4^{2-} в воді р. Стир до водозабору РАЕС, після скиду зворотної води ОСО РАЕС, додатковій воді ОСО РАЕС не прослідкується (рис. 6).

За результатами контролю води р. Стир до водозабору та після скиду зворотних вод ОСО РАЕС концентрація SO_4^{2-} не перевищує

гранично-допустиму концентрацію в водах рибогосподарського призначення – 100 мг/дм³. Фіксується незначний, до 2%, приріст концентрації SO_4^{2-} . Аналізуючи дані, що зображені на рис. 4, 6 в можна констатувати, що відбувається зменшення різниці приросту SO_4^{2-} до водозабору та після скиду в воді р. Стир в період 2017–2022 рр., що корелюється зі зниженням кількості використаної H_2SO_4 для СО ОСО РАЕС. Відстеження формування концентрації SO_4^{2-} у воді р. Стир на ділянках до водозабору РАЕС та після скиду зворотної води ОСО РАЕС свідчить про її помітне зростання за повної відсутності впливу на це додаткової води ОСО РАЕС.

Для оцінки ведення водно-хімічного режиму ОСО застосовуються різні критерії: індекс Ланжельє, Індекс Ризнера, індекс Ларсона-Скольда, різниці коефіцієнтів випаровування ϕ – ψ , встановлення обмежень за допустимими значеннями жорсткості охолоджуючої води. Збереження пропорційності зміни значень ϕ та ψ свідчить про пропорційність упарювання іонів кальцію, магнію та хлоридів в ОСО з відсутністю інтенсивного протікання процесу осадження кальцію у вигляді карбонату кальцію. Середні значення різниці ϕ та ψ в охолоджуючій воді ОСО РАЕС, що характеризують інтенсивність накипоутворення (НЛз), за період 2012–2022 рр., не перевищують нормоване значення 0,2 та характеризують охолоджуючу воду, як не схильну до утворення накипу (рис. 7). Результати низької інтенсивності накипоутворення в ОСО, отримані за результатами контролю величини критерію утворення накипу ϕ та ψ , підтверджуються фактичним задовільним станом внутрішніх поверхонь зрошувачів градирень ОСО РАЕС (рис. 8) з дотриманням нормативних значень температурного напору споживачів ОСО РАЕС.

Значення різниці ϕ та ψ за періоди сталого та часткового дозування сірчаної кис-

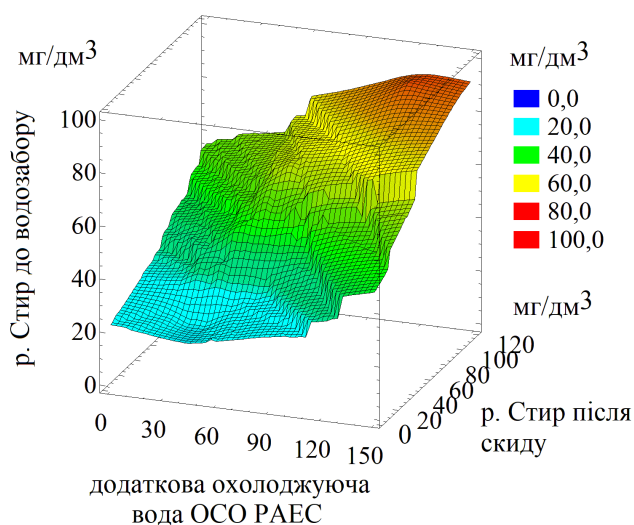


Рис. 5. Формування концентрації SO_4^{2-} у воді р. Стир (до водозабору РАЕС, після скиду зворотної води) та додатковій воді ОСО РАЕС

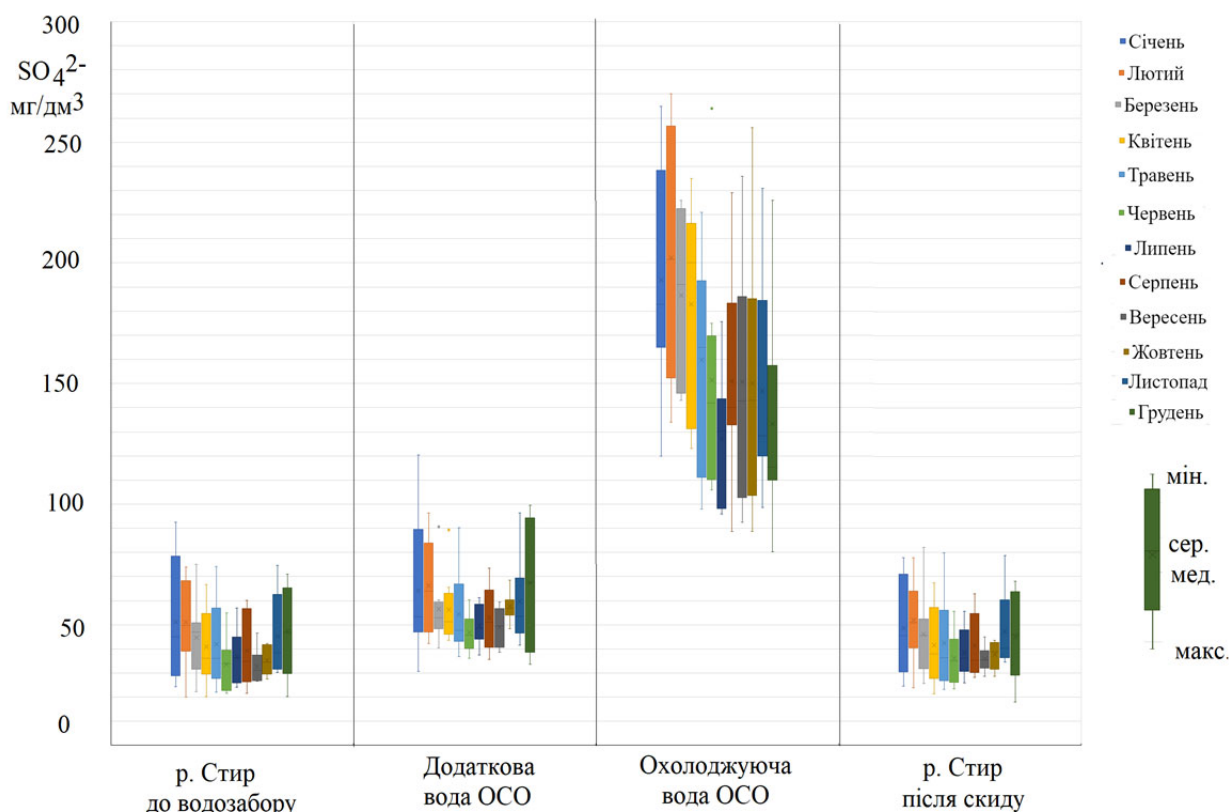


Рис. 6. Середньомісячні концентрації SO_4^{2-} у воді р. Стир до водозабору, після скиду зворотної води РАЕС та в технологічних водах ОСО РАЕС (2015–2022 рр.)

лоти співставні. Незафіксоване погіршення візуального стану обладнання (див. рис. 8), отже можна стверджувати, що періоди відсутності дозування H_2SO_4 , через застосування факторіального її дозування, не призвели до інтенсифікації процесів утворення накипу в ОСО РАЕС.

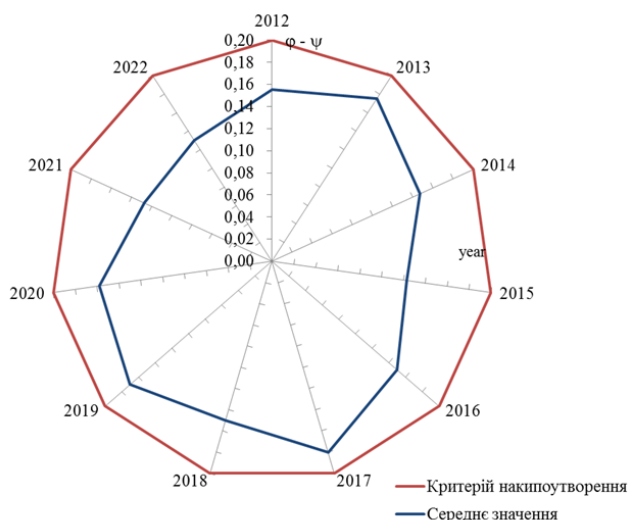
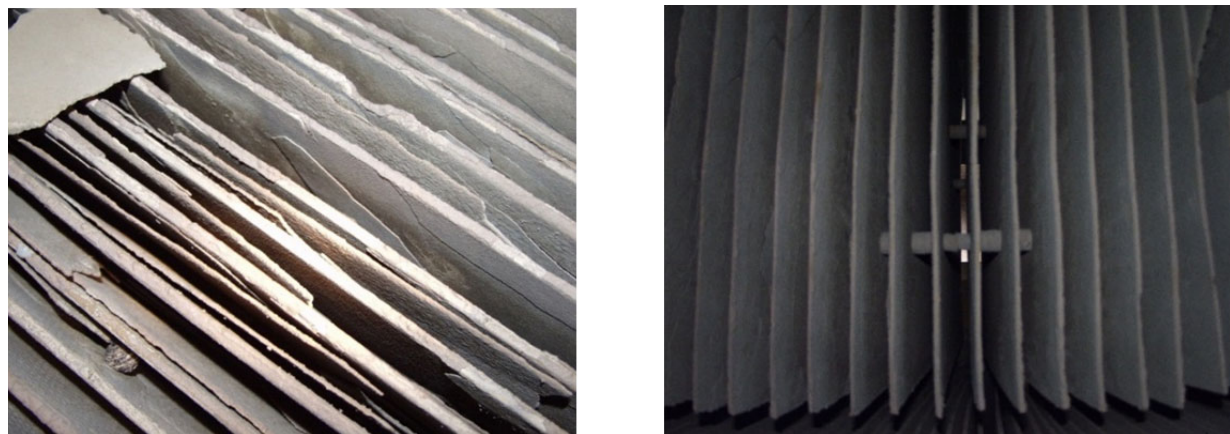


Рис. 7. Динаміка змін середньорічних значень різниці ϕ та ψ в охолоджуючій воді ОСО РАЕС

Висновки

Режим СО ОСО зі використанням H_2SO_4 для зниження вмісту бікарбонат та карбонат-іонів дозволяє ефективно зменшити процеси накипоутворення в системах охолодження електростанцій, що підтверджується оцінкою накипоутворення за хімічними показниками ВХР ($\phi - \psi$) та візуальним станом обладнання ОСО. Оптимізація використання реагентів для СО охолоджуючої води ОСО дозволяє мінімізувати як кількість реагенту, що використовується для обробки так і скиди забруднюючих речовин у водні об'єкти при експлуатації ОСО. Застосування H_2SO_4 може бути доцільним для підтримання водно-хімічного режиму ОСО з метою зменшення утворення накипу CaCO_3 за фактором підкислення, що визначається необхідністю дозування H_2SO_4 . Запроваджений режим оптимізації використання H_2SO_4 для СО ОСО у РАЕС забезпечив зменшення використання H_2SO_4 та скиди у водний об'єкт. Періоди відсутності СО H_2SO_4 не вплинули на процеси накипоутворення в ОСО. За періоди часткового дозування H_2SO_4 спостерігається зниження концентрації SO_4^{2-} в скидних водах, зменшення приросту



а б

Рис. 8. Стан зрошувачів градирень РАЕС при здійсненні СО ОСО з постійним (а – 2003 р.) та факторіальним (б – 2020 р.) дозуванням H_2SO_4

вмісту SO_4^{2-} до водозабору та після скиду води ОСО РАЕС, що корелює зі зниженням кількості використаної H_2SO_4 для водопідготовки ОСО та обумовлює зменшення

екологічного впливу на р. Стир. Результати дослідження можуть бути застосовані до будь-якої електростанції з ОСО, де реалізована СО зі використанням H_2SO_4 .

Список використаної літератури

Бедункова О.О., Кузнєцов П.М. Формування карбонатної системи оборотної охолоджуючої води атомної електростанції та вплив на рН поверхневих вод при зворотних скидах. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 3(48). С. 163–168.

Вимоги. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, побутових та інших потреб населення (2022). Наказ МОЗ України від 02.05.2022 № 721. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (дата звернення 05.11.2023).

Вимоги. Узагальнений перелік гранично допустимих концентрацій (ГДК) та орієнтовно безпечних рівнів впливу (ВЗУВ) шкідливих речовин для води рибогосподарських водойм. Мінагрополітики (1990) (Наказ ДСНС України від 31.08.2017 № 47 Про затвердження Переліку галузевих стандартів, чинний до 01.01.2025). [Електронний ресурс]. URL: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc> (дата звернення 05.11.2023).

Дозвіл на спецводокористування ВП РАЕС № 53/ПВ/49д-20. (2020). [Електронний ресурс]. URL: <https://e-services.davp.gov.ua/> (дата звернення 05.11.2023).

ДСТУ ISO 5667-6-2001. Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб з річок та інших водотоків. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64511 (дата звернення 05.11.2023).

Звіт з оцінки впливу нерадіаційних факторів ВП «Рівненська АЕС» ДП «НАЕК «Енергоатом» на довкілля за 2013–2022 [Електронний ресурс]. URL: <https://energoatom.gov.ua/wp-content/uploads//passport.pdf> (дата звернення 05.11.2023).

Кузнєцов П. М. Біологічне забруднення та еколого - утилітарні методи зменшення біологічних перешкод у системі технічного водопостачання електростанцій : *матеріали тез доповідей III Міжнародна науково-практична конференція «Природничі науки: проекти, дослідження, перспективи»*, К.: «Талком», 2022. 176 с. [Електронний ресурс]. URL: http://dSPACE.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9537/1/fpn_zb_mater_3michn_konf2022.pdf#page=46 (дата звернення 05.11.2023).

Кузнєцов П.М., Бедункова О.О. Порівняльний гідробіологічний моніторинг вод систем технічного водопостачання атомних електростанцій. *Водні біоресурси та аквакультура*, 2022. Вип. 2(12). С. 180–190.

Кузнєцов П.М., Бедункова О.О. Сучасні підходи до здійснення антинакипної обробки технологічних вод оборотних систем охолодження електростанцій. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023) : *матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.) : у 2 т. / Національний

університет «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. Т. 2. с. 158–160. [Електронний ресурс]. URL: <http://ir.stu.cn.ua/123456789/28099> (дата звернення 05.11.2023).

Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика вимірювання масової концентрації сульфатів титриметричним методом МВВ № 081/12-0177-05. Стандарт в Україні, 29 с. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76457 (дата звернення 05.11.2023).

Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (дата звернення 05.11.2023).

Argüelles R., Toledo M., Martín, M.A. Study of the Tagus River and Entrepeñas reservoir ecosystem around the Trillo nuclear power plant using chemometric analysis: Influence on water, sediments, algae and fish. *Chemosphere*. 2021. Vol. 279 (130532). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130532>.

Barker J., Alyssa, J.F., Pellerin, A. The Biogeochemical Sulfur Cycle of Marine Sediments. *Frontiers in Microbiology*, 2017. Vol. 10(5). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00849>.

Chen M., Hong X., He Y., Song N., Cai H., Wang C., Li Y.T., Chu H.Y., Krumholz, L.R., Jiang, H.L. Increasing sulfate concentrations result in higher sulfide production and phosphorous mobilization in a shallow eutrophic freshwater lake, *Water Research*, Vol. 201696(1). pp. 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.030>.

GBC Government of British Columbia (2006). British Columbia approved water quality guidelines. Ministry of environment. Canada. Retrieved March 16, 2009, [Електронний ресурс]. URL: http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/approv_wq_guide/approved.html (дата звернення 05.11.2023).

Kuznietsov P., Biedunkova O. Study of Changes in Acid-Alkaline Balance of Cooling Water Circulating System of Power Plants during Water Treatment by Liming According to Stabilization Treatment Method – 2023, *4th International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering: Proceedings – June 26–29th, 2023, Lviv, Ukraine*. pp. 239–241. <https://doi.org/10.23939/cte2023.239>.

Little B.J., Ray R.I., Pope R.K. (2000) Relationship Between Corrosion and the Biological Sulfur Cycle: A Review. *Corrosion*, 2000. Vol. 56(4). pp. 433–443. <https://doi.org/10.5006/1.3280548>.

Macknick J., Newmark R., Heath G., Hallett K. C. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 2012. Vol. 7(4), pp. 045802. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045802>.

NHMRC. Australian drinking water guidelines. Retrieved March 16, 2004. [Електронний ресурс]. URL: http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/_files/adwg_11_06_info_sheets.pdf (дата звернення 05.11.2023).

Norboyev K., Mukhtarov F., Zokhid H.N. Usmonov Study of the influence of cooling water quality and inhibitors on the corrosion rate of brass in cooling water *E3S Web Conf.*, 2023. Vol. 434, 01029 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401029>.

Peterson N.L. Drinking water and health. Sulphates in drinking water. *Water Sewage Works*, 1990. Vol. 55(143), pp. 425–428.

RAIS Risk Assessment Information System. Toxicity profiles: Toxicity summary of sulphate. Retrieved March 16, 2009. [Електронний ресурс]. URL: http://rais.ornl.gov/tox/profiles/sulfate_f_V1.shtml (дата звернення 05.11.2023).

SC090012/R2. Chemical discharges from nuclear power stations: historical releases and implications for Best Available Techniques Annex Report – SC090012/R2, Environment Agency, *Horizon House*, Deanery Road, [Електронний ресурс]. URL: <https://www.environment-agency.gov.uk> (дата звернення 05.11.2023).

Strategies to Reduce Sulfuric Acid Usage in Evaporative Cooling Water Systems. *Water*, 2010. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.powermag.com/strategies-to-reduce-sulfuric-acid-usage-in-evaporative-cooling-water-systems/> (дата звернення 05.11.2023).

Sumita D., Yadav A., Dwivedi P.D., Das M. Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review, *Journal of Cleaner Production*, 2015. Vol. 87, pp. 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.017>.

Universidad Austral de Chile. Estudio sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el santuario de la naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia.

[Електронний ресурс]. URL: <https://www.ceachile.cl/Cruces/PDF/25.%20Informe%20final%20UACH.pdf> (дата звернення 05.11.2023).

Wessa P. Free Statistics Software, Office for Research Development and Education, ver. 1.2.1. 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wessa.net/> (дата звернення 05.11.2023).

World Health Organisation. Sulphate in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. [Електронний ресурс]. URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/sulfate.pdf?sfvrsn=b944d584_4 (дата звернення 05.11.2023).

Zak D., Hupfer M., Cabezas A., Jurasinski G., Audet J., Kleeberg A. Sulphate in freshwater ecosystems: A review of sources, biogeochemical cycles, ecotoxicological effects and bioremediation, *Earth-Science Reviews*, 2021. Vol. 212 (103446). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103446>.

Zhang W., Ma L., Jia B., Zhang Z., Liu Y., Duan L. Optimization of the circulating cooling water mass flow in indirect dry cooling system of thermal power unit using artificial neural network based on genetic algorithm. *Applied Thermal Engineering*, 2023. Vol. 223, p. 120040. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120040>.

References (translated & transliterated)

Biedunkova, O.O., & Kuznietsov, P.M. (2023). Formuvannia karbonatnoi systemy oborotnoi okholodzhuiuchoi vody atomnoi elektrostantsii ta vplyv na poverkhnevyykh vod pry zvorotnykh skydakh [Formation of a carbonate system of recycled cooling water of a nuclear power plant and its influence on the pH of surface waters during return discharges]. *Ekolohichni nauky [Environmental sciences]*, 3(48). 163-168 [in Ukrainian].

Vymohy [Requirements] (2022). Hihienichni normatyvy yakosti vody vodnykh ob'ektiv dlia zadovolenia pytnykh, pobutovykh ta inshykh potreb naselennia [Hygienic water quality standards for water bodies to meet the drinking, domestic and other needs of the population]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0524-22#Text> (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Vymohy [Requirements] (1990). Uzahalnenyi perelik hranychno dopustymykh kontsentratsii (HDK) ta oriientovno bezpechnykh rivniv vplyvu (VZUV) shkidlyvykh rehovyn dlia vody rybohospodarskykh vodoim. Minahropolityky [A generalized list of maximum permissible concentrations (MPC) and approximate safe exposure levels (ASEL) of harmful substances for water in fishery reservoirs. Ministry of Agrarian Policy]. [Electronic resource] URL: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc> (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Dozvil na spetsvodokorystuvannia VP RAES № 53/RV/49d-20. (2020). [Special water use permit for RNPP No. 53/RV/49d-20] [Electronic resource] URL: <https://e-services.davr.gov.ua/> (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

DSTU ISO 5667-6-2001. (2023). Iakist vody. Vidbyrannia prob. Chastyna 6. Nastanovy shchodo vidbyrannia prob z richok ta inshykh vodotokiv [Water quality. Sampling. Part 6. Guidelines for sampling rivers and other watercourses]. [Electronic resource] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64511 (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Zvit z otsinky vplyvu neradiatsiinykh faktoriv VP «Rivnenska AES» DP «NAEK «Enerhoatom» na dovkillia za 2013–2022 [Report on Environmental Impact Assessment of Non-Radiation Factors of the Rivne NPP of the Energoatom Company for 2013–2022]. [Electronic resource] URL: <https://energoatom.gov.ua/wp-content/uploads//passport.pdf> (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Kuznietsov, P.M. (2022). Biolohichne zabrudnennia ta ekoloho – utylitarni metody zmenshennia biolohichnykh pereshkod u systemi tekhnichnoho vodopostachannia elektrostantsii [Biological Pollution and Ecological-Utilitarian Methods of Reducing Biological Interference in the Technical Water Supply System of Power Plants]. Materialy tez dopovidei III Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Pryrodnychi nauky: proiekty, doslidzhennia, perspektyvy», K.: «Talkom». 176. [Electronic resource] URL: http://dspace.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/9537/1/fpn_zb_mater_3michn_konf2022.pdf#page=46 (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Kuznietsov, P.M., & Biedunkova, O.O. (2022). Porivnialnyi hidrobiolohichni monitorynh vod system tekhnichnoho vodopostachannia atomnykh elektrostantsii [Comparative hydrobiological monitoring of water in technical water supply systems of nuclear power plants]. *Vodni bioresursy ta akvakultura [Aquatic bioresources and aquaculture]*, 2(12). 180–190 [in Ukrainian].

Kuznietsov, P.M., & Biedunkova, O.O. (2023). Suchasni pidkhody do zdiisnennia antynakypnoi obrobky tekhnolohichnykh vod oborotnykh system okholodzhennia elektrostantsii [Modern

approaches to the implementation of antiscale treatment of process waters of circulating cooling systems of power plants]. Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system (KZlaTPS – 2023) : materialy tez dopovidei XIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Chernihiv, 25–26 travnia 2023 r.) : u 2 t. / Natsionalnyi universytet «Chernihivska politekhnika» [ta in.] ; Chernihiv : NU «Chernihivska politekhnika», 2023. T. 2. s. 158–160. [Electronic resource] URL: <http://ir.stu.cn.ua/123456789/28099> (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Poverkhnevi, pidzemni ta zvorotni vody [Surface water, groundwater, and recycled water]. Metodyka vymiriuvannia masovoi kontsentratsii sulfatuv tytrymetrychnym metodom [Method for measuring the mass concentration of sulfates by the titrimetric method]. MVV 081/12-0177-05. (2005). 29 p. [Electronic resource] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76457 (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 09.12.2022 № 1134-r [On approval of the Water Strategy of Ukraine for the period up to 2050 : Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 09.12.2022 No. 1134-r]. Pro skhvalennia Vodnoi stratehii Ukrainy na period do 2050 roku: (2022). [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text> (access date 05.11.2023) [in Ukrainian].

Argüelles, R., Toledo, M., & Martín, M.A. (2021). Study of the Tagus River and Entrepeñas reservoir ecosystem around the Trillo nuclear power plant using chemometric analysis: Influence on water, sediments, algae and fish. *Chemosphere*. 279 (130532). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130532> [in English].

Barker, J., Alyssa, J.F., & Pellerin, A. (2017). The Biogeochemical Sulfur Cycle of Marine Sediments. *Frontiers in Microbiology*. 10(5). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00849> [in English].

Chen, M., Hong, X., He, Y., Song, N., Cai, H., Wang, C., Li, Y. T., Chu, H.Y., Krumholz, L.R., & Jiang, H.L. (2016). Increasing sulfate concentrations result in higher sulfide production and phosphorous mobilization in a shallow eutrophic freshwater lake, *Water Research*. 96(1), pp. 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.030> [in English].

GBC Government of British Columbia (2006). British Columbia approved water quality guidelines. Ministry of environment. Canada. Retrieved March 16, 2009, [Electronic resource] URL: http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/approv_wq_guide/approved.html (access date 05.11.2023) [in English].

Kuznietsov, P., & Biedunkova, O. (2023). Study of Changes in Acid-Alkaline Balance of Cooling Water Circulating System of Power Plants during Water Treatment by Liming According to Stabilization Treatment Method, 4th International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering: Proceedings – June 26–29th, 2023, Lviv, Ukraine, pp. 239–241 <https://doi.org/10.23939/cte2023.239> [in English].

Little, B.J., Ray, R.I., & Pope, R.K. (2000). Relationship Between Corrosion and the Biological Sulfur Cycle: A Review. *Corrosion*, 2000. 56 (4), 433–443. <https://doi.org/10.5006/1.3280548> [in English].

Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., & Hallett, K.C. (2012). Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*. 7(4), pp. 045802. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045802> [in English].

NHMRC. Australian drinking water guidelines. Retrieved March 16, 2004. [Electronic resource] URL: http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/_files/adwg_11_06_info_sheets.pdf (access date 05.11.2023) [in English].

Norboyev, K., Mukhtarov, F., & Zokhid, H.N. (2023). Usmonov Study of the influence of cooling water quality and inhibitors on the corrosion rate of brass in cooling water *E3S Web Conf.*, 434 01029 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343401029> [in English].

Peterson, N.L. (1990). Drinking water and health. Sulphates in drinking water. *Water Sewage Works*. 55(143), pp. 425-428 [in English].

RAIS Risk Assessment Information System (1998). Toxicity profiles: Toxicity summary of sulphate. Retrieved March 16, 2009. [Electronic resource] URL: http://rais.ornl.gov/tox/profiles/sulfate_f_V1.Shtml (access date 05.11.2023) [in English].

SC090012/R2. (2011). Chemical discharges from nuclear power stations: historical releases and implications for Best Available Techniques Annex Report – SC090012/R2, Environment Agency, Horizon House, Deanery Road, [Electronic resource] URL: <https://www.environment-agency.gov.uk> (access date 05.11.2023) [in English].

Strategies to Reduce Sulfuric Acid Usage in Evaporative Cooling Water Systems. *Water*. (2010). [Electronic resource] URL: <https://www.powermag.com/strategies-to-reduce-sulfuric-acid-usage-in-evaporative-cooling-water-systems/> (access date 05.11.2023) [in English].

Sumita, D., Yadav, A., Dwivedi, P.D., & Das, M. (2015). Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review, *Journal of Cleaner Production*. 87, pp. 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.017> [in English].

Universidad Austral de Chile (2005). Estudio sobre origen de mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el santuario de la naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia. [Electronic resource] URL: <https://www.ceachile.cl/Cruces/PDF/25.%20Informe%20final%20UACH.pdf> (access date 05.11.2023) [in Spanish].

Wessa, P. (2023) Free Statistics Software, Office for Research Development and Education, ver. 1.2.1. [Electronic resource] URL: <https://www.wessa.net/> (access date 05.11.2023) [in English].

World Health Organisation (2004). Sulphate in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. [Electronic resource] URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/sulfate.pdf?sfvrsn=b944d584_4 (access date 05.11.2023) [in English].

Zak, D., Hupfer, M., Cabezas, A., Jurasinski, G., Audet, J., & Kleeberg, A., et al. (2021). Sulphate in freshwater ecosystems: A review of sources, biogeochemical cycles, ecotoxicological effects and bioremediation, *Earth-Science Reviews*, Volume 212 (103446). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103446> [in English].

Zhang, W., Ma, L., Jia, B., Zhang, Z., Liu, Y., & Duan, L. (2023). Optimization of the circulating cooling water mass flow in indirect dry cooling system of thermal power unit using artificial neural network based on genetic algorithm. *Applied Thermal Engineering*. 223(120040). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120040> [in English].

Отримано: 13.11.2023
Прийнято: 24.11.2023



УДК 582.475.1:595.768.2:712.253(477.51-25)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.15>

**ВПЛИВ *IPS ACUMINATUS* GYLL., *IPS SEXDENTATUS* WOERN. НА ЛІСОВІ
ЕКОСИСТЕМИ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «ЯЛІВЩИНА»
(М. ЧЕРНІГІВ)**

В. О. Свердлов¹, Ю. О. Карпенко², С. О. Потоцька³

Лісові екосистеми природо-заповідних об'єктів у межах урботериторій є недостатньо вивченими в сучасній природоохоронній науці й потребують подальших досліджень. Соснові насадження міських зелених зон є найбільш важливим і дієвим засобом у формуванні мікроклімату, а також виступають екологічно стабілізуючим чинником територіального середовища.

*Масове розмноження й розповсюдження на значні території стовбурових шкідників на деревах *Pinus sylvestris* L. під впливом комплексу екологічних факторів, є одним із значних, що порушують структуру лісових екосистем та сприяють подальшій їх руйнації і зміні видового складу деревостанів. Нами встановлено, що у всиханні соснових насаджень у межах Чернігівського Полісся, а саме на території регіонального ландшафтного парку «Ялівщина» (далі – парк) відіграють провідну роль шкідники родини *Iridae*. Вони заселяють ослаблені дерева, унаслідок природно-кліматичних змін і надмірного антропогенного навантаження.*

*У межах парку дерева *Pinus sylvestris* зростають у значно змінених, сильно антропогенізованих лісорослинних умовах, про що свідчить аналіз комплексу характеристик місцезростань й фактичного стану рослинності в цілому. Під час обстеження нами було визначено ділянки в парку, які пошкодженні *Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*, що викликало поступову деградацію соснових насаджень й формування сухостою.*

На підставі проведених власних моніторингових досліджень та аналізу, уперше показано результати практичного застосування комплексних технологічних, біотехнічних і природоохоронних

¹ аспірант кафедри екології, географії та природокористування
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: vovasv8989@ukr.net

ORCID: 0000-0002-4079-0831

² кандидат біологічних наук, доцент
завідувач кафедри екології, географії та природокористування
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів)
e-mail: yuch2011@i.ua

ORCID: 0000-0002-1703-8473

³ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри біології
(Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка)
e-mail: s_pototska@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3595-503X

заходів боротьби зі стовбуровими шкідниками соснових насаджень на природно-заповідних територіях у межах міських систем. Нами доведено, що для збереження екологічної стійкості соснових угруповань території Чернігівського Полісся, зокрема і парку «Ялівщина» (м. Чернігів) та зменшення негативного впливу комах-ксилофагів, необхідно запроєктувати й використовувати профілактичні й біологічні методи боротьби з стовбуровими шкідниками.

Ключові слова: Чернігівське Полісся, регіональний ландшафтний парк «Ялівщина», соснові насадження, *Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*, феромонний моніторинг.

IMPACT OF *IPS ACUMINATUS* GYLL., *IPS SEXDENTATUS* BOERN. ON FOREST ECOSYSTEMS OF THE REGIONAL LANDSCAPE PARK «YALIVSHCHYNA» (CHERNIHIV)

V. O. Sverdlov, Yu. O. Karpenko, S. O. Pototska

Forest ecosystems of nature reserve objects within urban territories are insufficiently studied in modern nature conservation science and require further research. The basics of planting urban green zones are the most important and effective means of forming a microclimate, and also act as an ecologically stabilizing factor of the territorial environment.

Mass reproduction and spread over large areas of trunk pests on *Pinus sylvestris* L. trees under the influence of a complex of environmental factors is one of the significant factors that destroy the structure of forest ecosystems and contribute to their further destruction and change in the species composition of stands. We have established that pests of the *Ipidae* family play a leading role in the entire base of pine plantations within Chernihiv Polissya, namely in the territory of the regional landscape park «Yalivshchyna» (hereinafter - the park). They inhabit weakened trees as a result of natural and climatic changes and strong anthropogenic stress.

Within the park, *Pinus sylvestris* trees grow in significantly changed, heavily anthropogenic forest vegetation conditions, which disrupts the analysis of the complex of site growth characteristics and the actual state of the vegetation as a whole. During the survey, we identified areas in the park that were damaged by *Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*, which caused the gradual degradation of pine plantations and the formation of dryness.

On the basis of our own monitoring studies and analysis, the results of the practical application of complex technological, biotechnical and nature protection measures to combat stem pests based on plantations in nature-protected areas within urban systems are shown for the first time. We have proven that for ecological sustainability as the basis of the grouping of the territory of Chernihiv Polissya, in particular, the park «Yalivshchyna» (Chernihiv) and to reduce the negative impact of xylophagous insects, it is necessary to design and use preventive and biological methods of combating stem pests.

Key words: Chernihiv Polissya, regional landscape park «Yalivshchyna», pine plantations, *Ips acuminatus*, *Ips sexdentatus*, pheromone monitoring.

Вступ

Короїди (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) є складовими лісових екосистем і заселяють ослаблені різною мірою хвойні дерева. Фактори впливу на лісові екосистеми (посуха, вітровали, пожежі або надмірне антропогенне навантаження) збільшують кількість ослаблених дерев, що створює умови для розмноження *Ips acuminatus*, *Ips sexdentatus* (Andreyeva, 2016). Останнім часом, унаслідок зміни клімату й зростання антропогенного навантаження, у лісових ценозах збільшилася кількість дерев, які є придатними для заселення короїдами, а зміна клімату сприяє прискоренню розвитку комах-шкідників, та їх переваги в заселенні, зокрема видів, які спроможні розвиватися у декількох поколіннях на

рік (Moroz, 2020). Ці види (*Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*) можуть заселяти дерева *Pinus sylvestris* впродовж майже всього вегетаційного періоду, а також ослаблюють їх під час додаткового живлення та внаслідок перенесення фітопатогенних організмів (Dyadechko, 1990).

Питання короїдного всихання хвойних насаджень є у центрі певної уваги науковців при прагненні до її вирішення. Екологіко-кліматичні чинники сприяють масовому розмноженню і, як результат, збільшенню популяційних показників шкідливих комах. Зі свого боку насадження *Pinus sylvestris*, ослаблені під дією високих температур та інших чинників, зазнають руйнівного впливу і є достатньою харчовою базою для шкідників хвойних видів (Andreyeva, 2016).

Вивчення особливостей пошкоджень шкідниками видів відділу *Pinophyta*, динаміки їх чисельності й поширення видів були висвітлені у ряді наукових публікацій як українських, так і закордонних фахівців у цій сфері, зокрема В.А. Мешкова, М.М. Падій, М.М. Римський-Корсаков, П.А. Гайченя, Е.Г. Мозолевська, Б. Дж. Бенц, Р. Лінаковскі, Е. Крістіансен, Б. Вермелінгер, Ю. Ямаока, Дж. Мюллер, Дж. А. Баєрс, Т. Нома (Jaime, L. et al., 2019). Шевирьов І.Я., Воронцов О.І., український ентомолог Мокрежецький С.О. вивчали життєві цикли комах-шкідників і розробляли засоби захисту (Jaime et al., 2019). Значний внесок у вивчення біології і екології комах-шкідників зробив український ентомолог М.С. Грезе (Greze, 1936), який досліджував діяльність комах-листогризів, які впливають на приріст деревини, випробував хімічні методи боротьби з жуками-короїдами. Грезе М.С. одним із перших ентомологів у 1939 році розпочав дослідження штучних лісів та лісових смуг на пісках у Нижньому Придніпров'ї.

Отже, для збереження екологічної стійкості соснових насаджень й визначення методів боротьби зі стовбуровими шкідниками, необхідно дослідити особливості розвитку популяцій цієї групи шкідників, їх поширення, розселення, поведінку, особливості харчування імаго різних поколінь й генерацій за результатами стаціонарного нагляду, феромонного моніторингу.

Сучасний стан та лісопатологічна, ценотична ситуація, що склалася із всиханням соснових насаджень на території парку та Полісся в цілому, може призвести до таких негативних змін, а саме: зменшення чистих соснових насаджень з *Pinus sylvestris*; зниження показників загальної повноти деревостанів. Але за умови збереження тенденцій всихання відбудеться в майбутньому зміна складу та вікової структури деревостанів лісових екосистем (Zavada, 2010).

Метою є з'ясування впливу стовбурових шкідників родини *Ipidae*, визначити показники стану дерев *Pinus sylvestris*, особливостей популяцій шкідників на ділянках ослаблених природними чинниками та антропогенними впливами лісових екосистем на території РЛП «Ялівщина» та запропонувати методи боротьби з стовбуровими шкідниками соснових насаджень.

Матеріал та методи

Дослідження стану лісових екосистем парку нами проводилися у період

2017–2023 рр. Для обґрунтування особливостей розвитку популяцій короїдів, одержання об'єктивних кількісних даних, що відображають стан пошкоджених насаджень, динаміку чисельності шкідників, нами застосовувалися методи рекогносцирувального лісопатологічного обстеження, стаціонарного нагляду, детального обстеження осередків стовбурових шкідників у межах функціональних зон парку, його соснових екоотопів.

Під час проведення лабораторно-польових досліджень з метою встановлення чисельності жуків-короїдів і періодів льоту протягом вегетаційного періоду 2019–2020 рр. (з квітня по жовтень) нами застосовувалася методика «ловчих (модельних) дерев» (Zavada, 2010) і розвішування «феромонних пасток» IBL-3 (феромонний диспенсер Ipsodor).

Під час застосування цих методів здійснювався масовий збір матеріалу у вигляді імаго шкідників, що призвело до часткової локалізації осередку на території дослідження.

Стовбурові шкідники за часом заселення деревостану розподілено на дві фенологічні групи (весняну й літню). З найрозповсюдженіших стовбурових шкідників, у весняну групу входять: *Tomicus minor* Hart., *Ips acuminatus*, *Ips sexdentatus*, *Ips typographus* L. Літню фенологічну групу становлять вторинні й сестринські покоління вершинного короїда, короїда-стенографа та короїда-типографа (Pogohnyach, 2018). Детальний нагляд проводять від моменту виявлення спалаху масового розмноження до його повного загасання внаслідок загибелі або оздоровлення соснових насаджень. Використання феромонів для нагляду є доцільним у загальній системі виявлення осередків стовбурових шкідників лісу й контролю за їх розвитком. Оскільки феромони є біологічно активними речовинами, є небезпека спровокувати за їх допомогою виникнення нових осередків, а тому їх варто застосовувати суворо відповідно до інструкцій й рекомендацій (Meshkova, 2018).

Нами визначено основні завдання: вивчення особливостей розвитку популяцій короїдів, їх поширення й розселення, поведінку, особливості харчування імаго різних поколінь й генерацій за період 2017–2023 рр.; визначення причин розширення кормової бази шкідливих комах (2018–2023 рр.); пропонування методів боротьби з головними стовбуровими шкідниками дерев *Pinus*

sylvestris задля збереження їх екологічного потенціалу (2020–2023 рр.).

Результати та обговорення

Територія РЛП «Ялівщина» має площу 168,7 га, знаходиться в північно-східній частині міста Чернігова та визначається орографічними і ґрунтово-гідрологічними умовами, значним антропогенним і рекреаційним навантаженням, що сприяло формуванню різноманітних екотопів, переважно лісового типу. Згідно геоботанічного районування територія парку належить до Чернігівсько-Сосницького району дубово-соснових і дубових лісів та справжніх лук Лівобережнополіського (Чернігівсько-Новгород-Сіверського) округу, Поліської підпровінції, Східноєвропейської провінції, Європейської широколистянолісової області. Основна частина лісових угруповань знаходиться на надзаплавній терасі лівого берега річки Стрижень, де вони формуються на дерново-підзолистих ґрунтах з піщаною основою (Karpenko et al., 2022).

За кількісними показниками на території РЛП «Ялівщина» переважають угруповання хвойних та мішаних систем з *Pinus sylvestris*, *Acer platanoides* L., *Betula pendula* L., *Robinia pseudoacacia* L. (штучні насадження з часу існування ботанічного саду) та *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill. та ін. (Karpenko et al., 2022).

Серед соснових ценозів на території парку переважають середньовікові культури *Pinus sylvestris* та на незначній площі трапляються старі природні ділянки, які представлені угрупованнями сосняків злакових, фрагментарно соснових зеленомохових (Karpenko et al., 2022).

З 2017 року на території парку зафіксовано ураження соснових насаджень представниками видів *Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*, що визначалися всиханням ослаблених особин сосни звичайної. Серед ознак ураження дерев соснових насаджень: хвоя стає блідою, потім жовтою й коричневою; з'являються невеликі круглі отвори в корі; наявність бурового борошна біля стовбурів та опалих гілок під деревом (Zhezhkun, 2019).

Аналіз таксаційних характеристик соснових насаджень, що загинули внаслідок пошкодження стовбуровими шкідниками з групи короїдів, нами фіксувалося, що найбільше пошкоджувалися високобонітетні монокультурні соснові ценози віком 60–80 років, що зростали на добре освітлених підвищеннях, частково сухих.

Обстеження соснових насаджень території дослідження показали, що найбільше пошкодження дерев (750 особин) зафіксовано в 2018 р., менші показники спостерігалися у 2020–2021 рр. (75; 83 особини). У зв'язку з війною в Україні, зокрема з активними бойовими діями на території м. Чернігова в 2022 р., коли була заборона на відвідування природних територій, моніторингові дослідження не проводилися. Кількісні показники 2019–2023 рр. менші в порівнянні з 2018 р. Але в 2023 р. нами зафіксовано нові пошкодження соснових насаджень на території парку.

Для проведення моніторингу (контролю за популяціями шкідливих і корисних комах, станом насаджень, поширенням осередків) за станом голонасінних насаджень на території парку закладено три постійні моніторингові ділянки (згідно вимог, поряд з осередками стовбурових шкідників або у міжосередковому просторі), які мають площу 0,25 га, 0,15 га, 0,15 га відповідно до їх порядкових номерів.

Моніторинговий майданчик 1 (площа 0,25 га): визначено, що склад насадження – 10 Сзв (*Pinus sylvestris*), вік 80 років, повнота 0,60, бонітет – I, середня висота – 22 м, середній діаметр – 20 см. При проведенні обстеження нами виявлено відмирання та всихання дерев у наслідок ураження *Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*, ступінь ураження слабкий, характер розповсюдження куртинний.

Нами визначено, що висока щільність поселення й енергія розмноження короїдів (верхівкового та стенографа), вказує на стадію нарощування чисельності популяції. Також відзначено, що ураженню стовбуровими шкідниками сприяє ослаблення внаслідок розвитку інфекційних захворювань (соснова губка), облямований трутовик та їх характерні ознаки діяльності, яких визначені при обстеженні плодкових тіл. На розповсюдження інфекційних захворювань, стовбурових шкідників у соснових насадженнях мають вплив зміни клімату, посухи, високі температури, сніголами та ряд інших.

Згідно розрахунків кількісних показників популяцій визначено, що висока щільність поселення *Ips sexdentatus* у товстій корі (моніторингова ділянка № 1 (далі № 1, 2, 3): 22,55 шт./дм²; № 3 – 20,60 шт./дм²; № 2 – 14,85 шт./дм²); у тонкій корі *Ips acuminatus* (№ 3 – 7,05 шт./дм²; № 2 – 6,45 шт./дм²; № 1 – 5,05 шт./дм²).

Енергія розмноження короїдів *Ips sexdentatus* в товстій корі дерева моніторингова ділянка №1 – 3,51 шт.; №3 – 3,24 шт.; №2 – 2,31 шт. та *Ips acuminatus* в тонкій корі дерев моніторингової ділянки №2 – 1,84 шт.; №1 – 1,47 шт.; №3 – 1,36 шт., що вказує на стадію нарощування чисельності популяції.

Заселення шкідниками *Ips sexdentatus* зафіксовано нами в товстій корі (моніторингова ділянка №1 – 451 шт.; №2 – 297 шт.; №3 – 412 шт.) найбільше на ділянці №1, 3. У тонкій корі нами визначено заселення *Ips acuminatus* (№1 – 101 шт.; №2 – 129 шт.; №3 – 141 шт.) найбільші показники на ділянці №3.

Короїдний приріст *Ips sexdentatus* в товстій корі: моніторингова ділянка №1 – 1583 шт.; №2 – 686 шт.; №3 – 1335 шт.; та *Ips acuminatus* у тонкій корі: моніторингова ділянка №1 – 148 шт.; №2 – 237 шт.; №3 – 192 шт.

Показники продукції *Ips sexdentatus* у товстій корі дерев *Pinus sylvestris* на ділянці

№1 – 79,15 шт./дм²; №3 – 66,75 шт./дм²; №2 – 34,30 шт./дм², а *Ips acuminatus* у тонкій корі на ділянці №2 – 11,85 шт./дм²; №3 – 9,60 шт./дм²; №1 – 7,40 шт./дм². (Vysnovok..., 2018)

За фізіологічним станом дерева *Pinus sylvestris* віднесено до категорії II, III, IV, V, VI (рис. 1–3). Найбільше фіксувалося дерев *Pinus sylvestris*, які віднесено до III категорії за фізіологічним станом у трьох моніторингових ділянках.

Усі моніторингові ділянки було відмежовано в природі, на них відмічено всихання або ослаблення, внаслідок заселення стовбуровими шкідниками (присутні характерні ознаки на деревах). Серед основних ознак ураження соснових насаджень нами зафіксовано: хвоя стає блідою, потім жовтою й коричневою; з'являються невеликі круглі отвори в корі; наявність бурового борошна біля стовбурів та опалих гілок під деревом.

При проведенні обстеження на даній ділянці нами виявлено відмирання й всихання дерев сосни звичайної внаслідок ура-

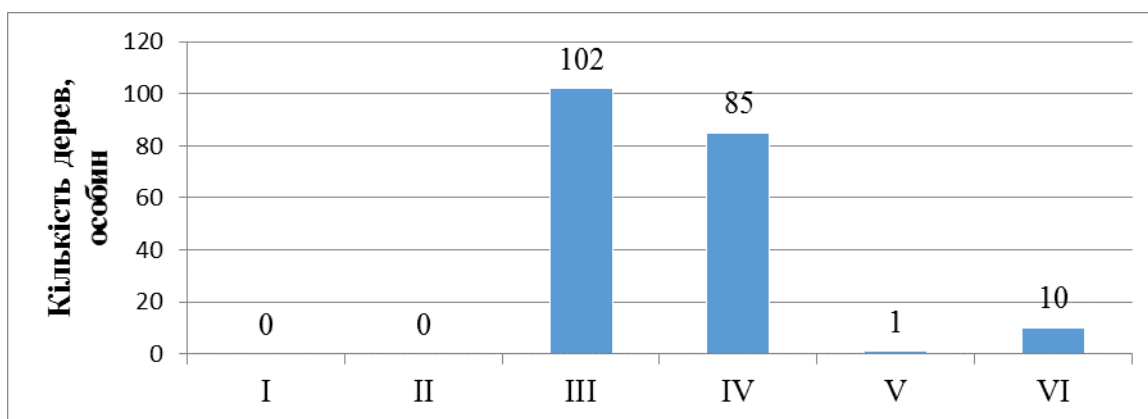


Рис. 1. Розподіл дерев сосни звичайної за категоріями фізіологічного стану на моніторинговому майданчику 1

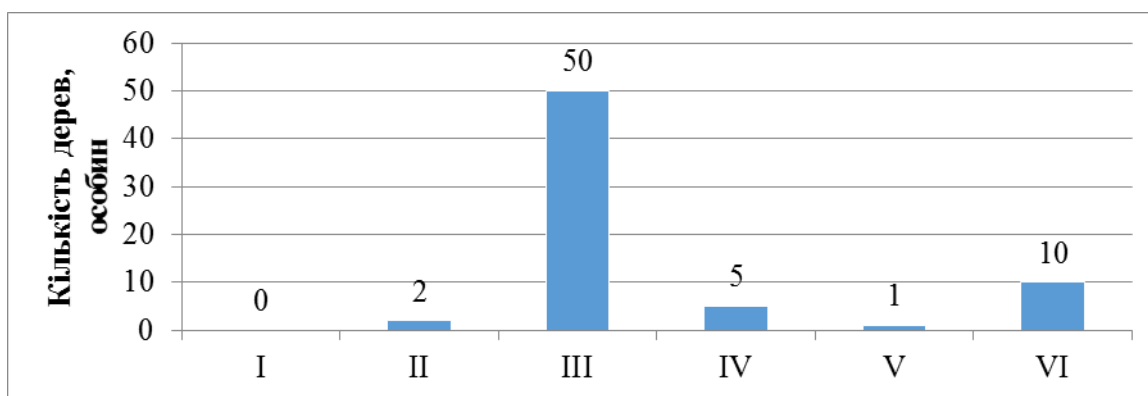


Рис. 2. Розподіл дерев сосни звичайної за категоріями фізіологічного стану на постійному моніторинговому майданчику 2

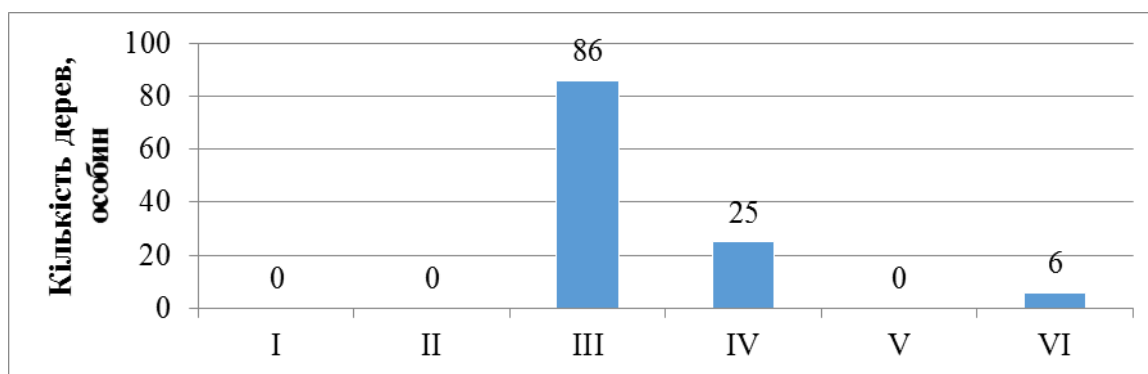


Рис. 3. Розподіл дерев сосни звичайної за категоріями фізіологічного стану на постійному моніторинговому майданчику 3

ження *Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*: ступінь ураження слабкий, характер розповсюдження куртинний.

Моніторинговий майданчик 2 (площа 0,15 га): визначено, що склад насадження – 10Сзв, вік 90 років, повнота 0,50, бонітет – I, середня висота – 26 м, середній діаметр – 40 см.

На ділянці ураженню стовбуровими шкідниками сприяє ослаблення в наслідок розвитку інфекційних захворювань (соснова губка та облямований трутовик), характерні ознаки діяльності яких вивчено при обстеженні плодкових тіл. На поширення інфекційних захворювань та стовбурових шкідників впливають посухи, високі температури, сніголами та зміни клімату.

Моніторинговий майданчик 3 (площа 0,15 га): визначено, що склад насадження – 10 Сзв, вік 60 років, повнота 0,80, бонітет – I, середня висота – 20 м, середній діаметр – 24 см. При проведенні дослідження нами виявлено відмирання, всихання дерев внаслідок ураження *Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*, ступінь ураження слабкий, характер розповсюдження куртинний (Vorodavka et al., 2016). Згідно розрахунків кількісних показників популяцій, можна зробити висновки, що висока щільність поселення та енергія розмноження короїдів (верхівкового й стенографа), вказує на стадію нарощування чисельності популяції. На поширення інфекційних захворювань та стовбурових шкідників на території дослідження мають вплив зміни клімату, посухи, високі температури, сніголами та ін. Слід відмітити, що ураженню стовбуровими шкідниками сприяє ослаблення дерев унаслідок розвитку інфекційних захворювань (коренева та соснова губка) харак-

терні ознаки діяльності яких відмічено при обстеженні (плодові тіла, вивалені з коренем дерева).

Отже, у переважній більшості випадків всихання має поширення від епіцентру в північному й західному напрямках та на периферії. Молоде покоління першої генерації досить здорове й сильне, що дозволяє йому поширюватись на далеку відстань (від 1 до 3 км у діаметрі). Молоде покоління другої генерації дещо слабше та зазвичай заселяє суміжні насадження. Встановлено, що в більшості випадків поширення осередку збігається із західними та північними напрямками (до 30–40 м від вже існуючого осередку), у східних і південних напрямках рідше й менш інтенсивне (до 5–10 м). Зона активного поширення осередку характеризується переважанням дерев III–IV категорій стану, крона яких знаходиться на початковому етапі всихання й характеризується зміною забарвлення хвої (освітлення інтенсивності забарвлення, пожовтіння), наявністю опалих під кронами дерев гілок та «стрижених пагонів», бурового борошна на стовбурах свіжо заселених дерев як результат життєдіяльності короїду верхівкового.

Феромонний моніторинг за останнє десятиліття став основним і найбільш рентабельним способом вчасного виявлення, контролю розповсюдження і оцінки динаміки чисельності шкідників та зменшення їх популяції порівняно з існуючими методами. Це підтверджують результати аналізу моніторингу соснових насаджень та визначення кількісних та якісних показників стану популяції стовбурових шкідників за ентомологічними пробами, серед яких окремо від короїдів фіксувалися лубоїди та інші ентомошкідники (Zavada, 2010).

Одним із основних критеріїв оцінки якісного стану популяції стовбурових шкідників є енергія розмноження, яка дає змогу охарактеризувати динаміку розвитку та розповсюдження осередків стовбурових шкідників. За результатами аналізу вмісту феромонних пасток кількісний склад короїдів має певні ознаки до зменшення активності. За кількісними показниками найбільше було зафіксовано за 2019 р. – 42208 особин (квітень та I половина червня), менші показники за період з червня по вересень.

На території парку найбільшого ураження верхівковим короїдом зазнали чисті сосняки, що пояснюється їх зростанням на відкритих ділянках із значним антропогенним навантаженням (значне ущільнення ґрунту, майже відсутність трав'яного покриву, залишки вогнищ, місця рекреаційного відпочинку), поблизу автомобільних доріг; невеликі куртини або поодинокі уражені дерева *Pinus sylvestris* фіксуються також і у мішаних насадженнях.

Нами на території парку не було зафіксовано ураження верхівковим короїдом дерев виду *Pinus nigra* J.F. Arnold., який є варіантом інтродукції у 60-і роки ХХ ст., та налічує 200 особин, що утворюють формат чорно-соснового лісу злакового.

На природних територіях, де соснові насадження вже втратили свою біологічну стійкість та не виконують свої функції (всохлі в наслідок ураження стовбуровими комахами або інфекційними захворюваннями), пропонуємо заходи: поліпшення санітарного стану насаджень (видалення сухих, аварійних дерев); відтворення культур із урахуванням типологічних і кліматичних особливостей території; створення насаджень різновидового складу; привабливання корисних для захисту лісових насаджень безхребетних і хребетних тварин;

упровадження до схем змішування лісових екосистем деревних порід (Pernek, 2020).

Висновки

У рослинному покриві регіонального ландшафтного парку «Ялівщина» значне місце належить різновіковим сосновим насадженням, які набувають натуралізованого вигляду та мають вплив короїдів (*Ips acuminatus*, *I. sexdentatus*), який значно посилюється у період 2018–2023 рр., насамперед найбільше пошкоджені дерева *Pinus sylvestris* зафіксовано в 2018 р. – 750 особин на території дослідження. Пошкоджені соснові насадження характеризуються рядом ознак, зокрема: хвоя стає блідою, потім жовтою й коричневою; з'являються невеликі круглі отвори в корі; наявність бурового борошна біля стовбурів та опалих гілок під деревом.

За кількісними показниками популяцій короїдів на трьох моніторингових майданчиках території дослідження фіксувалися: висока щільність поселення, енергія розмноження короїдів *Ips sexdentatus* у товстій корі та у тонкій корі *Ips acuminatus* дерев всіх ділянок. У переважній більшості випадків нові осередки поширення шкідників збігаються із західними та північними напрямками (до 30–40 м від вже існуючого осередку), у східних і південних напрямках – рідше й менш інтенсивніше (до 5–10 м).

Для збереження дерев сосни звичайної та їх стійкості в умовах міського середовища, рекомендуємо ряд профілактичних заходів і методів боротьби з стовбуровими шкідниками, які полягають у поліпшенні санітарного стану насаджень, відтворенні культур із урахуванням типологічних і кліматичних особливостей території; створенні насаджень мішаного складу та привабливанні корисних для захисту соснових насаджень ентомофагів і птахів.

Список використаної літератури

Андрєєва О. Ствобури шкідники в осередках всихання соснових насаджень ДП «Житомирське ЛГ» Житомирської обл. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2016. № 1-2. С. 7–12.

Висновок за результатами лісопатологічного обстеження насаджень. Харків, 2018. 10 с. [Електронний ресурс]. URL: https://apk.cg.gov.ua/web_docs/2141/2018/07/docs/Обстеження_ВК_РЛП_Ялівщина_м._Чернігів_12-14_06_2018.pdf (дата звернення: 14.10.2023).

Грезе В. Про вплив первинних шкідників на ріст дерев. *Охорона лісу*. Київ, Полтава, 1936. Т. 14. С. 35–52.

Дядечко М. Основи біологічного методу захисту рослин. Київ : Урожай, 1990. 272 с.

Жежкун А., Порохняч І. Особливості всихання соснових деревостанів Чернігівської області. *Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення* : Матеріали міжнар. науково-практ. конф., м. Київ. 2019. С. 115–117.

Завада М., Гузій А., Білокінь М. Лісова ентомологія : навч. посіб. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. 404 с.

Карпенко Ю., Свердлов В., Потоцька С. Флористико-ценотичні особливості території регіонального ландшафтного парку «Ялівщина». *Сучасні фітосозологічні дослідження в Україні* : зб. наук. пр. 6-те вид. Київ, 2022. С. 38–44.

Мороз В., Никитюк Ю. Зниження вуглецепоглинальної здатності деревостанів Житомирського Полісся через загибель соснових насаджень. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Меліорація і водне господарство»*, 2020. № 1. С. 112–121. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-216>.

Патологічні процеси у висихаючих соснових насадженнях Волинського Полісся / В. Бородавка та ін. *Наук. вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2016. № 238. С. 102–118.

Порохняч І. Особливості поширення верхівкового короїда в соснових деревостанах Східного Полісся. *Forestry and Forest Melioration*. 2018. № 133. С. 136–141. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.136>.

Про затвердження Санітарних правил в лісах України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (дата звернення: 18.10.2023).

Meshkova V., Borysenko O. Prediction for bark beetles caused desiccation of pine stands. *Forestry and Forest Melioration*. 2018. No. 132. P. 155–161. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.155>.

Pernek M., Kovač M., Lacković N. Testiranje biološke učinkovitosti feromona i klopki za ulov mediteranskog potkornjaka *Orthotomicus erosus* (Coleoptera, Curculionidae). *Šumarski list*. 2020. Vol. 144, no. 7-8. P. 350. <https://doi.org/10.31298/sl.144.7-8.1>.

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) mortality is explained by the climatic suitability of both host tree and bark beetle populations / L. Jaime et al. *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 448. P. 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.070>.

References (translated & transliterated)

Andryeyeva, O. (2016). Stovburovi shkidnyky v oseredkakh usykhannya sosnovykh nasadzen' DP «Zhytomyr's'ke LH» Zhytomyr's'koyi obl [Stem pests in the centers of drying out of pine plantations State Enterprise “Zhytomyr Forestry”, Zhytomyr region]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu [Bulletin of Kharkiv National Agrarian University]*, (1–2), 7–12 [in Ukrainian].

Vysnovok za rezul'tatamy lisopatolohichnoho obstezhennya nasadzen' (2018). [Conclusion on the results of forest pathological examination of plantations]. [Electronic resource] URL: https://apk.cg.gov.ua/web_docs/2141/2018/07/docs/Obstezhennya_VK_RLP_Yalivshchyna_m._Chernihiv_12-14_06_2018..pdf (access date 14.10.2023) [in Ukrainian].

Hreze, V. (1936). Pro vplyv pervynnykh shkidnykiv na pryrist dereva [The impact of primary pests on tree growth]. *Zakhyst lisu [Forest protection]*, (14), 35–52 [in Ukrainian].

Dyadachko, M. (Eds.). (1990). *Osnovy biolohichnoho metodu zakhystu Roslyn* [Basics of the biological method of plant protection]. Urozhay [in Ukrainian].

Zhezhkun, A.M., & Porohnyach, I.V. (2019). Osoblyvosti vsykhannya sosnovykh derevostaniv Chernihivs'koyi oblasti [Features of drying out in pine stands of Chernihiv region of Ukraine]. *Sosnovi lisy: suchasnyi stan, isnuuuchi problemy ta shliakhy yikh vyrishennia : Materialy mizhnar. nauково-prakt. konf [In Pine forests: current status, existing challenges and ways forward]*, 115–117. Kyiv, Ukraine: Planeta-print [in Ukrainian].

Zavada, M., Huziy, A., & Bilokin', M. (2010). *Lisova entomolohiya [Forest entomology]*. Ahrar Media Hrup [in Ukrainian].

Karpenko, Yu., Sverdlov, V., & Potots'ka S. (2022). Florystyko-tsenotychni osoblyvosti terytoriyi rehional'noho landshaftnoho parku «Yalivshchyna» [Floristic and coenotic features of the territory of the regional landscape park «Yalivshchyna»]. *Suchasni fitosozolohichni doslidzhennya v Ukrayini [Modern phytosozological research in Ukraine]*, 6, 38–44 [in Ukrainian].

Moroz, V.V., & Nykytiuk, Y.A. (2020). Znyzhennya vuhletsepozhlynal'noyi zdatnosti derevostaniv Zhytomyr's'koho Polissya cherez zahybel' sosnovykh nasadzen' [Reduction of carbon absorption capacity of forest stands in Zhytomyr Polissya due to the pine stands mortality]. *Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk «Melioratsiia i vodne hospodarstvo» [Interdepartmental thematic*

scientific collection «Reclamation and water management», 1, 112–121 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31073/mivg202001-216> [in Ukrainian].

Borodavka, V., Getmanchuk, A., Kychylyuk, O., & Voytyuk, V. (2016). Pathological processes of withering pine stands in Volyn Polissya [Patolohichni protsesy u vsykhaiuchykh sosnovykh nasadzhenniakh Volynskoho Polissia]. *Nauk. visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy: Lisivnytstvo ta dekoratyvne sadivnytstvo* [Scientific bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Forestry and decorative gardening], 238, 102–118 [in Ukrainian].

Porohnyach, I.V. (2018). Osoblyvosti poshyrennya verkhivkovoho koroyida v sosnovykh derevostanakh Skhidnoho Polissya [Features of spread *Ips acuminatus* Gyll. in Pine stands of Eastern Polissya]. *Forestry and Forest Melioration*, 133, 136–141. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.136> [in Ukrainian].

Pro zatverdzhennya Sanitarnykh pravyl v lisakh Ukrayiny [On approval of sanitary rules in the forests of Ukraine]. Ofitsiynyy vebportal parlamentu Ukrayiny [Official web portal of the Parliament of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-p> (access date 18.10.2023) [in Ukrainian].

Meshkova, V.L., & Borysenko, O.I. (2018). Prediction for bark beetles caused desiccation of pine stands. *Forestry and Forest Melioration*, 132, 155–161. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.155> [in English].

Pernek, M., Kovač, M., & Lacković, N. (2020). Testing of biological effectiveness of pheromones and traps for catch of mediterranean bark beetle *Orthotomicus erosus* (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of the Forestry Society of Croatia*, 7–8, 339–350. <https://doi.org/10.31298/sl.144.7-8.1> [in Croatian].

Jaime, L., Batllori, E., Margalef-Marrase, J., Pérez Navarro, M. Á., & Lloret, F. (2019). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) mortality is explained by the climatic suitability of both host tree and bark beetle populations. *Forest Ecology and Management*, 448, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.070> [in English].

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) mortality is explained by the climatic suitability of both host tree and bark beetle populations / L. Jaime et al. *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 448. P. 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.070> [in English].

Отримано: 13.11.2023
Прийнято: 28. 11.2023



УДК 504.4.054(622.323/.324+621.644.074)(477)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.16>

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІГРАЦІЇ НАФТИ ВНАСЛІДОК ЇЇ НЕПЕРЕРВНОГО НАДХОДЖЕННЯ У ГІРСЬКУ РІЧКУ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ СТРИЙ)

В. І. Шуригін¹, В. В. Карабин²

Річка Стрий, найбільша карпатська притока річки Дністер, через яку пролягає 5 нафтопроводів та 1 продуктопровід, піддається значущим антропогенним впливам. Це призводить до збільшення екологічного ризику та підвищення ймовірності аварій в разі викиду забруднюючих речовин, зокрема вуглеводневого складу. Основною метою дослідження є прогнозування параметрів міграції забруднювачів вуглеводневого складу, використовуючи як приклад нафту Карпатського нафтогазоносного регіону. Для досягнення мети використано теоретичні (аналіз, синтез, порівняння), польові (профільний та морфологічний) та експериментальні (спостереження, гравіметричний) методи дослідження. За допомогою математичної моделі, яка враховує вплив донних відкладів, проведено комплексне дослідження міграції нафти внаслідок її постійного викиду в гірську річку. Модель міграції включає два рівняння, що точно описують рух забруднюючих речовин у річковій системі, враховуючи такі фактори, як швидкість течії, дифузія, сорбція та десорбція річковими донними відкладами. За допомогою лабораторних експериментів визначено параметри розподілу, які визначають поведінку нафти в системі «вода – донні відклади». Використовуючи вдосконалене комп'ютерне моделювання, створено детальні просторово-часові профілі концентрації нафти як у воді, так і в донних відкладах. Встановлено послідовні закономірності в змінах концентрації вуглеводнів нафти, які тісно пов'язані зі специфічним складом донних відкладів річки. Зокрема, встановлено, що на 30 хвилин після початку неперервного надходження максимальний вміст вуглеводнів нафти становить 0,84 г/дм³. У районі гирла річки Стрий на 30 хвилин максимальний вміст вуглеводнів нафти становить 0,72 г/дм³. Окрім того, визначено, що швидкість поширення забруднюючих речовин вуглеводневого складу річковою системою менша від середньої швидкості течії, чим підтверджується вплив донних відкладів на параметри міграції цих забруднюючих речовин і важливість їх врахування при прогнозуванні в умовах надзвичайних ситуацій. Знайдені параметри міграції забруднюючих речовин вуглеводневого складу можна екстраполювати на різні інші річкові системи гірських регіонів.

Ключові слова: екологічна безпека, нафта, дифузія, міграція, математична модель.

¹ ад'юнкт кафедри екологічної безпеки
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів)
e-mail: v.shurygin@ldubgd.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0324-4433

² доктор технічних наук, професор,
професор кафедри цивільного захисту та протимінної діяльності
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів)
e-mail: v.karabyn@ldubgd.edu.ua
ORCID: 0000-0002-8337-5355

PREDICTION OF PARAMETERS OF OIL MIGRATION DUE TO ITS CONTINUOUS FLOW INTO A MOUNTAIN RIVER (ON THE EXAMPLE OF THE STRYI RIVER)

V. I. Shuryhin, V. V. Karabyn

The Stryi River, the largest Carpathian tributary of the Dniester River, through which 5 oil pipelines and 1 product pipeline run, is subject to significant anthropogenic impacts. This leads to an increase in environmental risk and an increase in the likelihood of accidents in the event of a release of pollutants, including hydrocarbons. The main objective of the study is to predict the migration parameters of hydrocarbon pollutants, using oil from the Carpathian oil and gas region as an example. To achieve this goal, we used theoretical (analysis, synthesis, comparison), field (profile and morphological) and experimental (observation, gravimetric) research methods. Using a mathematical model that takes into account the influence of bottom sediments, a comprehensive study of oil migration due to its constant release into a mountain river was conducted. The migration model includes two equations that accurately describe the movement of pollutants in the river system, taking into account factors such as flow velocity, diffusion, sorption, and desorption by river sediments. Using laboratory experiments, the distribution parameters that determine the behavior of oil in the water-sediment system were determined. Using advanced computer modeling, detailed spatial and temporal profiles of oil concentration in both water and sediments were created. Consistent patterns in changes in the concentration of oil hydrocarbons were established, which are closely related to the specific composition of the river bottom sediments. In particular, it was found that at 30 minutes after the start of continuous inflow, the maximum content of oil hydrocarbons is 0.84 g/dm³. At the mouth of the Stryi River, the maximum oil hydrocarbon content at 30 minutes is 0.72 g/dm³. In addition, it was determined that the rate of spreading of hydrocarbon pollutants through the river system is less than the average flow rate, which confirms the influence of bottom sediments on the migration parameters of these pollutants and the importance of taking them into account when predicting in emergency situations. The found parameters of migration of hydrocarbon pollutants can be extrapolated to various other river systems in mountainous regions.

Key words: environmental safety, oil, diffusion, migration, mathematical model.

Вступ

Річкові екосистем є важливим елементом як місцевих екосистем так і глобальної екосистеми. Екологічна безпека річки, на яку впливають локальні та регіональні природні і техногенні процеси, є критичною для здоров'я населення річкового басейну (Карабин В. та ін., 2015; Posthuma et al., 2020; Bhattacharjee et al., 2022; Шуригін В. та ін., 2023). Екологічна безпека річкових екосистем істотно залежить від наявності органічних забруднювачів вуглеводневого складу. Катастрофічні розливи нафти та нафтопродуктів мають значні наслідки для річкових екосистем (Adams et al., 2020; Шевченко та ін., 2021; Лобойченко та ін., 2021a). Джерела та інтенсивність забруднення поверхневих вод вуглеводнями зростають з розвитком нових технологій, наприклад технологій видобутку сланцевої нафти та сланцевого газу (Лазарук та ін., 2020) та з катастрофічними повеннями і паводками, внаслідок яких відносно локалізовані джерела забруднення вуглеводнів потрапляють у водний потік (Стародуб та ін., 2018). Особливо ризиковані витіки хімічних речовин, що містять вуглеводні, спостерігаються у річках, які знаходяться близько водозаборів для питної води.

Тоді без питного водопостачання можуть бути позбавлені одночасно кілька населених пунктів. Тому постійний моніторинг якості води річкових систем є необхідною умовою їх екологічної безпеки (Chowdury et al., 2019; Одноріг та ін., 2020; Park et al., 2020; Лобойченко та ін., 2021b).

Окрім цього, у випадках катастрофічного надходження вуглеводнів у річкові системи існують небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій пов'язаних із руйнуванням системи питного водопостачання населених пунктів (Dodman et al., 2022).

Однією з важливих водних потоків у західному регіоні України є річка Стрий. Вода з водозаборів цієї річки надходить до міст Львів, Трускавець, Дрогобич.

Басейн річки Стрий знаходиться на неоднорідній і складній геологічній основі карпатського флішу. Для річок в басейні Стрия характерним є значна кількість паводків протягом року за рахунок випадання короткочасних та інтенсивних опадів у теплий період року, короткочасного танення снігу в горах під час зимових відлиг та загального танення снігового покриву у весняний період. Коливання річкового стоку носять як сезонний, так і багаторічний характер.

Урахування тривалих циклічних змін у рівні стоку та їх просторово-часових змін є важливим і практичним аспектом у гідрологічних та водогосподарських розрахунках. Це має значення для забезпечення водопостачання різних галузей економіки, встановлення норми стоку для річок з недостатнім набором спостережень та можливості прогнозування небезпечних гідрометеорологічних явищ (Почаєвець та ін., 2014).

Відомо, що на річках Прикарпатського регіону за рік проходить від 3 до 8 паводків різної інтенсивності (Сусідко та ін., 1998; Ромащенко та ін., 2002).

Проаналізувавши виділений повний цикл водності, що включає фазу високої та низької водності і триває 29 років, можна помітити, що за цей період пройшло в середньому по басейну 6 руслоруйнуючих паводків з катастрофічними наслідками, 14 руслоруйнуючих, 77 руслоформууючих, 98 руслоконтролюючих та 32 руслозберігаючих паводки, тобто близько 100 активних паводків та близько 120 пасивних (Почаєвець та ін., 2014).

Очевидно, за таких паводків вода виходила з заплави на тераси і забруднювачі, локалізовані на терасах ріки, потрапляли у водний потік. Щоб прогнозувати параметри міграції вуглеводнів у водний потік ріки необхідна адекватна математична модель, яка б включала найвагоміші параметри міграції забруднювачів у водному потоці ріки та водночас була нескладною для користування в умовах надзвичайних ситуацій.

Як забруднювач обрано нафту Карпатського нафтогазоносного регіону, яка характеризується присутністю значної кількості ароматичних вуглеводнів (Сіренко та ін., 2017) та високою стійкістю до біодеградації (Русин та ін., 2003).

Матеріал і методи

Для досягнення поставленої мети дослідження використано різноманітні методи. Серед них теоретичні методи, такі як аналіз, синтез та порівняння, які допомогли узагальнити та систематизувати отриману інформацію. Польові методи, зокрема профільний та морфологічний аналіз, котрі дозволили дослідити фізичні характеристики об'єктів на місцевості. Експериментальні методи, включаючи спостереження та гравіметричний метод, допомогли зібрати нові дані та провести виміри. При їх взаємодії отримано комплексне розуміння предмета дослідження.

На досліджуваній ділянці (рис. 1) русло річки Стрий має звивисту форму та часткове розгалуження. Глибина русла коливається від 0,5 до 2,9 м, а швидкість течії становить від 1,4 до 4,6 м/с. Дно русла характеризується неоднорідністю і складається з каміння діаметром від 15 до 25 см, що призводить до накопичення великої кількості галькових наносів. Ширина русла варіюється від 15 до 60 м, а річкова долина простягається на відстань 650 м. Береги річки є обривистими, знаходячись на висоті 1,5–2 м над рівнем води. На досліджуваній ділянці річка Стрий має пологий нахил. В цьому регіоні спостерігається значна бокова ерозія. Геологічна будова досліджуваної ділянки включає техногенні, алювіальні та нижньокрейдові відклади. Для оцінки процесів перенесення та накопичення гравійно-галькових відкладів у руслі та долині річки можна використовувати дані моніторингових спостережень і замірів. Важливою особливістю рівневого режиму річки є її схильність до повеней, які можуть відбуватися у будь-яку пору року (Волосецький та ін., 2013).

У польових умовах здійснено опис відслонення алювіальних відкладів. Для виділення горизонтів використано профільний і морфологічний методи дослідження. Основними критеріями діагностування генетичних горизонтів були зміни кольору, зміни гранулометричного складу, щільності шарів, структури порід. У природних відслоненнях, де ми частково провели розчистку, виділено генетичні горизонти надзаплавної тераси вздовж річки Стрий. Довжина відрізка обстеження – 500 м. Ділянка досліджень розташована на лівому березі річки Стрий на віддалі 2000 м від місця впадання річки Опір у Стрий.

У лабораторних умовах встановлено гранулометричний склад відкладів ситовим методом та під час моделювання аварійного розливу визначено концентрацію нафти гравіметричним методом.

Визначили вміст нафти згідно із (МВВ № 081/12-0645-09) з деякими змінами, які ми внесли у нашій модифікації. Метод вимірювання масової концентрації нафтопродуктів, у нашому випадку – нафти Карпатського нафтогазоносного регіону, у поверхневих, підземних та зворотних водах ґрунтується на екстрагуванні із проби води, органічних речовин хлороформом, випарюванні хлороформу, розчиненні залишку в гексані, відділенні полярних сполук, рослинних і тваринних жирів, легких

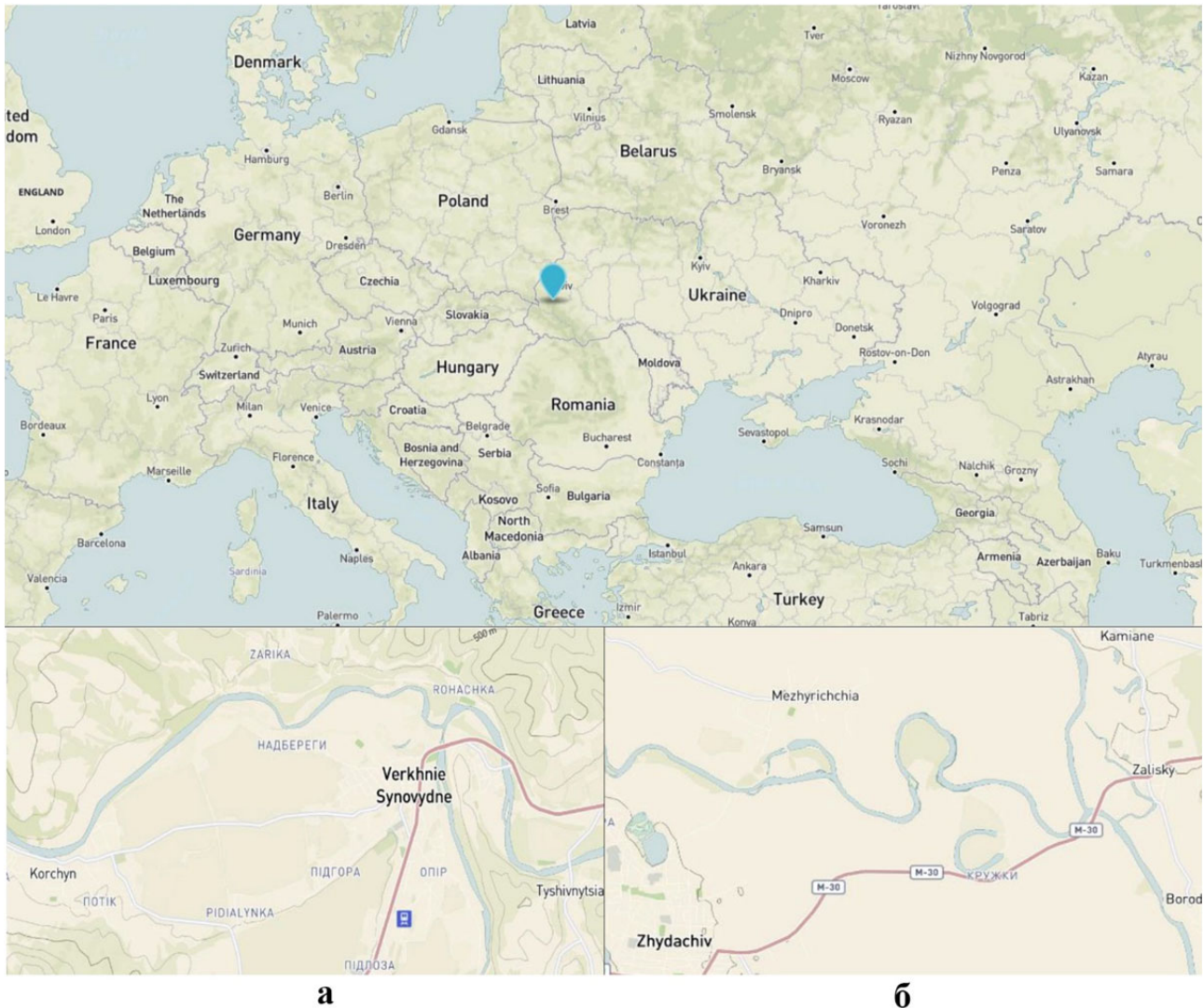


Рис. 1. Оглядова карта району досліджень: середня частина річки Стрий (а) та район гирла річки Стрий (б).

вуглеводнів на колонці з алюмінію оксидом, випарюванні гексану та гравіметричному вимірюванні маси залишку. Розрахунковим методом встановлюють масову концентрацію нафтопродуктів у вихідній пробі води. Перед вимірюванням масової концентрації нафти проводили попереднє змішування із зразками порід з першої надзапальної тераси у відношенні (за масою) 1:12, з подальшим перемішуванням. Наступним етапом було відстоювання для насичення породи нафтою та виділення рідкої фази. Похибка результатів вимірювань не перевищує 10% ($n = 3$).

Для визначення коефіцієнта дифузії нафти у воді та донних відкладах використовувалась експериментальна просторова гідродинамічна модель, у яку поміщено зразки донних відкладів з місця досліджень. Вода рухається в напрямку осі з сталою

швидкістю. Нафта подається неперервно. Проводиться вимірювання концентрацію нафти у воді та донних відкладах в різних точках системи в залежності від часу. Отримані дані використовуються для розрахунку градієнта концентрації нафти і визначення коефіцієнтів дифузії із застосуванням закону Фікка. Результати аналізуються та порівнюються з літературними значеннями.

Лабораторні дослідження проводили в науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (Свідоцтво № РА 091/21 від 30.11.2021).

Результати

Математичне моделювання є одним із ключових методів прогнозування поширення нафтопродуктів у річкових системах. Цей метод використовує математичні формули та алгоритми для визначення того,

як нафтопродукти поширюються в річкової системі та як вони впливають на окремі компоненти системи. Одним із найпоширеніших математичних моделей процесу поширення нафтопродуктів у річкових системах є системи диференціальних рівнянь. Такі рівняння описують, як нафтопродукти рухаються та розсіюються в річкової системі, і можуть включати використання таких параметрів, як швидкість і концентрація нафтопродуктів (Robson et al., 2004; Hu et al., 2006; Wang et al., 2023).

Більшість математичних моделей міграції забруднювачів у річковому потоці не враховують вплив донних відкладів на рух забруднюючих речовин у воді. Проте такий чинник є особливо значним у водах гірських річок, які характеризуються значними швидкостями, турбулентністю руху води та малими розмірами поперечного перерізу, а отже, більшим контактом річкової води з донними відкладами. Для прогнозування міграції забруднювачів вуглеводневого складу взято за основу математичну модель, розроблену авторами для одноразового скиду забруднювачів у водний потік (Кузик та ін., 2023), та адаптовано її до умов неперервного лінійного надходження забруднювачів.

Запропонована авторами математична модель (1) складається з двох диференціальних рівнянь в часткових похідних. Перше рівняння враховує швидкість течії річки та описує процеси дифузії забруднювачів у воді, а також їх сорбції та десорбції в системі «вода – донні відклади». Друге рівняння описує процеси дифузії забруднювачів у донних відкладах, а також їх сорбції та десорбції в системі «донні відклади – вода».

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} = D_w \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_w \frac{\partial C}{\partial x} - k_r C + k_w c \\ \frac{\partial c}{\partial t} = D_r \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + k_r C - k_w c \end{cases} \quad (1)$$

де:

$C = C(x, t)$ – концентрація забруднюючої речовини у річкової воді, мг/дм³;

$c = c(x, t)$ – концентрація забруднюючих речовин у донних відкладах річки, мг/дм³;

$x = 0$ – точка відліку в часі, 0 с;

$x(t)$ – відстань від початкової точки, м;

D_w – коефіцієнт дифузії забруднюючої речовини у воді, м²/с;

D_r – коефіцієнт дифузії забруднюючої речовини в донних відкладах, м²/с;

k_w – коефіцієнт розподілу забруднюючої речовини в системі «вода – донні відклади»;

k_r – коефіцієнт розподілу забруднюючої речовини в системі «донні відклади-вода»;

v_w – швидкість води в річці, м/с.

Початкові умови.

1. Для першого рівняння задамо початкову умову, яка вказує на відсутність забруднювача у воді:

$$C(x, 0) = 0 \quad (2)$$

2. Для другого рівняння початкова умова буде відображати той факт, що у донних відкладах у початковий момент часу забруднювач відсутній:

$$c(x, 0) = 0 \quad (3)$$

3. Швидкість руху води у річці приймемо сталою:

$$v_w = const \quad (4)$$

4. Приймемо сталими хімічний склад води у річці, літологічний та хімічний склад донних відкладів.

Граничні умови.

У початку відліку задамо граничну умову першого роду (5), яка описує постійне надходження забруднювача у воду в цій точці, а відсутність забруднювача у донних відкладах опишемо граничною умовою першого роду (6):

$$C(0, t) = C^* \left(2 \frac{0,5e^t}{1 + 0,5(e^t - 1)} - 1 \right) \quad (5)$$

де C^* – максимальна концентрація забруднюючої речовини у воді в результаті скиду, мг/дм³;

$$c(0, t) = 0 \quad (6)$$

Чисельне рішення математичної моделі.

За результатами математичного моделювання неперервного лінійного надходження нафти у р. Стрий отримано наступні результати (вибірково) (рис. 2, 3).

На 60 с після початку неперервного надходження нафти у річкову систему середньої її частини максимальний вміст нафти у воді становить 0, 24 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 116 м від джерела скиду. На 1800 с після початку неперервного надходження максимальний вміст нафти становить 0, 84 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 2700 м від джерела скиду (див. рис. 2).

На 60 с після початку неперервного надходження нафти у районі гирла річки Стрий максимальний її вміст у воді стано-

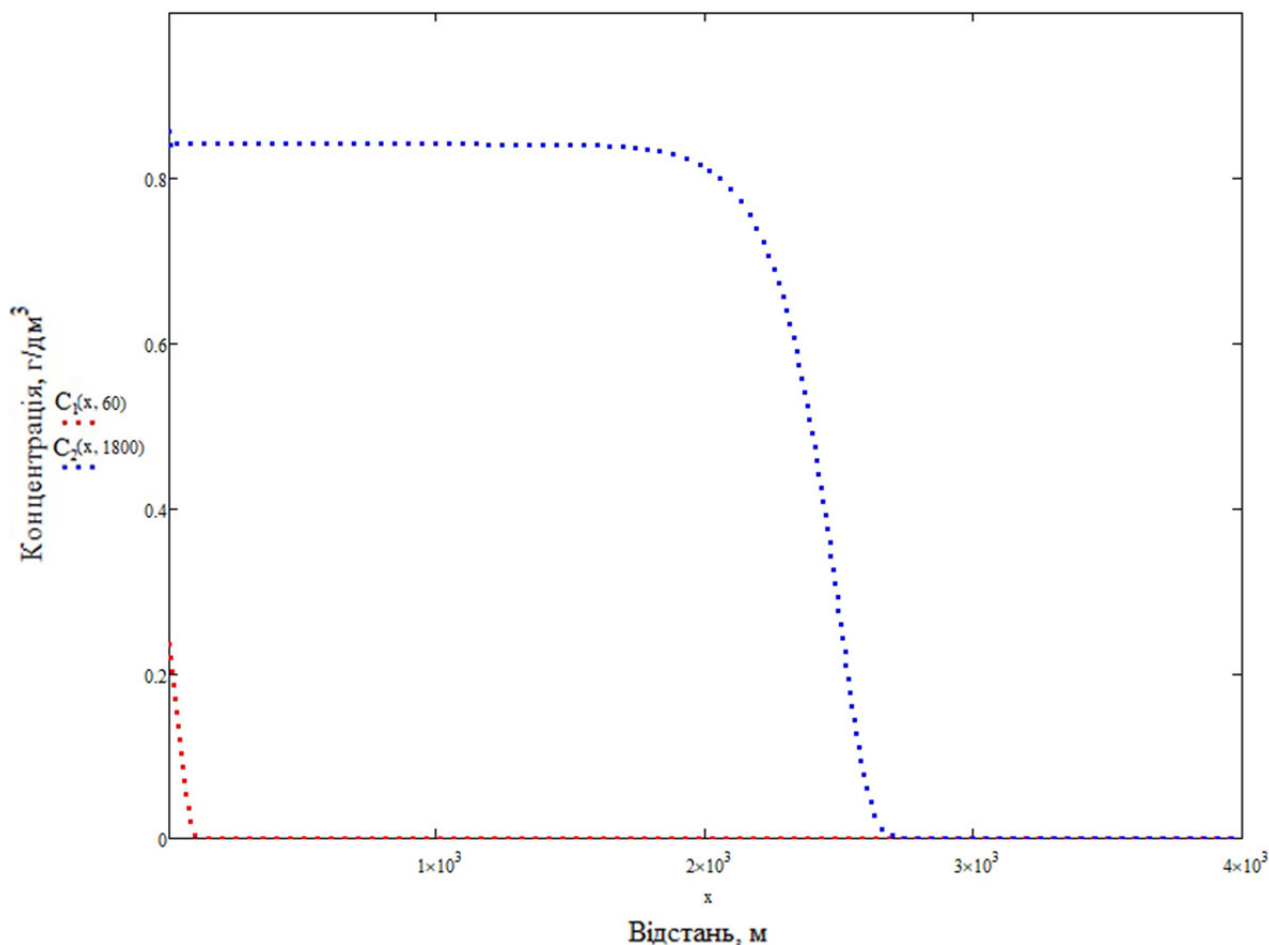


Рис. 2. Зміна концентрації нафти внаслідок неперервного надходження забруднювача на 60 (C_1) та 1800 (C_2) секундах у воді середньої частини річки Стрий

вить 0,2 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 96 м від джерела скиду. На 1800 с після початку неперервного надходження максимальний вміст нафти становить 0,72 г/дм³ та спадає до 0 г/дм³ на відстані 2100 м від джерела скиду (див. рис. 3).

Обговорення

Прогнозування міграції нафти у гірських річках Карпатського регіону є вкрай важливою прикладною проблемою для цілей екологічної безпеки та цивільного захисту. У статті здійснено спробу такого прогнозування на новій теоретичній основі, яка передбачає врахування впливу донних відкладів. Врахування таких впливів особливо важливо для умов мілководних рік, якими здебільшого є ріки Карпатського регіону. За результатами моделювання, які описані вище, можна розрахувати швидкість руху забруднювача. Відповідно до розробленої моделі швидкість руху забруднювачів вуглеводневого складу становить 1,5 м/с, що в 1,33 рази менше від швидкості течії. У пригірловій частині

ріки швидкість руху забруднювачів вуглеводневого складу становитиме 1,17 м/с, що у 1,71 рази менше швидкості течії. Ці дані підтверджують вплив донних відкладів на параметри міграції забруднюючих речовин вуглеводневого складу і важливість їх врахування при прогнозуванні в умовах надзвичайних ситуацій.

Висновки

1. Розроблено математичну модель для вивчення зміни концентрації забруднювача вуглеводневого складу у річці, викликану неперервним надходженням цього забруднювача у систему «вода – донні відклади». Модель описується двома диференціальними рівняннями. Перше рівняння враховує процеси дифузії забруднювача у воді, сорбції та десорбції у системі «вода – донні відклади», з урахуванням швидкості течії річки. Друге рівняння визначає процеси дифузії забруднювача у донних відкладах та сорбції-десорбції у системі «донні відклади – вода».

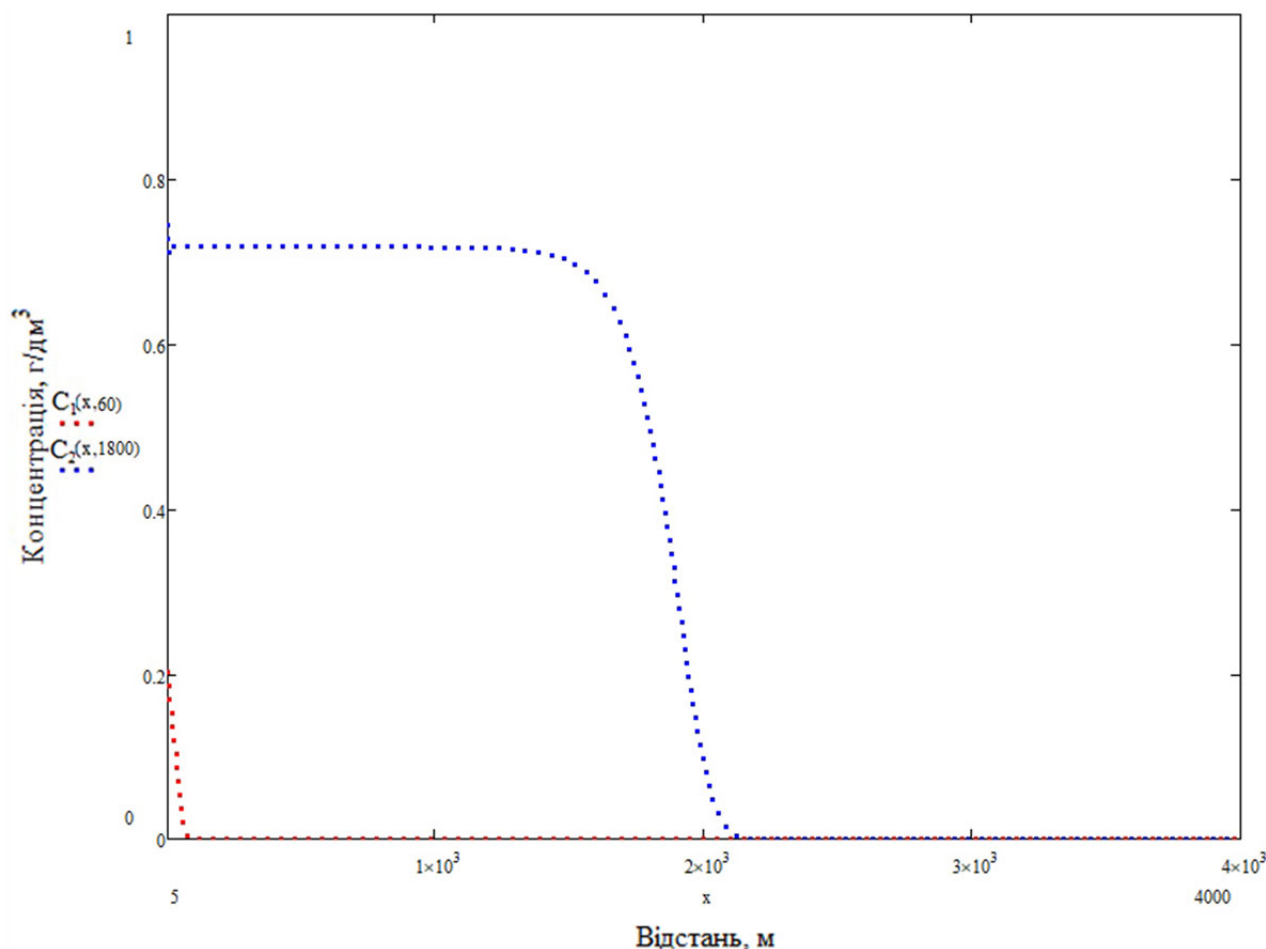


Рис. 3. Зміна концентрації нафти внаслідок неперервного надходження забруднювача на 60 (C_1) та 1800 (C_2) секундах у воді в районі гирла річки Стрий

2. Отримано чисельні розв'язки математичної моделі, які відображаються у вигляді графіків, що показують залежності концентрації нафти від відстані. Такі залежності були отримані для двох ділянок річки Стрий: середньої її частини та в районі гирла.

3. Вивчено закономірності зміни концентрації забруднювача в залежності

від складу донних відкладів річки та її течії.

4. Розроблена модель може застосовуватися для прогнозування стану забруднень річок у випадку надзвичайних ситуацій, пов'язаних із скидом нафти чи нафтопродуктів працівниками екологічних інспекцій, басейнових управлінь, підрозділів цивільного захисту.

Список використаної літератури

Волосецький Б.І., Шпирналь Т.Г. Дослідження перенесення гравійно-галькових мас у руслі р. Стрий за даними геодезичного моніторингу. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. Вип. 77. С. 115–121.

Карабин В.В. Закономірності зміни макрокомпонентного хімічного складу вод ріки Білого Черемошу. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2015. №1. С. 114–121.

МВВ № 081/12-0645-09 Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації нафтопродуктів гравіметричним методом. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=76578 (дата звернення 27.11.2023).

Почаєвець О.О., Розлач З.В. Паводки на річках басейну Стрия та їх вплив на морфологічні зміни русел. *Меліорація і водне господарство*. 2014. Вип. 101. С. 259–272.

Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання. *Аграрна наука*. 2002., Т. 304.

- Русин І.Б., Мороз О.М., Карабин В.В., Кулачковський О.Р., Гудзь С.П. Біодеградація вуглеводнів нафти дріжджами *Candida*. *Мікробіологічний журнал*. 2003. Т. 65. № 6. С. 36–42.
- Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Можливості оцінювання річкового стоку в Карпатах на найближчі роки з урахуванням його багаторічних коливань. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 1998. Вип. 246. С. 46–55.
- Фізико-хімія паливно-мастильних матеріалів: монографічний підручник (спеціальний курс лекцій). Г.О. Сіренко, В.І. Кириченко, І.В. Сулима. Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2017. 508 с.
- Adams R.H., Ojeda-Castillo V., Guzmán-Osorio F., Álvarez-Coronel G., Domínguez-Rodríguez V. Human health risks from fish consumption following a catastrophic gas oil spill in the Chiquito River, Veracruz, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020. Vol. 192. №12. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08742-z>.
- Bhattacharjee, S., Dutta, T. An overview of oil pollution and oil-spilling incidents. *Advances in Oil-Water Separation*. 2022. P. 3–15. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00014-8>.
- Chowdury M.S.U., Emran T.B., Ghosh S., Pathak A., Alam M.M., Absar N., Andersson K., Hossain M.S. IoT Based Real-time River Water Quality Monitoring System. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 155. P. 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.025>.
- Dodman D., Hayward B., Pelling M., et al. Cities, Settlements and Key Infrastructure. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. 2023. P. 907–1040. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.008>.
- Hu W., Jørgensen S.E., Zhang F. A vertical-compressed three-dimensional ecological model in Lake Taihu, China. *Ecological Modelling*. 2006. Vol. 190. № 3-4. P. 367–398. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.02.024>.
- Kuzyk A., Karabyn V., Shuryhin V., Sushko Y., Stepova K., Karabyn O. The River System Pollutant Migration in the Context of the Sudden One-Time Discharge with Consideration of the Bottom Sediments Influence (Case of Benzene Migration in the Stryi River, Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24. № 1. P. 46–54. <https://doi.org/10.12912/27197050/154909>.
- Lazaruk Y., Karabyn V. Shale gas in Western Ukraine: Perspectives, resources, environmental and technogenic risk of production. *Pet Coal*. 2020. Vol. 62. № 3 P. 836–844.
- Loboichenko V., Leonova N., Shevchenko R., Kapustnik A., Yeremenko S., Pruskyi A. Assessment of the impact of natural and anthropogenic factors on the state of water objects in urbanized and non-urbanized areas in Lozova District (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22 № 2. P. 59–66. <https://doi.org/10.12912/27197050/133333>.
- Loboichenko V., Leonova N., Shevchenko R. et al. Spatio-temporal study of the ecological state of water bodies located within the detached objects of the urbanized territory of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22. № 6. P. 36–44. <https://doi.org/10.12912/27197050/141610>.
- Odnorih Z., Manko R., Malovanyy M., Soloviy K. Results of surface water quality monitoring of the Western Bug river basin in Lviv Region. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21. №3. P. 18–26. <https://doi.org/10.12911/22998993/118303>.
- Park J., Kim K.T., Lee W.H. Recent Advances in Information and Communications Technology (ICT) and Sensor Technology for Monitoring Water Quality. *Water*. 2020. Vol. 12. №. 2. P. 510. <https://doi.org/10.3390/w12020510>.
- Posthuma L., Zijp M.C., De Zwart D., Van de Meent D., Globevnik L., Koprivsek M., Focks A., Van Gils J., Birk S. Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. №. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2>.
- Robson B., Hamilton D. Three-dimensional modelling of a Microcystis bloom event in the Swan River estuary, Western Australia. *Ecological Modelling*. 2004. Vol. 174. № 1-2. P. 203–222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.006>.
- Shevchenko R. I. et al. Review of up-to-date approaches for extinguishing oil and petroleum products. *SOCAR Proceeding*. 2021. SI 1. P. 169–174. <https://doi.org/10.5510/OGP2021SI100519>.
- Shuryhin V., Karabyn V., Kuzyk A. Prediction of Benzene Migration Parameters Resulting from Continuous Flow in a Mountain River. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24. № 8. P. 73–81. <https://doi.org/10.12912/27197050/171529>.
- Starodub Y., Karabyn V., Havrys A., Shainoga I., Samberg A. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX. SPIE*. Berlin, Germany, 2018. P. 10783. <https://doi.org/10.1117/12.2501928>.

Wang X., Wang Y., Guo F., Wang D., Bai Y. Physicochemical characteristics of particulate matter emitted by diesel blending with various aromatics. *Fuel*. 2020. Vol. 275. P. 117928. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117928>.

References (translated & transliterated)

Volosetskyi, B.I., & Shpyrnal, T.H. (2013). Doslidzhennia perenesennia hraviino-halkovykh mas u rusli r. Stryi za danymy heodezychnoho monitorynhu [Study of gravel and pebble masses transfer in the Stryi River channel based on geodetic monitoring data]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia [Geodesy, cartography and aerial photography]*, 77, 115–121 [in Ukrainian].

Karabyn, V.V. (2015). Zakonomirnosti zminy makrokomponentnoho khimichnoho skladu vod riky Biloho Cheremoshu [Patterns of changes in macrocomponent chemical composition of the waters of the White Cheremosh River]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDGRI [Collection of scientific works of UkrSGRI]*, 1, 114–121 [in Ukrainian].

MVV № 081/12-0645-09 Vody zvorotni, poverkhnevi, pidzemni. Metodyka vykonannia vymiriuvan masovoi kontsentratsii naftoproduktiv hravimetrychnym metodom [Return water, surface water, groundwater. Methodology for measuring the mass concentration of oil products by the gravimetric method]. [Electronic resource] URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=76578. (access date 27.11.2023) [in Ukrainian].

Pochaievets, O.O., & Rozlach, Z.V. (2014). Pavodky na richkakh baseinu Stryia ta yikh vplyv na morfolohichni zminy rusel [Floods on the rivers of the Stryi basin and their impact on morphological changes of riverbeds]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo [Melioration and Water Management]*, 101, 259–272 [in Ukrainian].

Romashchenko, M.I., & Savchuk, D.P. (2002). Vodni stykhii. Karpatski poveni. Statystyka, prychny, rehuliuвання [Water elements. Carpathian floods. Statistics, causes, regulation]. *Ahrarna nauka [Agrarian Science]*, 304 [in Ukrainian].

Rusyn, I.B., Moroz, O.M., Karabyn, V.V., Kulachkovskyi, O.R., & Hudz, S.P. (2003). Biodehradatsiia vuhlevodniv nafty drizhdzhamy Candida [Biodegradation of petroleum hydrocarbons by Candida yeast]. *Mikrobiolohichni zhurnal [Microbiological Journal]*, 65 (6), 36–42 [in Ukrainian].

Susidko, M.M., & Lukianets, O.I. (1998). Mozhlyvosti otsiniuvannia richkovoho stoku v Karpatakh na naiblyzhchi roky z urakhuvanniam yoho bahatorichnykh kolyvan [Possibilities of estimation of river runoff in the Carpathians for the nearest years taking into account its long-term fluctuations]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Scientific works of UkrRHMI]*, 246, 46–55 [in Ukrainian].

Sirenko, H.O., Kyrychenko, V.I., & Sulyma, I.V. (2017). Fyzyko-khimiia palyvno-mastylnykh materialiv: monohrafichni pidruchnyk (spetsialnyi kurs lektsii) [Physicochemistry of fuels and lubricants: a monographic textbook (special course of lectures)]. Ivano-Frankivsk : Suprun V. P. [in Ukrainian].

Adams, R.H., Ojeda-Castillo, V., Guzmán-Osorio, F., Álvarez-Coronel, G., & Domínguez-Rodríguez, V. (2020). Human health risks from fish consumption following a catastrophic gas oil spill in the Chiquito River, Veracruz, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (12). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08742-z> [in English].

Bhattacharjee, S., & Dutta, T. (2022). An overview of oil pollution and oil-spilling incidents. *Advances in Oil-Water Separation*, 3–15. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89978-9.00014-8> [in English].

Chowdury, M.S.U., Emran, T.B., Ghosh, S., Pathak, A., Alam, M.M., Absar, N., Andersson, K., & Hossain, M.S. (2019). IoT Based Real-time River Water Quality Monitoring System. *Procedia Computer Science*, 155, 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.025> [in English].

Dodman, D., Hayward, B., & Pelling, M. et al. (2023). Cities, Settlements and Key Infrastructure. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, 907–1040. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.008> [in English].

Hu, W., Jørgensen S.E., & Zhang, F. (2006). A vertical-compressed three-dimensional ecological model in Lake Taihu, China. *Ecological Modelling*, 190 (3-4), 367–398. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.02.024> [in English].

Kuzyk, A., Karabyn, V., Shuryhin, V., Sushko, Y., Stepova, K., & Karabyn, O. (2023). The River System Pollutant Migration in the Context of the Sudden One-Time Discharge with Consideration of the Bottom Sediments Influence (Case of Benzene Migration in the Stryi River, Ukraine). *Ecological*

Engineering & Environmental Technology, 24(1), 46–54. <https://doi.org/10.12912/27197050/154909> [in English].

Lazaruk, Y., & Karabyn, V. (2020). Shale gas in Western Ukraine: Perspectives, resources, environmental and technogenic risk of production. *Pet Coal*, 62. (3), 836–844 [in English].

Loboichenko^a, V., Leonova, N., Shevchenko, R., Kapustnik, A., Yeremenko, S., & Pruskyi, A. (2021). Assessment of the impact of natural and anthropogenic factors on the state of water objects in urbanized and non-urbanized areas in Lozova District (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22 (2), 59–66. <https://doi.org/10.12912/27197050/133333> [in English].

Loboichenko^b, V., Leonova, N., & Shevchenko, R. et al. (2021). Spatio-temporal study of the ecological state of water bodies located within the detached objects of the urbanized territory of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22 (6), 36–44. <https://doi.org/10.12912/27197050/141610> [in English].

Odnorih, Z., Manko, R., Malovanyy, M., & Soloviy, K. (2020). Results of surface water quality monitoring of the Western Bug river basin in Lviv Region. *Journal of Ecological Engineering*, 21 (3), 18–26. <https://doi.org/10.12911/22998993/118303> [in English].

Park, J., Kim, K.T., & Lee, W.H. (2020). Recent Advances in Information and Communications Technology (ICT) and Sensor Technology for Monitoring Water Quality. *Water*, 12. (2), 510. <https://doi.org/10.3390/w12020510> [in English].

Posthuma, L., Zijp, M.C., De Zwart, D., Van de Meent, D., Globevnik, L., Koprivsek, M., Focks, A., Van Gils, J., & Birk, S. (2020). Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters, *Scientific Reports*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2> [in English].

Robson, B., & Hamilton, D. (2004). Three-dimensional modelling of a Microcystis bloom event in the Swan River estuary, Western Australia. *Ecological Modelling*, 174 (1-2), 203–222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.006> [in English].

Shevchenko, R.I. et al. (2021). Review of up-to-date approaches for extinguishing oil and petroleum products. *SOCAR Proceeding*, 1, 169–174. <https://doi.org/10.5510/OGP2021SI100519> [in English].

Shuryhin, V., Karabyn, V., & Kuzyk, A. (2023). Prediction of Benzene Migration Parameters Resulting from Continuous Flow in a Mountain River. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24 (8), 73–81. <https://doi.org/10.12912/27197050/171529> [in English].

Starodub, Y., Karabyn, V., Havrys, A., Shainoga, I., & Samberg, A. (2018). Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XX. SPIE*. Berlin, Germany, p. 10783. <https://doi.org/10.1117/12.2501928> [in English].

Wang, X., Wang, Y., Guo, F., Wang, D., & Bai, Y. (2020). Physicochemical characteristics of particulate matter emitted by diesel blending with various aromatics. *Fuel*, 275, p. 117928. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117928> [in English].

Отримано: 05.12.2023

Прийнято: 18.12.2023

ЗМІСТ

БІОЛОГІЯ

- Мехед О. Б., Кириєнко С. В.** Синтаксономічний склад та аналіз забрудненості важкими металами прибережно-водної та водної рослинності екосистем заплави річок Снов, Ревна, Ірпа в межах Чернігівської області.....7
- Мікуліч А. О., Приседський Ю. Г., Машталер О. В., Поліщук А. В.** Вплив стимуляторів росту та лазерного опромінення на вкорінення живців *Buxus Sempervirens* L.18
- Мохначова Н.Б.** Оцінка алейної та генотипової різноманітності корів зникаючої бурої карпатської породи за деякими генами продуктивності.....27

ГЕОГРАФІЯ

- Барановський М. О., Барановська О. В.** Особливості оцінки впливу кліматичних чинників на урожайність сільськогосподарських культур: кейс Чернігівської області..... 34

ХІМІЯ

- Листван В. В.** Синтез нових похідних бензоксазину за реакцією Віттіга.....44

АГРОНОМІЯ

- Коткова Т. М., Яременко О. В., Лук'яненко О. П., Дребот О. В.** Оцінка впливу планової діяльності Шевченківського родовища пісковиків Калуського району Івано-Франківської області на флору та фауну..... 54
- Матвійчук Б. В., Матвійчук Н. Г., Корево Н. І., Оксентюк Я. Р.** Вологозабезпеченість посівів пшениці озимої у зоні Лісостепу..... 63
- Онищук І. П., Хом'як І. В., Кичкирук О. Ю., Зайко Є. О.** Вплив йонів свинцю (II) на посівні якості насіння озимої пшениці сорту «Ювілейна»..... 69
- Пінчук В. О., Подобя Ю. В.** Агроекологічна оцінка енергопотенціалу ґрунтів..... 80

ЕКОЛОГІЯ

- Безноско І. В., Гаврилюк А. В., Горган Т. М., Безноско А. Ю., Гаврилюк Д. С.** Вплив технологій вирощування пшениці озимої (*Triticum* L.) на життєві стратегії мікроміцету *Fusarium Oxysporum* 91
- Бесеганич І. В.** Аналіз дендрофлори парку санаторію «Квітка полонини» (Закарпатська область).....100
- Заблотовська Н. В., Данілова О. М., Білоус Ю. П., Осташек П. Д.** Формування екомережі локального рівня на прикладі проектування екомережі Вишницького району Чернівецької області.....113
- Ковальова І. В., Суходольська І. А.** Оцінка якості води річки Стубелка за показниками фітопланктону.....125
- Кузнєцов П. М.** Дослідження впливу підкислення водоциркуляційної системи на скиди сульфат-іонів зі зворотними водами136
- Свердлов В. О., Карпенко Ю. О., Потоцька С. О.** Вплив *Ips acuminatus* Gyll., *Ips sexdentatus* Воєгн. на лісові екосистеми регіонального ландшафтного парку «Ялівщина» (м. Чернігів)..... 149
- Шуригін В. І., Карабин В. В.** Прогнозування параметрів міграції нафти внаслідок її неперервного надходження у гірську річку (на прикладі річки Стрий).....158