

2023

ISSN 2786-6335 print
ISSN 2786-6343 online

Український журнал природничих наук

Ukrainian Journal of Natural Sciences

Український журнал природничих наук



Випуск 4

Випуск 4

2023

Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка

Український журнал природничих наук

№ 4

Науковий журнал,
заснований у 2022 році



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Видається за рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка
(протокол № 13 від 29.06.2023 року).

Головний редактор

Овчаренко Микола – хабілітований 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 – доктор географічних наук, 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 (м. 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. № 4. 190 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: Гайдабрус В. Б.

В усіх статтях збережено орфографію та пунктуацію авторів.

Підписано до друку 30.06.2023 р. Формат 60x90/8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 22,09. Обл.-вид. арк 21,3. Тираж 300. Замовлення 1123/690

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

№ 4

Scientific journal,
founded in 2022



Publishing House
"Helvetica"
2023

*Approved for publication by the Academic Council of Zhytomyr Ivan Franko State University
(protocol № 13 dated from 29.06.2023).*

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. № 4. 190 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: Gaidabrus V. B.

Authors' spelling and punctuation are preserved in the articles.

Signed for printing 30.06.2023 p. Size 60x90/8. Offset Paper. Font Times New Roman
Risograph printing. Conventional printed sheets 22.09. Printed sheets 21.3. Number of copies 300. Order 1123/690

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 591.1:591.046 :617.384-008.82
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.1>

ВПЛИВ АДАПТИВНИХ ГОРМОНІВ НА ВМІСТ МАГНІЮ В ПАНКРЕАТИЧНИХ ОСТРІВЦЯХ, ТИМУСІ ТА ЛІМФОЦИТАХ КРОВІ ТВАРИН ЗІ СТРЕПТОЗОТОЦИН-ІНДУКОВАНИМ ДІАБЕТОМ

Н. В. Григорова¹

В основі цукрового діабету, що є одним із найпоширеніших захворювань ендокринної системи, лежать глибокі порушення обміну речовин, у тому числі мінерального. Актуальність досліджень умісту внутрішньоклітинного магнію зумовлена значенням цього металу для функціонування інсулярного апарату та імунної системи, а також залученням останньої у механізми розвитку інсулінозалежного цукрового діабету. Метою дослідження є вивчення змін умісту магнію в панкреатичних острівцях, тимусі та лімфоцитах крові тварин зі стрептозотоцин-індукованим діабетом під час введення адаптивних гормонів (інсуліну, адреналіну та преднізолону). Розроблення у нашій лабораторії цитохімічної реакції люмомагнезону на магній у клітинах крові, підшлункової і вилочкової залоз дало змогу провести такі дослідження. Кореляційний аналіз проводили для оцінки ступеня зв'язку між змінами досліджених показників. Установлено, що введення діабетогенного агента стрептозотоцину призводило до розвитку дефіциту магнію в панкреатичних клітинах β, тимусних епітеліальних клітинах і лімфоцитах крові мишей і щурів. Призначення адаптивних гормонів частково корегувало магнієву недостатність у досліджених клітинах діабетичних тварин. У піддослідних мишей і щурів більш виражений ефект спостерігався у випадку сполученої дії цих гормонів. Проведений кореляційний аналіз засвідчив достовірну позитивну кореляцію змін кількості металу в досліджених клітинах тварин, що вказує на наявність тісних імунно-інсулярних взаємин. Практичне значення роботи полягає у тому, що отримані результати можуть бути використані для уточнення алгоритму діагностики цукрового діабету та подальшого проведення заходів патогенетичного лікування цього захворювання.

Ключові слова: інсулярний апарат, імунна система, магній, функціональні зв'язки.

¹ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри фізіології, імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: nvgrigорова@ukr.net
ORCID: 0009-0001-6195-7717

THE INFLUENCE OF ADAPTIVE HORMONES ON THE CONTENT OF MAGNESIUM IN THE PANCREATIC ISLETS, THYMUS AND BLOOD LYMPHOCYTES OF ANIMALS WITH STREPTOZOTOCIN-INDUCED DIABETES

N. V. Hryhorova

At the heart of diabetes, which is one of the most common diseases of the endocrine system, are deep disorders of metabolism, including mineral metabolism. The relevance of studies of the content of intracellular magnesium is due to the importance of this metal for the functioning of the insular apparatus and the immune system, as well as the involvement of the latter in the mechanisms of the development of insulin-dependent diabetes mellitus. The aim of the study was to study changes in magnesium content in pancreatic islets, thymus, and blood lymphocytes of animals with streptozotocin-induced diabetes when adaptive hormones (insulin, adrenaline, and prednisolone) were administered. The development in our laboratory of the cytochemical reaction of lumomagnesone to magnesium in cells of the blood, pancreas and thymus allowed us to conduct such studies. Correlation analysis was performed to assess the degree of connection between changes in the studied indicators. It was established that administration of the diabetogenic agent streptozotocin led to the development of magnesium deficiency in pancreatic β -cells, thymic epithelial cells, and blood lymphocytes of mice and rats. Administration of adaptive hormones partially corrected magnesium deficiency in the studied cells of diabetic animals. In experimental mice and rats, a more pronounced effect was observed in the case of combined action of these hormones. The conducted correlation analysis proved a reliable positive correlation of changes in the amount of metal in the studied animal cells, which indicates the presence of close immune-insular relations. The practical significance of the work is that the obtained results can be used to refine the algorithm for the diagnosis of diabetes mellitus and further carry out pathogenetic treatment measures for this disease.

Key words: *insular apparatus, immune system, magnesium, functional connections.*

Вступ

Сьогодні цукровий діабет (ЦД) – одне з найпоширеніших захворювань ендокринної системи. Ураховуючи, що дана патологія супроводжується великою кількістю ускладнень, а саме розвитком органоспецифічних уражень багатьох органів і систем, то питання профілактики, ранньої діагностики та лікування ЦД набувають особливого значення (Сіренко та ін., 2019; Тронько та ін., 2021). За даними ВООЗ, у світі зареєстровано 175 млн хворих на цукровий діабет, а в 2025 р. їх буде вже 340 млн (Ingelfinger & Jarcho, 2017). За останнє десятиріччя кількість хворих на ЦД в Україні стрімко зросла – з 1,8% до 2,8%. Однак, як свідчать дослідження, їх реальна кількість щонайменше вдвічі більша, оскільки половина хворих навіть не здогадується про свою недугу. Нині в Україні від цукрового діабету страждає 1,2 млн осіб (Гурський і Каськів, 2021).

Відомо, що в основі ЦД лежать глибокі порушення обміну речовин, у тому числі мінерального (Сіренко та ін., 2019; Тронько та ін., 2021). На особливу увагу, на нашу думку, заслуговують дослідження вмісту внутрішньоклітинного магнію, що належить до найбільш важливих і незамінних для життєдіяльності живого організму макроелементів. Він відіграє важливу роль у функціонуванні

різних органів, у тому числі підшлункової залози (Picone et al., 2020). Іони магнію знаходяться в антагоністичних відносинах з іонами кальцію. Останні активують у клітинах панкреатичних острівців мікротубулярно-мікрофіламентну систему, відповідальну за транспорт і екзоцитоз секреторних гранул (de Sousa Melo et al., 2022). Переведення гормону в активний стан відбувається шляхом з'єднання металу з інсуліном. Баланс магнію модулює трансмембранний потік глюкози в гепатоцити, м'язи, нейрони та інші енерговмісні, насичені мітохондріями клітини організму, перешкоджаючи тим самим формуванню інсулінорезистентності (Pelczyńska et al., 2022). Магній укріплює й імунну систему. Прискорення інволюції тимуса, зменшення активності В- і Т-клітин спостерігається за недостатності цього металу (Saglietti et al., 2023). Гіпомагнезіємія виявляється практично в усіх хворих на діабет (Van Laecke, 2019). У разі розвитку експериментального діабету у тварин встановлено аналогічні зміни концентрації магнію в крові (De Valk, 1999). Головною причиною деструкції β -клітин у ході інсулінозалежного цукрового діабету є клітинні механізми аутоімунної агресії (Roep, 2021). Ураховуючи той факт, що в аутоімунній реакції клітинного ланцюга імунітету беруть участь лімфоцити та тимус –

центрального органу імунотенезу (Geenene et al., 2005), представляють інтерес порівняльні дослідження вмісту магнію у панкреатичних острівцях, тимусних епітеліальних клітинах (ТЕК) і лімфоцитах крові тварин зі стрептозотозин-індукованим діабетом під впливом адаптивних гормонів (інсуліну, адреналіну та преднізолону). Розроблення в нашій лабораторії цитохімічної реакції люмомагнезону на магній дало змогу провести такі дослідження.

Мета дослідження – вивчити зміни вмісту магнію в панкреатичних острівцях, тимусі та лімфоцитах крові тварин зі стрептозотозин-індукованим діабетом під час уведення адаптивних гормонів.

Матеріал і методи

У дослідах використано білі безпородні миші та щури віком шість місяців. У всіх експериментах інтактні тварини слугували контролем, тому що після дослідження контрольної групи тварин (тварини, яким вводили фізіологічний розчин) та інтактної групи (тварини без утручань) були отримані дані, які між собою статистично не відрізнялися. Дослідження з використанням лабораторних тварин проводилися згідно з вимогами ст. 26 Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження», Європейської конвенції про захист хребетних тварин (Страсбург, 1986) та принципами біоетики.

Діабет у тварин викликали шляхом внутрішньочеревного введення стрептозотозину в дозі 200 мг/кг. В окремій серії експериментів тваринам зі стрептозотозин-індукованим діабетом вводили внутрішньом'язово преднізолон у дозі 10 мг/кг, підшкірно – адреналіну гідрохлорид у дозі 0,05 мг/кг, інсулін у дозі 20 ОД/кг ваги тіла (мишам вводили гормон, розведений у 20 разів, щурам – у 2 рази). Першу ін'єкцію речовин робили через добу після введення стрептозотозину, наступні – щоденно впродовж чотирьох діб. У тварин через п'ять діб після введення діабетогенної речовини та ще 2 год. пізніше – стрептозотозину та адаптивних гормонів прижиттєво брали кров із хвоста, а після забою методом декапітації – шматочки підшлункової та вилочкової залоз.

Для виявлення магнію в лімфоцитах крові на предметне скло наносили шар яєчного білка, готували мазки, підсушували на повітрі, промивали дистильованою водою. Забарвлювали мазки 0,05% спиртовим розчином люмомагнезону. На мазок наносили краплю імерсійної олії і розглядали його під люмінесцентним мікроскопом. Для збу-

дження люмінесценції використовували світлофільтр ФС-1, а як захисний (окулярний) – світлофільтр ЖС-18.

Для цитохімічного визначення магнію у клітинах підшлункової і вилочкової залоз шматочки цих органів фіксували у 70° холодному (4°С) спирті, насиченому сірководнем. Потім шматочки проводили через спирти зростаючої міцності (80°, 90°, 96°, 100° – по 4 год. у кожному), суміш 50%-го ксилолу та 50%-го парафіну (по 30 хв. при температурі 40°С), два ксилоли (по 15 хв. у кожному), суміш 50%-го ксилолу та 50%-го парафіну (по 30 хв. при температурі 40°С), два рідкі парафіни (по 1,5 год. у кожному при 50°С) та заливали у парафін.

Парафінові зрізи 5 мкм завтовшки обробляли послідовно у двох ксилолах і спиртах. Потім флуорохромували 1% водним розчином люмомагнезону та вивчали під люмінесцентним мікроскопом із використанням масляної імерсії (світлофільтри ФС-1 і ЖС-18). Оцінку інтенсивності рожевого забарвлення цитоплазми лімфоцитів, інсулоцитів і ТЕК проводили за допомогою мікрофлуориметра. Інтенсивність флуоресценції виражали в умовних одиницях (ум. од.). Експериментальні дані обробляли за допомогою t-критерію Стьюдента, що пояснюється нормальним характером розподілу варіантів у вибірках (критерій Колмогорова – Смирнова, Statistica, 6.0). Обчислювали коефіцієнт кореляції Пірсона (r) для оцінки ступеня зв'язку між змінами досліджених показників.

Результати та обговорення

Установлено, що введення мишам діабетогенного агента стрептозотозину призводило до зниження вмісту магнію на 63% у ТЕК, 54% – панкреатичних клітинах β і лімфоцитах крові ($P < 0,001$). У мишей зі стрептозотозин-індукованим діабетом, яким вводили інсулін, уміст магнію порівняно з контролем був нижче на 37% ($P < 0,001$) у панкреатичних острівцях, 25% ($P < 0,05$) – у тимусі, 26% ($P < 0,05$) – у лімфоцитах крові. Порівняно з тваринами, що отримували стрептозотозин, показники збільшувалися відповідно на 38% ($P < 0,05$), 52% ($P < 0,001$) і 37% ($P < 0,01$). Аналогічні зміни вмісту металу в досліджених клітинах спостерігалися після введення адреналіну діабетичним мишам. У випадку призначення преднізолону мишам зі стрептозотозин-індукованим діабетом уміст магнію порівняно з контролем був нижче на 42% ($P < 0,001$) в острівцевих β -клітинах, 37% ($P < 0,001$) – у клітинах

Таблиця 1

Уміст магнію (M±m) в інсулоцитах, ТЕК, лімфоцитах крові та їх взаємозв'язок (r) у мишей під час уведення стрептозотоцину, інсуліну, адреналіну та преднізолону, n=10

Група тварин	Уміст магнію, ум. од.			r ₁	r ₂
	Інсулоцити	ТЕК	Лімфоцити крові		
Контроль	92±6,7	67±5,0	125±10,8	0,65*	0,57*
Стрептозотозин	42±5,8***	33±1,7***	67±4,2***	0,90***	0,85***
Стрептозотозин + інсулін	58±2,5***, #	50±3,3*, ###	92±5,0*, ##	0,91***	0,61*
Стрептозотозин + адреналін	58±4,2***, #	50±2,5**, ###	92±5,8*, ##	0,90***	0,62*
Стрептозотозин + преднізолон	53±1,7***, #	42±3,3***, #	83±5,0**, #	0,91***	0,73**
Стрептозотозин + інсулін + адреналін	75±5,8*, ###	58±2,5, ###	108±7,5 ###	0,82***	0,74**
Стрептозотозин + інсулін + преднізолон	67±3,3**, ##	50±4,2*, ##	100±8,3 ##	0,83***	0,72**

Примітки: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ порівняно з контролем; # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ порівняно з тваринами, яким вводили стрептозотозин; r₁ – коефіцієнт кореляції змін вмісту магнію в інсулоцитах і ТЕК; r₂ – коефіцієнт кореляції змін вмісту магнію в інсулоцитах і лімфоцитах крові

вилочкової залози, 34% ($P < 0,01$) – у лімфоцитах крові. Порівняно з діабетичними тваринами показники достовірно збільшувалися відповідно на 26%, 27% і 24% (табл. 1).

Після сполученої дії стрептозотоцину, інсуліну та адреналіну кількість металу в клітинах мишей була нижче порівняно з контрольними величинами на 18% ($P < 0,05$) у панкреатичних острівцях, 13% ($P > 0,05$) – у тимусі, 14% ($P > 0,05$) – у лімфоцитах крові. Порівняно з тваринами, у яких розвивався діабет, показники достовірно збільшувалися відповідно на 79%, 76% і 61% ($P < 0,01$). Сполучений вплив стрептозотоцину, інсуліну та преднізолону викликав такі зміни вмісту внутрішньоклітинного металу: показник, знижений відносно контролю, становив 27% ($P < 0,01$) в інсулоцитах, 25% ($P < 0,05$) – у тимусних епітеліоцитах, 20% ($P > 0,05$) – у лімфоцитах крові, підвищений – відносно діабетичних тварин на 60%, 52% і 49% ($P > 0,01$). Достовірні коефіцієнти кореляції змін вмісту магнію в інсулоцитах, ТЕК і лімфоцитах крові дослідних мишей свідчать на користь існування функціонального зв'язку між цими клітинами. Подібний характер змін вмісту магнію в панкреатичних острівцях, тимусі та лімфоцитах крові спостерігався у дослідах на щурах (табл. 2).

Уміст магнію в інсулоцитах, ТЕК і лімфоцитах крові тварин знижувався після ін'єкції стрептозотоцину на 53%, 49% і 44% ($P < 0,001$). Під час уведення інсуліну щурам зі стрептозотозин-індукованим діабетом уміст

магнію порівняно з контролем був нижче на 23% ($P < 0,05$) у панкреатичних острівцях, 30% ($P < 0,01$) – у тимусі, 25% ($P < 0,05$) – у лімфоцитах крові. Порівняно з тваринами, що отримували діабетогенний агент, показники збільшувалися відповідно на 66% ($P < 0,001$), 38% і 33% ($P < 0,01$).

Аналогічні зміни вмісту металу в досліджених клітинах спостерігалися після введення адреналіну діабетичним мишам. У випадку призначення преднізолону щурам зі стрептозотозин-індукованим діабетом уміст магнію порівняно з контролем був нижче на 31% ($P < 0,05$) в острівцевих β -клітинах і лімфоцитах крові ($P < 0,01$), 40% ($P < 0,01$) – у клітинах вилочкової залози. Порівняно з діабетичними тваринами показники достовірно збільшувалися відповідно на 50% ($P < 0,01$), 20% і 23% ($P < 0,05$).

Кількість металу в клітинах щурів після сполученої дії стрептозотоцину, інсуліну та адреналіну була нижче порівняно з контрольними величинами на 15% ($P > 0,05$) у панкреатичних острівцях, 19% – у тимусі ($P < 0,05$) і лімфоцитах крові ($P > 0,05$). Порівняно з тваринами, у яких розвивався діабет, показники достовірно збільшувалися відповідно на 84%, 60% і 44% ($P < 0,001$). За сполученого впливу стрептозотоцину, інсуліну та преднізолону зміни вмісту внутрішньоклітинного металу були такі: зниження показника відносно контролю становило 23% ($P < 0,05$) в інсулоцитах, 30% ($P < 0,01$) – у клітинах тимуса, 19% ($P > 0,05$) – у лімфоцитах крові,

Таблиця 2

Уміст магнію (M±m) в інсулоцитах, ТЕК, лімфоцитах крові та їх взаємозв'язок (r) у щурів під час введення стрептозотоцину, інсуліну, адреналіну, преднізолону, n=10

Група тварин	Уміст магнію, ум. од.			r ₁	r ₂
	Інсулоцити	ТЕК	Лімфоцити крові		
Контроль	108±7,5	83±5,8	133±12,5	0,75**	0,76***
Стрептозотозин	50±4,2***	42±2,5***	75±5,1***	0,91***	0,78***
Стрептозотозин + інсулін	83±5,0*, ###	58±3,3**, ##	100±6,7*, ##	0,74**	0,82***
Стрептозотозин + адреналін	83±6,7*, ###	58±5,0**, #	100±8,3*, #	0,72**	0,85***
Стрептозотозин + преднізолон	75±5,8**, ##	50±2,5**, #	92±7,5*, #	0,73**	0,84***
Стрептозотозин + інсулін + адреналін	92±6,7 ###	67±3,3*, ###	108±5,0 ###	0,71**	0,83***
Стрептозотозин + інсулін + преднізолон	83±5,8*, ##	58±5,0**, #	108±8,3 ##	0,74**	0,72**

Примітки: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ порівняно з контролем; # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ порівняно з тваринами, яким вводили стрептозотозин; r₁ – коефіцієнт кореляції змін умісту магнію в інсулоцитах і ТЕК; r₂ – коефіцієнт кореляції змін умісту магнію в інсулоцитах і лімфоцитах крові

підвищення – відносно діабетичних тварин на 66% ($P < 0,01$), 38% ($P < 0,05$) і 44% ($P < 0,01$).

У всіх випадках спостерігалася позитивна кореляція змін умісту магнію в острівцевих β-клітинах, клітинах вилочкової залози та лімфоцитах крові піддослідних тварин, що свідчить на користь існування тісних функціональних зв'язків між інсулярним апаратом та імунною системою.

Висновки

Установлено, що введення діабетогенного агента стрептозотоцину призводило до розвитку дефіциту магнію у панкреатичних клітинах β, ТЕК і лімфоцитах крові мишей і щурів, який коливався у межах 44–54% ($P < 0,001$).

Призначення адаптивних гормонів (інсуліну, адреналіну та преднізолону)

частково корегує магнієву недостатність у досліджених клітинах панкреатичних острівців, тимуса та крові тварин зі стрептозотозин-індукованим діабетом: уміст внутрішньоклітинного металу був менше відносно контролю на 23% ($P < 0,05$) – 42% ($P < 0,001$) та більше відносно діабетичних тварин на 20% ($P < 0,05$) – 66% ($P < 0,001$). Вираженіший ефект спостерігався у піддослідних мишей і щурів у випадку сполученої дії цих гормонів: 13% ($P > 0,05$) – 30% ($P < 0,01$) і 44% ($P < 0,01$) – 79% ($P < 0,001$) відповідно.

Позитивна кореляція змін кількості металу в досліджених клітинах тварин указує на наявність тісних імунно-інсулярних взаємин.

Список використаної літератури

Гурський А. Й., Каськів М. В. Екологічні та соціальні проблеми як наслідок розвитку ендокринної патології. *Бюлетень Національного університету водного господарства та природокористування*. 2021. Т. 95(3). С. 47–57. <https://doi.org/10.31713/vs320214>.

Теоретичні основи цукрового діабету / Г. О. Сіренко та ін. *Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника. Серія «Хімія»*. 2019. Вип. XXIII. С. 4–70.

Тронько М. Д., Большова О. В., Соколова А. К. Цукровий діабет 1-го типу: етіологія, патогенез, клініка, діагностика та лікування. *Практикуючий лікар*. 2021. Т. 10(3). С. 26–35.

de Sousa Melo S. R., Dos Santos L. R., da Cunha Soares T., Cardoso B. E. P., da Silva Dias T. M., Morais J. B. S., de Paiva Sousa M., de Sousa T. G. V., da Silva N. C., da Silva L. D., Cruz K. J. C., do Nascimento Marreiro D. Participation of magnesium in the secretion and signaling pathways of insulin: an updated review. *Biol. Trace Elem. Res.* 2022. V. 200(8). P. 3545–3553. <https://doi.org/10.1684/mrh.2022.0214>.

De Valk H. W. Magnesium in diabetes mellitus. *Neth. J. Med.* 1999. V. 54. P. 39–52. [https://doi.org/10.1016/S0300-2977\(99\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S0300-2977(99)00005-4).

Geenene V., Brilot F., Lonis, Hansenne C.I., Renard Ch., Martens H. Importance of a thymus dysfunction in the pathophysiology of type 1 diabetes. *Kez. Med. Liege*. 2005. V. 60(5–6). P. 291–296.

Ingelfinger J. R., Jarcho J. A. Increase in the Incidence of Diabetes and Its Implications. *N. Engl. J. Med.* 2017. V. 376(15). P. 1473–1474. <https://doi.org/10.1056/NEJMe1616575>.

Pelczyńska M., Moszak M., Bogdański P. The role of magnesium in the pathogenesis of metabolic disorders. *Nutrients*. 2022. V. 14(9). P. 1711–1714. <https://doi.org/10.3390/nu14091714>.

Picone G., Cappadone C., Farruggia G., Malucelli E., Iotti S. The assessment of intracellular magnesium: different strategies to answer different questions. *Magnes Res.* 2020. V. 33(1). C. 1–11 <https://doi.org/10.1684/mrh.2020.0464>.

Roep B.O., Thomaidou S., van Tienhoven R., Zaldumbide A. Type 1 diabetes mellitus as a disease of the β -cell (do not blame the immune system?). *Nat. Rev. Endocrinol.* 2021. V.17(3). P. 150–161. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-00443-4>.

Saglietti F., Girombelli A., Marelli S., Vetrone F., Balzanelli M.G., Tabae Damavandi P. Role of magnesium in the intensive care unit and immunomodulation: a literature review. *Vaccines (Basel)*. 2023. V. 11(6). P. 1112–1122. <https://doi.org/10.3390/vaccines11061122>.

Van Laecke S. Hypomagnesemia and hypermagnesemia. *Acta Clin. Belg.* 2019. V. 74(1). P. 41–47. <https://doi.org/10.1080/17843286.2018.1516173>.

References (translated & transliterated)

Hurskyi, A. Y., & Kaskiv, M. V. (2021). Ekolohichni ta sotsialni problemy yak naslidok rozvytku endokrynnoi patolohii [Environmental and social problems as a consequence of the development of endocrine pathology.] *Biuletyn Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia [Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management]*, 95(3), 47–57. <https://doi.org/10.31713/vs320214> [in Ukrainian].

Sirenko, H. O., Skladaniuk, M. B., Martyniuk, M. I., Kuzyshyn, O. V., Kovalyshyn, N. V., & Hovdiak, I. V. (2019). Teoretychni osnovy tsukrovoho diabetu. [Theoretical foundations of diabetes]. *Visnyk Prykarpatskoho natsionalnoho universytetu imeni Vasylia Stefanyka. Seriya Khimiia [Bulletin of the Carpathian National University that named after Vasyl Stefanyk. Series "Chemistry"]*, XXIII, 4–70 [in Ukrainian].

Tronko, M. D., Bolshova, O. V., & Sokolova, L. K. (2021). Tsukrovyy diabet 1-ho typu: etiolohiia, patohenez, klinika, diahnozyka ta likuvannia [Type 1 diabetes mellitus: etiology, pathogenesis, clinic, diagnosis and treatment]. *Praktykuiuchy likar [Practitioner]*, Vols. 10(3), 26–35 [in Ukrainian].

de Sousa Melo, S. R., Dos Santos, L. R., da Cunha Soares, T., Cardoso B. E. P., da Silva Dias, T. M., Morais, J. B. S., de Paiva Sousa, M., de Sousa, T. G. V., da Silva, N. C., da Silva, L. D., Cruz, K. J. C., & do Nascimento Marreiro, D. (2022). Participation of magnesium in the secretion and signaling pathways of insulin: an updated review. *Biol. Trace Elem. Res.*, 200(8), 3545–3553. <https://doi.org/10.1684/mrh.2022.0214> [in English].

De Valk, H. W. (1999). Magnesium in diabetes mellitus. *Neth. J. Med.*, 54, 39–52. [https://doi.org/10.1016/S0300-2977\(99\)00005-4](https://doi.org/10.1016/S0300-2977(99)00005-4) [in English].

Geenene, V., Brilot, F., Lonis, Hansenne, C. I., Renard, Ch., & Martens, H. (2005). Importance of a thymus dysfunction in the pathophysiology of type 1 diabetes. *Kez. Med. Liege*, 60(5-6), 291–296 [in English].

Ingelfinger, J. R., & Jarcho, J. A. (2017). Increase in the Incidence of Diabetes and Its Implications. *N. Engl. J. Med.*, 376 (15), 1473–1474. <https://doi.org/10.1056/NEJMe1616575> [in English].

Pelczyńska, M., Moszak, M., & Bogdański, P. (2022). The role of magnesium in the pathogenesis of metabolic disorders. *Nutrients*, 14(9), 1711–1714. <https://doi.org/10.3390/nu14091714> [in English].

Picone, G., Cappadone, C., Farruggia, G., Malucelli, E., & Iotti, S. (2020). The assessment of intracellular magnesium: different strategies to answer different questions. *Magnes Res.*, 33(1), 1–11. <https://doi.org/10.1684/mrh.2020.0464> [in English].

Roep, B. O., Thomaidou, S., van Tienhoven, R., & Zaldumbide, A. (2021). Type 1 diabetes mellitus as a disease of the β -cell (do not blame the immune system?). *Nat. Rev. Endocrinol.*, 17(3), 150–161. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-00443-4> [in English].

Saglietti, F., Girombelli, A., Marelli, S., Vetrone, F., Balzanelli, M. G., & Tabae Damavandi, P. (2023). Role of magnesium in the intensive care unit and immunomodulation: a literature review. *Vaccines (Basel)*, 11(6), 1112–1122. <https://doi.org/10.3390/vaccines11061122> [in English].

Van Laecke, S. Hypomagnesemia and hypermagnesemia. (2019). *Acta Clin. Belg.*, 74(1), 41–47. <https://doi.org/10.1080/17843286.2018.1516173> [in English].

Отримано: 18.05.2023

Прийнято: 08.06.2023



УДК 577.27:618.2/3:616-005

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.2>

ЗМІНИ ІМУНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІД ЧАС ВАГІТНОСТІ: ДІАГНОСТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ (ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ)

Ю. І. Куш¹, Ю. С. Вакал², Л. М. Чеберячко³

Статтю присвячено аналізу стану імунної системи на тлі вагітності й виявленню особливостей змін імунологічних показників при фізіологічному та патологічному перебігу гестаційного періоду. Аналіз літературних джерел свідчить, що гематологічні та імунологічні показники є важливими діагностичними маркерами під час оцінки перебігу гестаційних процесів, виявлення патологій вагітності, моніторингу їх динаміки та прогнозування наслідків. Під час вагітності спостерігаються специфічні кількісні та якісні зміни всіх клітинних фракцій крові, особливо еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів. Відзначено, що у жінок із фізіологічним перебігом вагітності наявні лейкоцитоз, лімфопенія. Також у лейкоцитарній формулі вагітних спостерігаються значні зміни у кількості нейтрофілів: встановлено значиме підвищення рівня їхніх паличкоядерних і сегментоядерних форм. Відзначено, що ці прояви стають більш вираженими при патологічному перебігу вагітності. Проаналізовано зміни та їхні прояви в системі імунітету на тлі вагітності як за її нормального перебігу, так за патології. Засвідчено, що імунні порушення у жінок за нормальної вагітності можуть коливатися в межах I-II ступенів. Характерними змінами для вагітності є загальний стан пригнічення Т-клітинної ланки системного імунітету (особливо Т-хелперної субпопуляції), Т-лімфопенія, зростання кількості ЦІК, зміни балансу прозапального ІЛ-2 і протизапального ІЛ-4 цитокінів, компенсаторне зростання рівня В-лімфоцитів та концентрації Іg G. У багатьох випадках Іg-профіль вагітних супроводжується дисімуноглобулінеміями різного ступеня вираженості.

Обґрунтовано важливість урахування змін імунологічних показників під час вагітності, оскільки глибоке розуміння їхньої специфіки є важливим для формування відповідної стратегії ведення даного фізіологічного стану та часто відіграє вирішальну роль у ефективному виявленні та ліку-

¹ доктор філософії у галузі біології,
старший викладач кафедри біології людини, хімії та методики навчання хімії
(Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, м. Суми)
e-mail: ioliya.sumy@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0382-8877

² доктор філософії за спеціальністю 015 «Професійна освіта (комп'ютерні технології)»,
старший викладач кафедри біології людини, хімії та методики навчання хімії
(Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, м. Суми)
e-mail: julia.vakal22@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8722-7683

³ учитель біології
(Ліцей № 3 Підгородненської міської ради Дніпропетровської області)
e-mail: lidacheb1986@gmail.com
ORCID: 0009-0001-2685-7809

ванні ускладнень перебігу, а також у забезпеченні позитивного результату як для матері, так і для плоду.

Ключові слова: вагітність, патології вагітності, лейкограма, імунологічні показники, Т-лімфопенія.

CHANGES IN IMMUNOLOGICAL INDICATORS DURING PREGNANCY: DIAGNOSTIC SIGNIFICANCE (OVERVIEW OF THE PROBLEM)

Yu. I. Kushch, Yu. S. Vakal, L. M. Cheberichko

The article is devoted to the analysis of the state of the immune system against the background of pregnancy and the identification of the peculiarities of changes in immunological indicators during the physiological and pathological course of the gestational period. The analysis of literary sources shows that hematological and immunological indicators are important diagnostic markers in assessing the course of gestational processes, identifying pregnancy pathologies, monitoring their dynamics, and predicting consequences. During pregnancy, there are specific quantitative and qualitative changes in all cellular fractions of blood, especially erythrocytes, leukocytes, neutrophils, and platelets. It is noted that women with a physiological course of pregnancy have leukocytosis and lymphopenia. Also, in the leukocyte formula of pregnant women, significant changes in the number of neutrophils are observed: a significant increase in the level of their rod-nuclear and segment-nuclear forms is established. It is noted that these manifestations become more pronounced during the pathological course of pregnancy. The changes and their manifestations in the immune system against the background of pregnancy, both during its normal course and during pathologies, were analyzed. It is proven that immune disorders in women during normal pregnancy can range from I-II degrees. Characteristic changes for pregnancy are the general state of suppression of the T-cell link of systemic immunity (especially the T-helper subpopulation), T-lymphopenia, an increase in the number of CYCs, changes in the balance of pro-inflammatory IL-2 and anti-inflammatory IL-4 cytokines, a compensatory increase in the level of B-lymphocytes and Ig G concentrations. In many cases, the Ig profile of pregnant women is accompanied by dysimmunoglobulinemias of varying severity.

The importance of taking into account changes in immunological indicators during pregnancy is justified, since a deep understanding of their specificity during pregnancy is important for the formation of a correct strategy for managing a physiological pregnancy and often plays a decisive role in the effective detection and treatment of pregnancy complications, as well as in ensuring a positive outcome for both the mother and for the fetus.

Key words: pregnancy, pathologies of pregnancy, leukogram, immunological indicators, T-lymphopenia.

Вступ

Згідно зі статистичними звітними даними МОЗ України, що присвячені аналізу стану репродуктивного здоров'я, слід відзначити наявність тенденції до зростання відсотка екстрагенітальної патології вагітних. Так, більшість (67,8%) пологів відбувається з ускладненнями, у кожній третій вагітній присутні анемічні прояви, у кожній десятій – гестози (Сайт ..., 2023). Аналіз щорічних звітів діяльності галузі охорони здоров'я у Сумській області свідчить про збільшення частоти патологій вагітності, пологів та ускладнень післяпологового періоду (Калиниченко і Калиниченко, 2020). Вищезазначене зумовлює важливість проведення комплексної оцінки репродуктивного здоров'я жінок, особливостей перебігу гестаційного періоду задля вирішення стратегічних завдань здоров'язбереження населення,

що є важливою характеристикою демографічного потенціалу країни. Проблематика дослідження репродуктивного стану здоров'я вагітних жінок, породіль та новонароджених дітей не втрачає актуальності як для медичних працівників, так для науковців-теоретиків. Відомо, що гематологічні та імунологічні показники є надзвичайно інформативними в оцінці рівня здоров'я людини, діагностиці різних хвороб, зокрема для аналізу фізіологічного чи патологічного перебігу вагітності, адже клітинні та гуморальні компоненти системи крові першими реагують на гомеостатичні зміни, функціональні та регуляторні порушення.

Варто зазначити, що в науковій літературі питання змін популяційного складу клітин з імунною функцією під час вагітності представлені достатньо широко. Проте ці дані не мають систематичного характеру,

часто присвячені окремим специфічним дослідженням. Розрізнено описані прояви змін гематологічних та імунних показників у разі фізіологічної вагітності та патологічного її перебігу, за наявності у вагітної супутньої патології. Узагальнення наявних даних може слугувати фахівцям додатковим матеріалом для розуміння патофізіологічних механізмів розвитку порушень фізіологічного перебігу вагітності.

Мета статті полягає у висвітленні сучасного погляду на проблематику перебігу вагітності в нормі та патології з акцентом на імунологічні механізми забезпечення даного стану, а також виявлення особливостей змін імунологічних показників за наявності патологій вагітності та наявних хвороб вагітної жінки. Об'єктом дослідження є наукові тексти теоретичного та експериментального характеру у вітчизняних та зарубіжних наукових журналах, відкритих базах даних.

Матеріал і методи

Дослідження було проведено шляхом аналізу наукових джерел баз даних медико-біологічного профілю, таких як PubMed, MEDLINE, BioMed, а також Google Scholar, Scopus, WoS, що знаходяться у відкритому доступі.

Результати та обговорення

Вагітність – фізіологічний стан організму жінки, коли в її репродуктивних органах розвивається ембріон (плід) (Запорожан, 2013; Pascual & Langaker, 2022). Водночас цей специфічний стан розглядається як приклад унікальної, еволюційно закріпленої системи довготривалої адаптації організму жінки до виношування та народження плода (Власенко і Єрошенко, 2016).

Насамперед, зміни у функціонуванні жіночого організму за настання вагітності стосуються перебудови нейро-імунно-ендокринної системи. Із боку центральної нервової системи відбувається формування активного джерела аферентної імпульсації від інтерорецепторів матки, які відтепер знаходяться у постійному зв'язку з плодом яйцем, – «гестаційної домінанти». Суттєво модулюється і діяльність залоз внутрішньої секреції. Уважається, що провідну роль у гомеостатичних змінах під час вагітності відіграють плацентарні й ендометріальні протеїни, зокрема трофобластичний глікопротеїн, хоріонічний гонадотропін, плацентарний мікроглобулін, що широко використовуються у практиці ведення вагітності як якісні і прогностичні критерії даного стану. Зміни в імунній системі

вагітної жінки відображаються, перш за все, у стані імунобіологічної реактивності її організму. Виявлено, що під час вагітності, особливо в першій її половині, відбувається зниження неспецифічної резистентності жінки, що запобігає відторгненню плоду як генетично чужорідного агента. Важливою функцією плаценти, окрім забезпечення трофіки плоду та виділення метаболітів, є імунорегуляція та імунomodуляція материнського організму (Запорожан, 2013; Власенко і Єрошенко, 2016; Soma-Pillay et al., 2016).

Варто зазначити, що під час вагітності відбуваються кількісні та якісні зміни не лише клітин, що відповідають за реалізацію клітинного імунітету, а й усіх клітинних фракцій крові. Так, результати дослідження показників лейкограм жінок із фізіологічним перебігом вагітності, отриманих С.П. Польовою (Польова та ін., 2009), свідчать про майже ідентичну з практично здоровими невагітними жінками картину системи крові, хоча і відзначають зростання абсолютної кількості лейкоцитів та відносної кількості нейтрофілів, зниження рівня лімфоцитів ($p < 0,05$) та зростання ШОЕ. В інших роботах показані суттєвіші зміни. Наприклад, у дослідженні Н.В. Григорової (Григорова та ін., 2011) під час фізіологічного протікання вагітності відзначено достовірне ($p < 0,01-0,001$) збільшення у крові загальної кількості лейкоцитів і моноцитів та відносної кількості нейтрофілів (ПЯН – на 250%, СЯН – на 31%), зниження відносної кількості еозинофілів (на 44%) та лімфоцитів (на 35%). У багатьох роботах показано, що зміни в популяційному розподілі клітин крові набувають суттєвішого вираження у разі наявності супутньої соматичної хвороби у вагітної або патології протікання вагітності (Пирогова та ін., 2015; Бала та ін., 2016; Kim et al., 2017; Аралова, 2019; Лоскутова, 2023). Наприклад, у роботі (Польова та ін., 2009) продемонстровано, що у вагітних жінок, хворих на активну форму туберкульозу, на тлі незначного зниження відносної кількості лейкоцитів та підвищення відносної кількості нейтрофілів (через збільшення відносної кількості ПЯН) суттєво зростають рівні еозинофілів (у 2,64 рази) та моноцитів (у 2 рази) та водночас знижується рівень загального пулу лімфоцитів, які є основними ІКК (порівняно з вагітними без туберкульозу). Згідно з даними гематології, надмірне зростання незрілих форм нейтрофілів є ознакою виснаження резервних можливо-

стей системи кровотворення та механізмів вродженого імунітету (Запорожан, 2013).

Окрім того, у роботі (Польова та ін., 2009) показано зниження загальної кількості еритроцитів ($p < 0,001$) і вмісту гемоглобіну ($p < 0,001$) у жінок із нормальним перебігом вагітності, що проживають у промисловому районі України. Даний факт є важливим з огляду на те, що за сучасними уявленнями еритроцити виконують не лише пасивну кисне-транспортну функцію, а й беруть участь у реакціях вродженого імунітету. Низка досліджень (Bateman et al., 2017; Anderson et al., 2018; Hotz et al., 2018) виявила, що вони здатні взаємодіяти з ендогенними та екзогенними запальними молекулами в крові, зв'язувати й очищувати хемокіни, нуклеїнові кислоти та циркулюючі патогени. Гемоглобін і гем також є агентами вродженого імунітету, здатними генерувати антимікробні активні форми кисню для захисту від вторгнення гемолітичних мікробів, модифікуючи запальні й аутоімунні реакції. Тому залежно від умов мікрооточення еритроцити можуть сприяти імунній активації або підтримувати стан імунного спокою. Низькі рівні гемоглобіну розглядаються в акушерській практиці як негативний стан, зважаючи на патогенетичну роль у формуванні прихованого залізодефіциту, анемічних станів, залізодефіцитної анемії (ЗДА) та їхні негативні наслідки для здоров'я як самої вагітної жінки, так і для формування та розвитку плоду. Анемія та ЗДА вагітних є серйозною проблемою екстрагенітальної патології, оскільки кількість таких випадків не знижується; ці стани є чинниками зростання частоти передчасних пологів, плацентарної недостатності, загрози переривання вагітності, гіпотрофії плода, аномалій пологів, інфекційних післяпологових ускладнень, частоти й обсягу патологічної крововтрати при пологах і у післяпологовому періоді (Анчева, 2013; Жук та ін., 2014; Каліновська і Лісова, 2017; Фецик і Цисар, 2022). Також виявлено, що залізодефіцит і ЗДА матері можуть спричинити у плода і, відповідно, новонароджених дітей, затримку психофізичного розвитку, порушення імунного захисту (Бакун, 2014).

Як згадувалося вище, зміни в імунній системі жінки, що завагітніла, – це розгортання генетично запрограмованої програми захисту ембріону від імунологічної реактивності організму матері, а також забезпечення ембріона (плода) факторами захисту від інфекційних агентів із прогресуванням

вагітності. Уже з ранніх термінів вагітності функціональний стан організму жінки знаходиться під впливом багатьох гормонів та гормоноподібних речовин: білка ранньої фази вагітності, бластокініну, прогестерону, хоріонічного гонадотропіну, простагландину E2, що здійснюють загальний супресивний вплив на імунну систему жінки. Хоча вагітність завжди супроводжується імунодепресією, особливо клітинної ланки, проте імунітет жінки здебільшого відновлюється до початкового рівня приблизно через три місяці після пологів (Казімірко та ін., 2014). Важливо розуміти, що особливості функціонування імунної системи вагітних зумовлені саме наявністю плоду, який є генетично чужорідним для організму матері. Водночас плід попереджає можливу імунну атаку з боку материнського організму шляхом редукції власної імуногенності, що завдяки супутньому фактору – імуномодуючій та імунопротекторній дії плацентарного бар'єру забезпечує існування системи «мати – плацента – плід» (Mor & Cardenas, 2010; Soma-Pillay et al., 2016).

Так, зазначається, що у цілому показники клітинного та гуморального імунітету у вагітних із фізіологічним перебігом гестації відповідають нормальним значенням. Пригнічення імунної системи проявляється зниженням абсолютного числа й відносної кількості Т-лімфоцитів. Під час дослідження субпопуляцій Т-клітин встановлене вірогідне зниження кількості клітин обох фракцій: і Т-хелперів, і Т-супресорів. Власне, тому функція Т-клітин, що оцінюється за їх колонієутворюючою активністю і проліферативною відповіддю на стимуляцію антигеном, знижується. Також може бути знижена Т-клітинна цитотоксичність. В-клітинна відповідь і продукція імуноглобулінів теж виявляються пригніченими через зниження кількості В-лімфоцитів (Шамік, 2017). У літературних джерелах показано, що на ранніх термінах вагітності спостерігається зниження імунологічної реактивності за рахунок функціонуючих Т-клітин-супресорів, надалі, навпаки, переважають хелперні механізми імуnoreгуляції. У кінці III триместру імунологічна реактивність організму вагітної відновлюється до рівня здорових невагітних жінок (Савченко та ін., 2018).

В імунології нормальної вагітності вважається, що запальна реакція з продукцією прозапальних цитокінів є необхідною для ініціації імплантації з інвазією трофобласту

та індукцією ангиогенезу; одразу після цих процесів відбувається перемикавання з Th1-типу на Th2-тип імунної відповіді. Іншими словами, за розгортання процесів фізіологічної вагітності антигени трофобласту стимулюють спрямованість локальної цитокінової імунної реакції за Th2-типом і призводять до домінування даного пулу протизапальних цитокінів (Бічевська і Лоскутова, 2012; Казімірко та ін., 2014). Формування плацентарних структур знаходиться під контролем цитокінів, які виробляються переважно активованими клітинами імунної системи і є медіаторами міжсистемних взаємодій та міжклітинних комунікацій за імунної відповіді. Важливим механізмом забезпечення успішного перебігу вагітності та її фізіологічного завершення вважають оптимальний баланс між прозапальними та протизапальними цитокінами, а різні імунні дисфункції часто є причинами розгортання патологічних процесів. Відомо, що Th1-цитокіни призводять до втрати плоду, спричинюють розвиток ендотеліопатії та активацію системи комплементу, а дефіцит Th2-цитокінів призводить до порушень розвитку плаценти та антенатальної загибелі плоду (Запорожан, 2013; Романенко і Ігнатюк, 2013).

Існують дані, що ступінь імунних порушень у жінок за нормального перебігу вагітності може коливатися в межах I-II ступеню (Польова, 2009; Власенко і Єрошенко, 2016). Результати дослідження В.О. Аралової (Аралова, 2019), присвячене встановленню діагностичної значимості імунологічних показників у прогнозуванні невиношування вагітності, свідчать, що до таких ризик-факторів можна віднести: знижений рівень вмісту IgG, підвищення кількості циркулюючих імунних комплексів, ізольованих антитіл, гетерофільних гемолізинів у крові вагітних.

Згідно з літературними джерелами, рівні та характер співвідношення IL-2 та IL-4 у сироватці крові вагітної жінки має величезне прогностичне значення у веденні вагітності та виявленні її патологій. Так, у роботі (Каліновська, Лісова, 2017а) показано, що підвищення вмісту в крові вагітної жінки прозапального IL-2 (цитокіну Th I) і зменшення рівня протизапального IL-4 (цитокіну Th II) є одним із головних факторів формування первинної плацентарної недостатності і порушень у розвитку плоду, що зумовлює народження дітей із патологіями, зокрема з явищами затримки внутрішньоутробного розвитку, гіпотрофією, вну-

трішньоутробною гіпоксією. В основі цього лежать процеси ушкодження ендотеліальних клітин судинної стінки, що спровоковані активним впливом цитокінів на систему гемостазу і проявляються у порушенні проникності та функції капілярів ендотелію та судин плаценти. Під дією IL-2 відбувається гіперпродукція тромбоксану, який провокує судинний спазм та сприяє розвитку ішемії клітин плаценти, що у подальшому призводить до хронічної гіпоксії плоду і затримки його розвитку.

Недостатність фетоплацентарної системи супроводжується розладом її ферментативної та гормональної функцій, що, своєю чергою, є несприятливим чинником і для виношування вагітності, і для формування здорового плоду. Відомо, що регуляція обмінних процесів в організмі вагітної, точніше в системі «мати – плацента – плід», знаходиться під контролем гормонів плаценти і фетоплацентарного комплексу (ФПК) за активної участі гормонів плоду. Головна роль гормональної регуляції гестаційного процесу належить плацентарному лактогену (ПЛ), хоріонічному гонадотропіну (ХГ) та естрадіолу (Е2). Виявлено, що за умов низьких рівнів естрадіолу на початкових етапах вагітності формується функціональна недостатність ФПК, що клінічно проявляється у вигляді загрози переривання вагітності, кровомазання, часткового відшарування хоріона, мимовільного викидня. Низькі рівні Е2 протягом тривалого часу поступово виснажують компенсаторні можливості плаценти та посилюють прояви плацентарної недостатності. Дефіцит ПЛ на ранніх гестаційних термінах проявляється мимовільними викиднями, відмерлими вагітностями, а у II та III триместрах вагітності призводить синдрому затримки розвитку плоду за невідповідністю маси внутрішньоутробного плоду гестаційному терміну. Низькі рівні ХГ на тлі плацентарної недостатності вже на ранніх термінах гестації можуть сприяти реологічним зсувам у міжворсинчастому просторі – утворенню так званих афункційних зон та псевдоінфарктів, що призводять до комплексу ішемічних наслідків для плоду (Каліновська і Лісова, 2017б).

У дослідженні (Бічевська і Лоскутова, 2012) виявлено в анамнезі вагітних із мимовільними викиднями на ранніх термінах виражені ($p < 0,05$) зміни імунологічних індексів, підвищення концентрації ЦК. При загрозах викидня ці зміни були ще більш вираженими порівняно з жінками з нормальним перебі-

гом вагітності: виявлено достовірно вищий рівень сироваткового TNF α (в 1,8 рази), IL-2 (в 1,9 рази) та IL-4 (в 1,37 рази) у сироватці крові. Установлено, що при природних викиднях TNF α бере участь у загибелі ембріону при порушеннях нормального розвитку плідного яйця, ініціюючи індукцію апоптозу. Роль сироваткового IL-2 на ранніх етапах гестації полягає у регуляторному впливі на NK-клітин, під дією чого вони трансформуються у кілери та беруть участь у відторгненні клітин фетального походження. Зростання рівня ЦІК (удвічі при загрози викидня) свідчить про зниження імунологічного захисту та недостатність компенсаторних механізмів організму. На думку авторки, дослідження рівнів прозапальних цитокінів IL-1, IL-2, ФНП- α та протизапальних цитокінів IL-4, IL-10 та ІФН- γ є прогностично значущими для встановлення можливих ускладнень вагітності ще до виникнення клінічних проявів.

У роботі (Польова, 2009) у вагітних жінок із діагностованим туберкульозом легень виявлено суттєвий дефіцит клітин лімфоцитів: зниження як абсолютної (на 53,3%), так і відносної (на 37,5%) їх кількості (порівняно з фізіологічною вагітністю). При цьому, за даними аналізу лейкограм, перебіг вагітності у вказаній категорії осіб відбувався на тлі пониженої неспецифічної (на 83,8%) та імунної (у 3,12 разів) резистентності, а ступінь імунних порушень у більшості досліджуваних жінок характеризувався як III ступінь (50% осіб).

У роботі (Романенко і Ігнатюк, 2013) продемонстровано незначні відмінності за показниками клітинної ланки імунної системи (загальної кількості лейкоцитів та лімфоцитів) протягом усього періоду гестації між вагітними групи високого ризику щодо плацентарної дисфункції порівняно з вагітними без соматичних ускладнень. Проте в даній групі жінок встановлено достовірне зниження рівнів Т-лімфоцитів (CD3+) та відсоткового вмісту Т-хелперів (CD4+) та Т-супресорів (CD8+) порівняно з даними групи-контролю, що було більш виражене у популяції CD8+-клітин ($p < 0,05$). Останнє зумовило превалювання стимулюючого впливу CD4+, що відобразилося у підвищених рівнях В-лімфоцитів (CD19+). Дана імунна картина (Т-лімфопенія, зниження рівня Т-хелперів, відносно підвищення субпопуляції Т-клітин-супресорів) у жінок із високим ризиком інфікування показана і в інших роботах (Шамік, 2017).

Висока функціональна активність В-лімфоцитів створює в організмі передумови для більшої інтенсивності імунної відповіді шляхом підвищеного продукування антитіл, що визнано імунологами сприятливим тлом для розвитку автоімунних реакцій. Тому стан гіперфункції В-клітин може впливати на АПК трофобласта і стан локального імунного балансу в фетоплацентарному комплексі, призводити до нездатності підтримувати метаболічний гомеостаз і, як наслідок, до зриву адаптаційних можливостей системи «мати – плацента – плід», особливо на тлі високого інфекційного ризику у матері (TORCH-інфекції, хронічні запальні процеси нирок і органів сечостатевої системи, репродуктивні втрати в анамнезі тощо). Також зазначено, що як протягом нормальної вагітності, так і на тлі інфекційних ризиків відбуваються зміни титрів основних класів імуноглобулінів: підвищення концентрації IgG на тлі деякого зменшення концентрації IgA. Причому ступінь дизімуноглобулінемії посилюється протягом гестації, особливо наприкінці III триместру і здебільшого у жінок з інфекційними ризиками. Установлено, що негативна динаміка вмісту Т-хелперів, NK-клітин та В-лімфоцитів протягом вагітності найчастіше передують післяпологовим ускладненням, що потребує додаткової уваги з боку лікарів-акушерів (Романенко і Ігнатюк, 2013; Шамік, 2017).

Висновки

Аналіз літературних джерел свідчить про збільшення випадків патологій вагітності, зокрема перинатального періоду, а також про поширеність пологових та післяпологових ускладнень, що зумовлює важливість моніторингу як рівня репродуктивного здоров'я жінок фертильного віку, так і перебігу вагітності, дослідження причин та проявів патологій гестаційного періоду.

Процес фізіологічної вагітності супроводжується специфічними змінами абсолютної та відносної кількості імунокомпетентних клітин. Загалом у жінок із фізіологічним перебігом вагітності встановлені лейкоцитоз та лімфопенія, що стають більш вираженими в разі патологічного перебігу. У лейкоцитарній формулі вагітних (у нормі та при патологіях) значних змін зазнає показник вмісту нейтрофілів: виявлено значне зростання рівнів паличкоядерних і сегментоядерних нейтрофілів.

Вагітність із погляду імунології – це унікальний стан, що виникає як результат

утворення єдиної функціональної системи «мати – дитина» та характеризується модулюючими взаємовпливами організму вагітної жінки та плоду. Ступінь імунних порушень у жінок за нормальної вагітності може коливатися в межах I–II ступенів, у разі ускладнень перебігу чи супутніх патологій імунні дисфункції здатні погіршити загальний стан здоров'я вагітної та вплинути на розвиток плоду. Сьогодні домінує думка, що для вагітності характерним є загальний стан пригнічення Т-клітинної ланки системного імунітету (особливо Т-хелперної субпопуляції), що, однак, не є ознакою імунологічної слабкості. На ранніх термінах спостерігається зниження імунологічної реактивності за рахунок функціонуючих Т-супресорів, у подальшому переважають хелперні механізми імунорегуляції. Разом із формуванням Т-лімфопенії протягом гестаційного періоду відбувається зростання кількості ЦК, зміни балансу прозапального IL-2 і протизапального IL-4 цитокінів, компенсаторно підвищується рівень В-лімфоцитів. Відбуваються зміни титрів основних класів імуноглобулінів – підвищується концентрація Ig G. Загалом Ig-профіль вагітних часто

супроводжується дисімуноглобулінеміями різного ступеня вираженості.

На тлі формування вагітності як специфічного функціонального стану організму, що потребує значних метаболічних витрат та змін регуляторних механізмів, особливо небезпечними є супутні захворювання вагітної, що можуть призводити до зриву адаптаційних механізмів вагітної та погіршення здоров'я, ускладнення перебігу вагітності з підвищеними ризиками мимовільних абортів, невиношування вагітності, передчасних пологів, порушень у розвитку плода (фізичні патології, затримки психофізичного розвитку). До ризик-факторів відносять анемії, ЗДА, хронічні запальні та інфекційні хвороби, метаболічні хвороби, а також імунні порушення. Зважаючи на значний внесок імунної компоненти у патогенез багатьох хвороб, вивчення імунних показників на тлі вагітності є важливим діагностичним та прогностичним критерієм стану здоров'я вагітної жінки, особливостей перебігу даного стану, а в загальному сенсі – важливим для розроблення стратегій зниження частоти материнської і перинатальної захворюваності та смертності й пошуку ефективніших практик.

Список використаної літератури

- Акушерство та гінекологія : національний підручник / за ред. проф. В. М. Запорожана. Київ : Медицина, 2013. С. 186–188.
- Анчева І. А. Клінічна епідеміологія анемії вагітності на Півдні України: ретроспективне дослідження. *Вісник проблем біології і медицини*. 2013. Т. 2. № 3. С. 112–114.
- Аралова В. О. Діагностична значущість імунологічних показників у прогнозуванні невиношування вагітності. *Kharkiv international annual scientific meeting 2019* : наук.-практ. конфер. студентів, молодих вчених та лікарів, м. Харків, 30–31 травня 2019 р. Харків: Харківський національний медичний університет, 2019. С. 36–37.
- Бакун О. В., Колодзінська Л. Ф., Патраш С. В. Залізодефіцитна анемія вагітних. *Сучасні тенденції у медичних та фармацевтичних науках* : зб. тез наук. робіт учасників міжнар. наук.-практ. конфер., 5–6 грудня 2014 р. Київ : ГО «Київський медичний науковий центр», 2014. С. 103–105.
- Бала О. О., Бенюк В. О., Ковалюк Т. В. Роль гематологічних індексів у діагностиці завмерлої на ранніх термінах вагітності. *Здоров'я жінки*. 2016. № 4(110). С. 128–130.
- Бічевська Р. Г., Лоскутова І. В. Інформативність біохімічних та імунологічних показників у прогнозуванні невиношування вагітності у жінок із хронічною патологією гепатобіліарної системи. *Український медичний альманах*. 2012. Т. 15. № 2. С. 24–27.
- Власенко С. А., Єрошенко О. В. Адаптаційні зміни окремих складових гомеостазу за вагітності. *Науковий вісник ветеринарної медицини*. 2016. № 1(127). С. 5–10.
- Григорова Н. В., Кузьміна М. А., Лічкус А. Т. Картина крові у вагітних жінок Запорізького регіону. *Актуальні питання біології, екології та хімії*. 2011. № 1. С. 31–36.
- Пирогова В. І., Голота О. Ю., Голота Л. І., Козловський І. В. Ефективність селективної профілактики дефіциту заліза у жінок із загрозою невиношування вагітності. *Актуальні питання педіатрії, акушерства та гінекології*. 2015. № 2. С. 144–146.
- Жук С. І., Пехньо Т. В., Бикова О. Г. Залізодефіцитна анемія вагітних. *Здоров'я жінки*. 2014. № 8(94). С. 62–64.

Іванченко С. В., Аралова В. О. Питання й проблеми діагностики та лікування залізодефіцитної анемії вагітних. *Східноєвропейський журнал внутрішньої та сімейної медицини*. 2019. № 2. С. 101–104.

Імунологія фізіологічної вагітності / Н. К. Казімірко та ін. *Молодий вчений*. 2014. № 3(06). С. 132–138.

Калиниченко І. О., Калиниченко Д. О. Стан репродуктивного здоров'я жінок раннього фертильного віку (на прикладі Сумської області). *Молодий вчений*. 2020. № 2(78). С. 250–256.

Каліновська І. В., Лісова К. М. Особливості імунологічного статусу у вагітних із невиношуванням та проявами плацентарної дисфункції. *Сучасні погляди на актуальні питання теоретичної, експериментальної та практичної медицини* : матер. міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 15–16 грудня 2017 р. Одеса: ГО «Південна фундація медицини», 2017. С. 37–40.

Каліновська І. В., Лісова К. М. Рівень показників гормонів фетоплацентарного комплексу у вагітних із плацентарною недостатністю на тлі невиношування. *Сучасні погляди на актуальні питання теоретичної, експериментальної та практичної медицини* : матер. міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 15–16 грудня 2017 р. Одеса : ГО «Південна фундація медицини», 2017. С. 41–45.

Лоскутова Т. Особливості перебігу вагітності та пологів у жінок із невиношуванням вагітності асоційованим зі спадковими тромбофіліями. *Grail of Science*. 2023. № 25. С. 457–463.

Польова С. П., Бажора Ю. І., Малетич О. Д. Порушення імунної системи у вагітних, хворих на туберкульоз. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2009. Т. 8. № 1. С. 59–63.

Романенко Т. Г., Ігнатюк Т. М. Особливості імунного гомеостазу у вагітних групи високого інфекційного ризику. *Здоров'я жінки*. 2013. № 1. С. 135–138.

Сайт статистичних даних Центру громадського здоров'я МОЗ України. [Електронний ресурс]. URL: <http://medstat.gov.ua/ukr/statdan.html> (дата звернення: 06.04.2023).

Савченко С. Є., Коломійченко Т. В., Гервазюк О. І. Особливості стану імунної системи у віл-інфікованих вагітних. *Збірник наукових праць Асоціації акушерів-гінекологів України*. 2018. № 1(41). С. 113–139.

Фецик Т. Г., Цисар Ю. В. Сучасний погляд на проблему загрози передчасних пологів у вагітних з анемією (огляд літератури). *Медичний форум*. 2022. № 25(25). С. 62–65.

Шамік Е. В. Особливості імунного статусу при вагітності. *Одеський медичний журнал*. 2017. № 1(99). С. 65–68.

Anderson H. L., Brodsky I. E., Mangalmurti N. S. The Evolving Erythrocyte: Red Blood Cells as Modulators of Innate Immunity. *Journal of Immunology*. 2018. № 201(5). pp: 1343–1351. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1800565>.

The Effect of Sepsis on the Erythrocyte / R. M. Bateman, M. D. Sharpe, M. Singer, C. G. Ellis. *International Journal of molecular sciences*. 2017. № 18 (9). p. 1932. <https://doi.org/10.3390/ijms18091932>.

Red Blood Cells Homeostatically Bind Mitochondrial DNA through TLR9 to Maintain Quiescence and to Prevent Lung Injury / Hotz M.J. et al. *American Journal of respiratory and critical care medicine*. 2018. № 197 (4). pp: 470–480. <https://doi.org/10.1164/rccm.201706-1161OC>.

Moderate to Severe Thrombocytopenia During Pregnancy: A Single Institutional Experience / Kim B.J. et al. *Indian J Hematol Blood Transfus*. 2017. № 33(4). pp: 581–585. <https://doi.org/10.1007/s12288-017-0784-1>.

Mor G., Cardenas I. The immune system in pregnancy: a unique complexity. *Am J Reprod Immunol*. 2010. № 63(6). pp: 425–433. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2010.00836.x>.

Pascual Z. N., Langaker M. D. Physiology, Pregnancy. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559304/> (дата звернення 06.04.2023)

Physiological changes in pregnancy / P. Soma-Pillay, C. Nelson-Piercy, H. Tolppanen, A. Mebazaa. *Cardiovascular journal of Africa*. 2016. № 27 (2). pp.: 89–94. <https://doi.org/10.5830/CVJA-2016-021>.

References (translated & transliterated)

Zaporozhana, V. M. (Eds.). (2013). *Akusherstvo ta hinekolohiia* [Obstetrics and gynecology]. Kyiv: VSV «Medytsyna» [in Ukrainian].

Zhuk, S. I., Pekhno, T. V., & Bykova, O. H. (2014). *Zalizodefitsytna anemiia vahitnykh* [Iron deficiency anemia of pregnant women]. *Zdorovia zhinky* [Women's health], 8(94), 62–64 [in Ukrainian].

Ancheva, I. A. (2013). Klinichna epidemiolohiia anemii vahitnosti na pivdni Ukrainy: retrospektyvne doslidzhennia [Clinical epidemiology of anemia of pregnancy in the south of Ukraine: a retrospective study]. *Visnyk problem biolohii i medytsyny [Visnyk problem biolohiyi i medytsyny]*, 2(3), 112–114 [in Ukrainian].

Aralova, V. O. (2019). Diahnostychna znachushchist imunolohichnykh pokaznykiv u prohnozuvanni nevyynoshuvannia vahitnosti [Diagnostic significance of immunological indicators in predicting miscarriage]. *Naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, molodykh vchenykh ta likariv «Kharkiv international annual scientific meeting»* 36–37 [in Ukrainian]

Bakun, O. V., Kolodzinska, L. F., & Patrash, S. V. (2014). Zalizodefitsytna anemiia vahitnykh [Iron deficiency anemia of pregnant women]. *Suchasni tendentsiyi u medychnykh ta farmatsevtychnykh naukakh : Zb. tez nauk. robit uchasnykiv mizhnar. nauk.-prakt. konfer., 5–6 hrudnya 2014 r. [Modern trends in medical and pharmaceutical sciences: Collection. theses of sciences works of the participants of the international science and practice conference, December 5–6, 2014]*. Kyiv: Hromadska orhanizatsiia «Kyivskiyi medychnyi naukovyi tsentr» (103–105) [in Ukrainian].

Bala, O. O., Beniuk, V. O., & Kovaliuk, T. V. (2016). Rol hematolohichnykh indeksiv u diahnostytsi zavmerloi na rannikh terminakh vahitnosti [The role of hematological indices in the diagnosis of frozen in early pregnancy]. *Zdorov'ia zhinky [Women's health]*, 4(110), 128–130 [in Ukrainian].

Bichevska, R. H., & Loskutova, I. V. (2012). Informatyvni biokhimichnykh ta imunolohichnykh pokaznykiv v prohnozuvanni nevyynoshuvannia vahitnosti u zhinok z khronichnoiu patolohiieiu hepatobiliarnoi systemy [Informativeness of biochemical and immunological indicators in predicting miscarriage in women with chronic pathology of the hepatobiliary system]. *Ukrainskyi medychnyi almanakh [Ukrainian medical almanac]*, 15(2), 24–27 [in Ukrainian].

Vlasenko, S. A., & Yeroshenko, O. V. (2016). Adaptatsiini zminy okremykh skladovykh homeostazu za vahitnosti [Adaptive changes of individual components of homeostasis during pregnancy]. *Naukovyi visnyk veterynarnoi medytsyny: zbirnyk naukovykh prats [Scientific Bulletin of Veterinary Medicine: Collection of Scientific Papers]*, 1(127), 5–10 [in Ukrainian].

Hryhorova, N. V., Kuzmina, M. A., & Lichkus, A. T. (2011). Kartyna krovi u vahitnykh zhinok Zaporizkoho rehionu [Blood pattern in pregnant women of the Zaporizhzhia region]. *Aktualni pytannia biolohii, ekolohii ta khimii [Current issues of biology, ecology and chemistry]*, 1, 31–36 [in Ukrainian].

Pyrohova V. I., Holota O. Iu., Holota L. I., & Kozlovskiyi I. V. (2015). Efektyvnist selektyvnoi profilaktyky defitsytu zaliza u zhinok iz zahrozoiu nevyynoshuvannia vahitnosti [Effectiveness of selective prevention of iron deficiency in women at risk of miscarriage] *Aktualni pytannia pediatrii, akusherstva ta hinekolohii [Current issues of pediatrics, obstetrics and gynecology]*, 2, 144–146 [in Ukrainian].

Ivanchenko, S. V., & Aralova, V. O. (2019). Pytannia y problemy diahnostyky ta likuvannia zalizodefitsytnoi anemii vahitnykh [Issues and problems of diagnosis and treatment of iron deficiency anemia in pregnant women]. *Skhidnoevropeiskiyi zhurnal vnutrishnoi ta simeinoi medytsyny [Eastern European Journal of Internal and Family Medicine]*, 2, 101–104 [in Ukrainian].

Kazimirko, N. K., Akimova, O. Ye., Zavatskiy, V. Yu., Poliakov, A. S., & Tatarenko, D. P. (2014). Imunolohiia fiziolohichnoi vahitnosti [Immunology of physiological pregnancy]. *Molodyi vchenyi [A young scientist]*, 3(06), 132–138 [in Ukrainian].

Kalynyuchenko, I. O., & Kalynyuchenko, D. O. (2020). Stan reproduktyvnoho zdorov'ia zhinok rannoho fertylnoho viku (na prykladi Sumskoi oblasti) [State of reproductive health of women of early childbearing age (on the example of Sumy region)]. *Molodyi vchenyi [A young scientist]*, 2(78), 250–256 [in Ukrainian].

Kalinovska, I. V., & Lisova, K. M. (2017). Osoblyvosti imunolohichnoho statusu u vahitnykh z nevyynoshuvanniam ta proiavamy platsentarnoi dysfunktsii [Peculiarities of immunological status in pregnant women with miscarriage and manifestations of placental dysfunction]. Proceedings from: *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Suchasni pohliady na aktualni pytannia teoretychnoi, eksperymentalnoi ta praktychnoi medytsyny» [Modern views on topical issues of theoretical, experimental and practical medicine: Mater. between birth science and practice conf]*. Odesa: HO «Pivdenna fundatsiia medytsyny». 37–40 [in Ukrainian].

Kalinovska, I. V., & Lisova, K. M. (2017). Riven pokaznykiv hormoniv fetoplasentarnoho kompleksu u vahitnykh z platsentarnoiu nedostatnistiu na tli ne vynoshuvannia [The level of indicators of fetoplacental complex hormones in pregnant with placental insufficiency against the background of non-carrying]. Proceedings from: *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia*

«Suchasni pohliady na aktualni pytannia teoretychnoi, eksperymentalnoi ta praktychnoi medytsyny» [Modern views on topical issues of theoretical, experimental and practical medicine: Mater. between birth science and practice conf]. Odesa: HO «Pivdenna fundatsiia medytsyny» 41–45 [in Ukrainian].

Loskutova, T. (2023). Osoblyvosti perebihu vahitnosti ta polohiv u zhinok iz nevyvynoshuvanniam vahitnosti asotsiiovanyim zi spadkovymy trombofiliiami [Peculiarities of the course of pregnancy and childbirth in women with miscarriage associated with hereditary thrombophilias]. *Grail of Science*, 25, 457–463 [in Ukrainian].

Polova, S. P., Bazhora, Yu. I., & Maletych, O. D. (2009). Porushennia imunnoi systemy u vahitnykh, khvorykh na tuberkuloz [Disorders of the immune system in pregnant women with tuberculosis]. *Klinichna ta eksperymentalna patolohiia [Clinical and experimental pathology]*, 8(1), 59–63 [in Ukrainian].

Romanenko, T. H., & Ihnatiuk, T. M. (2013). Osoblyvosti imunnoho homeostazu u vahitnykh hrupy vysokoho infektsiinoho ryzyku [Peculiarities of immune homeostasis in pregnant women of the high infectious risk group]. *Zdorovia zhinky [Women's health]*, 1, 135–138 [in Ukrainian].

Sait statystychnykh danykh Tsentru hromadskoho zdorovia MOZ Ukrainy (2023). [Website of statistical data of the Public Health Center of the Ministry of Health of Ukraine.]. [Electronic resource] URL: <http://medstat.gov.ua/ukr/statdan.html> (access date 06.04.2023) [in Ukrainian].

Savchenko, S. Ie., Kolomiichenko, T. V., & Hervaziuk, O. I. (2018). Osoblyvosti stanu imunnoi systemy u vil-infikovanykh vahitnykh [Peculiarities of the state of the immune system in HIV-infected pregnant women]. *Zbirnyk naukovykh prats asotsiatsii akusheriv-hinekolohev Ukrainy [Collection of scientific works of the Association of Obstetricians and Gynecologists of Ukraine]*, 1(41), 113–139 [in Ukrainian].

Fetsyk, T. H., & Tsysar, Yu. V. (2022). Suchasnyi pohliad na problemu zahrozy peredchasnykh polohiv u vahitnykh z anemiieiu (ohliad literatury) [A modern view of the problem of the threat of premature birth in pregnant women with anemia (literature review)]. *Medychnyi forum [Medical forum]*, 25, 62–65 [in Ukrainian].

Shamik, E. V. (2017). Osoblyvosti imunnoho statusu pry vahitnosti [Peculiarities of immune status during pregnancy]. *Odeskyi medychnyi zhurnal [Odesa Medical Journal]*, 1(99), 65–68 [in Ukrainian].

Anderson, H. L., Brodsky, I. E., & Mangalmurti, N. S. (2018). The Evolving Erythrocyte: Red Blood Cells as Modulators of Innate Immunity. *Journal of Immunology*, 201(5), 1343–1351. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.1800565> [in English].

Bateman, R. M., Sharpe, M. D., & Singer, M., et al. (2017). The Effect of Sepsis on the Erythrocyte. *International journal of molecular sciences*, 18(9), 1932. <https://doi.org/10.3390/ijms18091932> [in English].

Hotz, M. J., Qing D., & Shashaty, M. G., et al. (2018). Red Blood Cells Homeostatically Bind Mitochondrial DNA through TLR9 to Maintain Quiescence and Prevent Lung Injury. *American Journal of Respiratory and critical care medicine*, 197(4), 470–480. <https://doi.org/10.1164/rccm.201706-1161OC> [in English].

Kim, B. J., Kim, H. S., & Kim, J. H., et al. (2017). Moderate to Severe Thrombocytopenia During Pregnancy: A Single Institutional Experience. *Indian J Hematol Blood Transfus*, 33(4), 581–585. <https://doi.org/10.1007/s12288-017-0784-1> [in English].

Mor, G., & Cardenas, I. (2010). The immune system in pregnancy: a unique complexity. *Am J Reprod Immunol*, 63(6), 425–433. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2010.00836.x> [in English].

Pascual, Z. N., & Langaker, M. D. (2022). Physiology, Pregnancy. In: *StatPearls*: StatPearls Publishing. [Electronic resource] URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559304/> (access date 06.04.2023) [in English].

Soma-Pillay, P., Nelson-Piercy, C., & Tolppanen, H., et al. (2016). Physiological changes in pregnancy. *Cardiovascular Journal of Africa*, 27 (2), 89–94. <https://doi.org/10.5830/CVJA-2016-021> [in English].

Отримано: 03.05.2023
Прийнято: 24.05.2023



УДК 616.1

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.3>

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ МОНОЦИТІВ ЗА ХРОНІЧНОЇ СЕРЦЕВОЇ НЕДОСТАТНОСТІ

Н. Г. Ліпкан¹, О. Б. Кучменко²

Патогенез хронічної серцевої недостатності пов'язаний із різними причинами, і запалення є одним із найважливіших чинників, що сприяють розвитку стану. Моноцити присутні в крові, інфільтрують тканини та беруть участь у про- та протизапальних процесах, впливаючи на ремоделювання міокарда з часом. Метою дослідження є вивчення функціонального стану моноцитів за хронічної серцевої недостатності. У дослідження було включено 149 пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю віком від 18 до 75 років, які перебували на стаціонарному лікуванні у відділенні серцевої недостатності ДУ «ННЦ «Інститут кардіології ім. акад. М.Д. Стражеска» НАМН України протягом 2020–2022 рр. Пацієнти були розділені на підгрупи залежно від наявності фібриляції передсердь, стадії серцевої недостатності, функціонального класу, фракції викиду лівого шлуночка, давності захворювання та діагнозу. Інтенсивність внутрішньоклітинного кисень-залежного метаболізму моноцитів вивчали в реакції відновлення нітросинього тетразолію (НСТ-тест) з урахуванням коефіцієнта активації, який відповідає їхнім резервним можливостям і визначається як співвідношення між спонтанним та індукованим пірогеналом (10 мкг/мл) НСТ-тестами. У загальній групі пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю відбувалося підвищення активності моноцитів ($p < 0,05$) та зниження коефіцієнту активації ($p < 0,05$). При цьому активність моноцитів зростала з давністю захворювання. Найбільше зростання активності моноцитів спостерігається у пацієнтів, що мали ішемічну хворобу серця та гіпертонічну хворобу, а найменше – у пацієнтів з ішемічною хворобою серця, але без гіпертонічної хвороби. У пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю в усіх досліджуваних підгрупах показники спонтанного та індукованого НСТ-тесту були дуже близькими та достовірно не відрізнялися між собою, що може свідчити про значну активацію моноцитів у цих пацієнтів та зниження їхніх резервних можливостей. Ці зміни сприятимуть поглибленню запального процесу та виснаженню

¹ аспірантка кафедри біології

(Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)
молодший науковий співробітник

(ДУ «Національний науковий центр «Інститут кардіології, клінічної та регенеративної медицини імені академіка М. Д. Стражеска Національної академії медичних наук України», м. Київ)

e-mail: lipkannaira@ukr.net

ORCID: 0009-0008-1923-0435

² доктор біологічних наук, професор,

завідувач кафедри біології

(Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)

e-mail: kuchmenko1978@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3021-8583

компенсаторних можливостей організму у цих пацієнтів, що призводитиме до прогресування патологічного процесу.

Ключові слова: активність моноцитів, НСТ-тест, хронічна серцева недостатність, ішемічна хвороба серця, гіпертонічна хвороба.

FEATURES OF FUNCTIONAL STATE OF MONOCYTES IN CHRONIC HEART FAILURE

N. G. Lipkan, O. B. Kuchmenko

Chronic heart failure pathogenesis is associated with various causes, and inflammation is one of the most important factors promoting the condition. In addition, monocytes, a group of cells present in the blood and infiltrating tissues, are known to participate in both pro- and anti-inflammatory processes and thus affect myocardial remodeling over time. The purpose of the study was to study the functional state of monocytes in chronic heart failure. The study included 149 patients with chronic heart failure, aged 18 to 75 years, who were undergoing inpatient treatment in the Heart Failure Department of the National Scientific Center "Institute of Cardiology named after Academician M.D. Strazheska of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine" during 2020-2022. Patients were divided into subgroups based on the presence of atrial fibrillation, stage of heart failure, functional class, left ventricular ejection fraction, duration of disease, and diagnosis. The intensity of the intracellular oxygen-dependent metabolism of monocytes was studied in the nitroblue tetrazolium reduction reaction (NBT-test) taking into account the activation coefficient, which corresponds to their reserve capabilities and is defined as the ratio between spontaneous and pyrogenal-induced (10 µg/ml) NBT-tests. In the general group of patients with chronic heart failure, there was an increase in the activity of monocytes ($p < 0,05$) and a decrease in the activation coefficient ($p < 0,05$). At the same time, the activity of monocytes increased with the age of the disease. The greatest increase in monocyte activity is observed in patients with coronary heart disease and hypertension, and the least in patients with coronary heart disease but without hypertension. In patients with chronic heart failure of all studied subgroups, the indicators of spontaneous and induced NBT-test were very close and did not differ significantly from each other, which may indicate a significant activation of monocytes in these patients and a decrease in their reserve capacity. These changes will contribute to the deepening of the inflammatory process and depletion of compensatory capabilities of the body in these patients, which will lead to the progression of the pathological process.

Key words: monocyte activity, NBT-test, chronic heart failure, coronary heart disease, hypertension.

Вступ

Серцева недостатність (СН) протягом останніх десятиріч у світі перетворилася на серйозну медичну, соціальну та економічну проблему. Сьогодні найбільшу розповсюдженість має нейрогормональна концепція виникнення та прогресування хронічної серцевої недостатності (ХСН) (Zhang et al., 2017; Paulus & Zile, 2021; Schiattarella et al., 2023). Проте дослідження останнього десятиліття свідчать про складніший генезис патологічних процесів, які лежать в основі структурно-функціональних порушень за серцевої недостатності. Відповідно до сучасних уявлень, нова концепція розвитку ХСН засновується на уявленнях про активацію імунної відповіді та системне запалення, які, своєю чергою, є предикторами високого ризику виникнення серцево-судинних порушень та несприятливого прогнозу (Dutka et al., 2020; Lu et al., 2021). Моноцити

та макрофаги складають у кровотворній системі унікальну лінію – систему мононуклеарних фагоцитів, або макрофагальну систему. Мононуклеарні фагоцити беруть участь у забезпеченні неспецифічного захисту організму шляхом фагоцитозу, секреції гуморальних факторів (лізоциму, інтерферонів, фактору некрозу пухлин, компонентів комплементу тощо). Важливою функцією моноцитів/макрофагів є мікробіцидна, яка опосередковується багаточисельними ефекторними молекулами, зокрема монокінами, лізосомальними ензимами, активними формами кисню, які чинять токсичну дію на зовнішню оболонку і внутрішньоклітинні компоненти мікроорганізмів та пухлинних клітин. Мікробіцидна функція моноцитів/макрофагів реалізується через «дихальний або метаболічний вибух». Моноцити/макрофаги є важливими клітинами імунної відповіді організму, при цьому їхні основні

функції полягають в ендоцитозі, переробці антигенів та представленні їх Т-хелперами. Моноцити також фагоцитують імунні комплекси і продукти руйнування тканин, сприяючи видаленню їх з організму. Отже, мононуклеарні фагоцити є ключовими клітинами в ініціації та регуляції імунної відповіді, у реалізації неспецифічної резистентності організму, регуляції гемопоезу (Mesquita et al., 2021; Grushko et al., 2022).

Метою дослідження є вивчення функціонального стану моноцитів за ХСН.

Матеріал і методи

У дослідження було включено 149 пацієнтів із ХСН віком від 18 до 75 років, які перебували на стаціонарному лікуванні у відділенні серцевої недостатності ДУ «ННЦ «Інститут кардіології ім. акад. М.Д. Стражеска» НАМН України протягом 2020–2022 рр. Початком спостереження вважали дату первинної госпіталізації. Серед досліджуваних було 113 чоловіків (75,8%) та 36 жінок (24,2%). Досліджувана група включала в себе переважно хворих з ішемічною хворобою серця (ІХС) у поєднанні з гіпертонічною хворобою (ГХ) – 101 особа (67,8%), пацієнтів із дилатційною кардіоміопатією (ДКМП) – 48 осіб (32,2%). Інфаркт міокарда в минулому перенесли 45 пацієнтів (30,2%). Постійна форма фібриляції передсердь спостерігалася у 55 обстежених (36,9%). Синусовий ритм зберігався у 94 хворих (63,1%). II функціональний клас (ФК) за NYHA мали 35 пацієнтів (23,5%), III ФК – 84 пацієнта (56,4%), IV ФК – 30 пацієнтів (20,1%). Середній вік пацієнтів становив 55 (48–63) років. Групу контролю становили 20 практично здорових осіб відповідних віку та статі. Пацієнти були розділені на підгрупи залежно від наявності фібриляції передсердь (ФП), стадії ХСН, ФК, фракції викиду (ФВ) лівого шлуночка, давності захворювання та діагнозу.

Клінічний діагноз установлювався відповідно до чинних рекомендацій Європейського товариства кардіологів на основі збору анамнестичних даних, фізикального обстеження, даних лабораторно-інструментальних методів обстеження: загальноклінічних аналізів, ехокардіографії, електрокардіографії, рентгенографії органів грудної порожнини. Діагноз ІХС установлювали згідно із загальноприйнятими клінічними критеріями (наявність стенокардії та/або задокументований перенесений інфаркт міокарду та/або дані коронароангіографії, ехокардіографії, велоергометрії); діагноз ДКМП – за критеріями ВООЗ

після виключення інших причин дисфункції серця, згідно з рекомендаціями з діагностики, лікування та профілактики серцевої недостатності Європейського товариства кардіологів та рекомендаціями Асоціації кардіологів України.

Критеріями включення пацієнтів у дослідження були: 1) вік від 18 до 75 років; 2) наявність ХСН ІА–ІІІ стадій за критеріями М.Д. Стражеска – В.Х. Василенка та Українського наукового товариства кардіологів; 3) ІІ–ІV ФК ХСН відповідно до критеріїв Нью-Йоркської асоціації серця (NYHA); 4) наявність систолічної дисфункції (величина фракції викиду 45% та нижче за даними ехокардіографії).

Критерії невключення: 1) ХСН як наслідок клапанних вад, запальних захворювань серця; 2) ФВ лівого шлуночка вище 45%; 3) вік більше 75 років; 4) гостра ішемічна хвороба серця; 5) перенесений інсульт або транзиторна ішемічна атака давністю < 6 міс.; 6) онкологічні захворювання; 7) гострі інфекційні захворювання.

Інтенсивність внутрішньоклітинного кисень-залежного метаболізму моноцитів (Мц) вивчали в реакції відновлення нітросинього тетразолію (НСТ-тест) з урахуванням коефіцієнта активації (К.акт.), який відповідає їхнім резервним можливостям і визначається як співвідношення між спонтанним та індукованим пірогеналом (10 мкг/мл) НСТ-тестами (Park et al., 1968). Під час взаємодії тетразолієвого синього з активними радикалами кисню в клітинах утворюються темно-сині гранули формагану, інтенсивність забарвлення яких залежить від кількості кисневих радикалів. Моноцити отримували з плазми крові (стабілізованої гепарином 25 од/мл).

За матеріалами дослідження проведена статистична обробка з використанням методів непараметричного аналізу. Статистичний аналіз проводився з використанням програми Statistica 12. Для перевірки нормального розподілу використовувалися критерії Шапіро – Уїлка, Колмогорова – Смірнова з поправкою Ліллієфорса. Для масиву даних із розподілом, відмінним від нормального, розраховували медіану (Me) для оцінки центральної тенденції розподілу, нижній і верхній квартилі (25–75%). Для виявлення статистичної значущості відмінностей між показниками незалежних груп із непараметричним розподілом значень проводили за допомогою непараметричних *H*-критерію Краскела –

Уолліса та *U*-критерію Манна – Уїтні. Для всіх процедур статистичного аналізу вважали статистично значущим рівень $p < 0,05$.

Результати та обговорення

У результаті проведених досліджень було продемонстровано достовірне зростання величини показника спонтанного тесту відновлення нітросинього тетразолію в моноцитах пацієнтів із ХСН в 2,1 рази порівняно з групою практично здорових осіб (табл. 1).

Під час поділу пацієнтів на підгрупи залежно від наявності фібриляції передсердь, стадії СН, ФК, фракції викиду величина цього показника також зростає в 1,9–2,1 рази порівняно з групою практично здорових осіб. У підгрупі пацієнтів із ХСН залежно від давності захворювання величина цього показника зростала відповідно зі зростанням терміну. Так, за давності захворювання менше 12 місяців спостерігалось зростання в 1,75 рази,

Таблиця 1

Функціональна активність моноцитів у пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю

Показники		НСТ Мц сп., %	НСТ Мц інд., %	К акт.
Практично здорові особи		8,0 7,0–11,0	16,0 15,0–22,0	1,38 1,22–1,50
Пацієнти з ХСН		17,0 * 12,0–22,0	19,0 13,0–26,0	1,20 * 0,91–1,40
Пацієнти з ХСН залежно від наявності ФП	синусовий ритм	17,0 * 12,0–21,0	19,0 13,0–27,0	1,22 * 0,91–1,44
	ФП	15,0 * 12,5–23,0	18,5 14,0–25,5	1,13 * 0,90–1,38
Пацієнти залежно від стадії СН	СН2А	16,0 * 12,0–20,0	21,0 14,0–27,0	1,33 1,06–1,50
	СН2В+СН3	17,0 * 14,0–23,0	19,0 13,0–26,0	1,15 * 0,88–1,36
Пацієнти з ХСН залежно від ФК	ФК II	16,0 * 12,0–20,0	21,0 12,0–27,0	1,32 0,82–1,50
	ФК III+ ФК IV	17,0 * 12,0–22,0	19,0 14,0–26,0	1,16 * 0,91–1,38
Пацієнти з ХСН залежно від ФВ	≤ 25%	17,0 * 13,0–22,5	20,5 14,0–26,0	1,24 * 1,02–1,40
	26-35%	17,0 * 11,0–20,0	17,0 14,0–23,0	1,17 * 0,80–1,40
	≥ 36%	15,0 * 12,0–22,0	18,5 10,0–27,0	1,15 * 0,92–1,35
Пацієнти з ХСН залежно від давності захворювання	< 12 міс.	14,0 * 10,0–19,0	16,0 10,0–23,0	1,20 * 0,75–1,45
	12-24 міс.	15,5 * 12,0–22,0	16,5 14,0–28,5	1,21 * 0,92–1,42
	24-48 міс.	18,0 * # 13,0–23,0	22,0* # 14,0–27,0	1,17 * 0,91–1,35
	48-120 міс.	19,0 * # 16,0–22,0	22,0* # 17,0–27,0	1,18 * 1,0–1,36
Пацієнти з ХСН залежно від діагнозу	ДКМП	15,0 * 10,0–20,0	17,0 13,0–23,0	1,26 0,91–1,50
	ІХС з ГХ	17,5 * 14,0–23,0	21,0* & 14,0–27,0	1,16 * 0,95–1,38
	ІХС без ГХ	14,0 * 10,0–20,0	14,0 \$ 10,0–25,0	1,18 * 0,71–1,33

Примітки: * – вірогідні відмінності ($p < 0,05$) порівняно з групою практично здорових осіб; † – вірогідні відмінності ($p < 0,05$) порівняно з пацієнтами з СН2А; # – вірогідні відмінності ($p < 0,05$) порівняно з пацієнтами із СН давністю < 12 міс.; & – вірогідні відмінності ($p < 0,05$) порівняно з пацієнтами з ДКМП; \$ – вірогідні відмінності ($p < 0,05$) порівняно з пацієнтами з ІХС із ГХ

12–24 місяці – в 1,9 рази, 24–48 місяців – у 2,25 рази, 48–120 місяців – у 2,4 рази порівняно з групою практично здорових осіб. При цьому у пацієнтів із давністю захворювання 24–48 місяців і 48–120 місяців величина достовірно вища за величину показника у пацієнтів із давністю захворювання менше 12 місяців. У пацієнтів із ДКМП величина цього показника в 1,9 разів вища за контрольну групу; у пацієнтів із ІХС та ГХ – зростала в 2,2 рази, а у пацієнтів із ІХС без ГХ – у 1,75 рази.

Разом із цим величина показника індукованого тесту відновлення нітросинього тетразолію в моноцитах у загальній групі пацієнтів із ХСН та більшості підгруп мала тенденцію до зростання (табл. 1). Лише у пацієнтів із ХСН давністю 24–48 місяців та 48–120 місяців величина цього показника достовірно зростала порівняно з групою практично здорових осіб та порівняно з групою пацієнтів із ХСН давністю менше 12 місяців. Також достовірно зростання цього показника спостерігалось у підгрупі пацієнтів із ІХС та ГХ (порівняно з контрольною групою та групою пацієнтів із ДКМП). У підгрупі пацієнтів із ІХС без ГХ величина цього показника було меншою порівняно з групою контролю та підгрупами пацієнтів із ДКМП і ІХС із ГХ.

Слід зазначити, що показники спонтанного НСТ-тесту в усіх підгрупах, які досліджувалися, були менші у середньому на 2,72% порівняно з показниками індукованого НСТ-тесту. Порівняно з контрольними показниками показники спонтанного НСТ-тесту в усіх пацієнтів із ХСН були більші у середньому на 3,1%. Показники індукованого НСТ-тесту в усіх пацієнтів із ХСН були більші у середньому на 2,68% порівняно з практично здоровими особами. Максимальна різниця в показниках спонтанного та індукованого НСТ-тестів спостерігалась між підгрупою пацієнтів зі стадією СН2А та підгрупою ФК II та становила 5%. Між показниками спонтанного та індукованого НСТ-тестів у підгрупі пацієнтів залежно від ФВ 26–35% та підгрупі пацієнтів ІХС без ГХ різниці не було. Показники спонтанного НСТ-тесту можуть бути маркерами процесів порушення гомеостазу та імунореактивності організму, а показники індукованого НСТ-тесту – маркерами генералізованого патологічного процесу.

Величина коефіцієнта активації достовірно знижувалась у загальній групі пацієнтів із ХСН на 13% порівняно з групою прак-

тично здорових осіб (табл. 1). У всіх інших підгрупах (за винятком підгрупи пацієнтів із СН2А, ФКII та ДКМП) також спостерігалось достовірне зниження величини цього показника на 10–18% порівняно з групою контролю. Максимальне зниження коефіцієнта активації спостерігалось у пацієнтів із ХСН СН2В+СН3, із ФП, фракцією викиду понад 36%, ІХС та ГХ.

Патогенез серцево-судинних захворювань включає як хронічне запалення низької градації, так і гостре запалення, що виникає на тлі гострого коронарного синдрому. Початкове резидуальне і хронічне запалення низької градації виникає як відповідь на порушення механізмів запалення, що часто спостерігається у людей із факторами ризику метаболічних дефектів, включаючи ожиріння, діабет і гіпертонію (Halade & Lee, 2022). На ранніх стадіях розвитку серцевої недостатності наявність системного запалення може призводити до індукції ендотеліальної дисфункції, сприяючи, таким чином, інвазії прозапальних клітин, таких як моноцити, у тканину серця та зростанню жорсткості міокарда (Mongirdienė & Liobikas, 2022).

Важливою характеристикою функції гранулоцитів є оцінка їхньої фагоцитарної активності. Її зниження може бути результатом як недостатності опсонізуючих факторів сироватки, так і дефектів самих клітин (порушення рухової та метаболічної активності вродженого або набутого характеру) (Shymanskyu et al., 2016).

Тест із нітросинім тетразолієм використовується для виявлення так званих активованих гранулоцитів і моноцитів. В основі активації фагоцитів лежить різке зростання окислювальних реакцій. Результати спонтанного НСТ-тесту вказують на кількість активованих клітин. Результати індукованого НСТ-тесту дають уяву про здатність досліджуваних клітин (нейтрофілів, моноцитів) до активації *in vitro*. Цей тест слід проводити за зниження спонтанних НСТ-позитивних клітин для виявлення наявності або відсутності окислювального метаболізму (Желіба і Богачук, 2018; Ломаковський та ін., 2013).

У дослідженні (Гавриленко та ін., 2008) показано, що під час вивчення метаболічної активності моноцитів у НСТ-тесті у пацієнтів із ХСН та інсулінорезистентністю виявлене зниження показників спонтанного та індукованого тестів порівняно з контрольними величинами та зниження функціонального резерву клітин.

У іншому дослідженні (Коваленко та ін., 2009) не було продемонстровано достовірних змін у функціонуванні моноцитів у пацієнтів із кардіомегалією різного генезу.

У результаті власних досліджень показано, що в загальній групі пацієнтів із ХСН відбувалося підвищення функціональної активності моноцитів у 2,1 рази ($p < 0,05$) у спонтанному НСТ-тесті по відношенню до групи практично здорових осіб. Показник індукованого НСТ-тесту також зростав на 19%. При цьому коефіцієнт активації, що характеризує функціональний резерв клітин, знижувався на 13% ($p < 0,05$). Спонтанний НСТ-тест розглядають як показник функціонального стану фагоцитуючих клітин *in vivo*, тоді як індукований НСТ-тест у присутності стимулятора характеризує потенційну активність даних клітин до завершення фагоцитозу, а саме киснезалежної фази.

Індукований НСТ-тест за своїми показниками вище спонтанного НСТ-тесту у пацієнтів усіх груп, що може свідчити про збереження фагоцитарної функції клітин. Індукований НСТ-тест у пацієнтів практично всіх досліджуваних груп має тенденцію до зростання порівняно з контрольною групою (на 16–28%), що може свідчити про незначну активацію процесів синтезу активних форм кисню. У пацієнтів із ХСН давністю 24–48 місяців та 48–120 місяців активність моноцитів у спонтанному НСТ-тесті зростає найбільше (у 2,25 і 2,4 рази відповідно, $p < 0,05$). При цьому спостерігається значне зростання активності моноцитів у індукованому НСТ-тесті (на 38%, $p < 0,05$), що може свідчити про значну активацію цих клітин із часом розвитку захворювання. Звертає на себе увагу той факт, що у пацієнтів, що мали ІХС та ГХ, спостерігається найбільше зростання активності моноцитів у спонтанному (у 2,2 рази, $p < 0,05$) та індуко-

ваному (на 31%, $p < 0,05$) НСТ-тестах порівняно з пацієнтами з іншими діагнозами. Найменша активація моноцитів у спонтанному (у 1,75 рази, $p < 0,05$) та індукованому (на 13 %, $p < 0,05$) НСТ-тестах спостерігалася у пацієнтів із ІХС, але без ГХ. Причому величини спонтанного та індукованого НСТ-тестів у них не відрізнялися.

Слід зазначити, що в групі практично здорових осіб величини спонтанного та індукованого НСТ-тестів відрізнялися у два рази. Водночас у пацієнтів із ХСН усіх досліджуваних груп ці величини були дуже близькими та достовірно не відрізнялися між собою, що може свідчити про значну активацію моноцитів у цих пацієнтів та зниження їхніх резервних можливостей. Ці зміни сприятимуть підтримці запалення низької градації в організмі, що, своєю чергою, призводитиме до прогресування патологічного процесу.

Таким чином, дослідження показників спонтанного та індукованого НСТ-тестів на тлі хронічної серцевої недостатності дають додаткову інформацію про патофізіологічні процеси, які характерні для зазначеної патології. НСТ-тест дає додаткову маркерну інформацію про перебіг патологічних процесів.

Висновки

НСТ-тест є діагностичним критерієм, який дає змогу судити про неспецифічну реактивність організму та успішність лікування. Активація кисень-залежного метаболізму (зростання величини показника НСТ-тесту) може свідчити як про посилення окисно-відновних процесів у клітинах та певний антибактеріальний їхній потенціал, так і про поглиблення запального процесу аутогенного походження. Це може призводити до виснаження компенсаторних можливостей організму, зростання циркулюючих імунних комплексів та розвитку аутоімунних процесів у цих пацієнтів.

Список використаної літератури

- Інсулінорезистентність та імунне запалення у пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю. Т. І. Гавриленко та ін. *Український медичний часопис*. 2008. № 4. С. 37–41.
- Желіба М. Д., Богачук М. Г. Результати цитогістохімічного дослідження нейтрофільних гранулоцитів у хворих із гнійно-запальними захворюваннями м'яких тканин на тлі цукрового діабету II типу. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2018. Т. 22. № 3. С. 468–470.
- Прояви аутоімунізації та її взаємозв'язок із функціональною здатністю мононуклеарних клітин у хворих із кардіомегалією різного генезу. В. М. Коваленко та ін. *Український ревматологічний журнал*. 2009. № 4. С. 48–56.
- Ломаковський О. М., Гавриленко Т. І., Лутай М. І., Підгайна О. А. Зміни функціональної активності імунної системи та ліпідного обміну впродовж тривалого спостереження пацієнтів

з ішемічною хворобою серця та стабільною стенокардією. *Український ревматологічний журнал*. 2013. № 4. С. 61–66.

Dutka M., Bobinski R., Ulman-Wlodarz I., Hajduga M., Pajak C., Cwiertnia M. Various aspects in inflammation in heart failure. *Heart Failure Reviews*. 2020. 25. P. 537–548.

Grushko O. G., Cho S., Tate A. M. Glycocalyx Disruption Triggers Human Monocyte Activation in Acute Heart Failure Syndromes. *Cardiovasc Drugs Ther*. 2022. P. 195.

Halade G. V., Lee D. H. Inflammation and resolution signaling in cardiac repair and heart failure. *EBioMedicine*. 2022. № 79. P. 103992.

Lu Y., Xia N., Cheng X. Regulatory T Cells in Chronic Heart Failure. *Front Immunol*. 2021. № 12. P. 732794.

Mesquita T., Lin Y.-N., Ibrahim A. Chronic low-grade inflammation in heart failure with preserved ejection fraction. *Aging Cell*. 2021. № 20. P. e13453.

Mongirdienė A., Liobikas J. Phenotypic and Functional Heterogeneity of Monocyte Subsets in Chronic Heart Failure Patients. *Biology (Basel)*. 2022. № 11(2). P. 195.

Park B. H., Fikrig S. M., Smithwick E. M. Infection and nitroblue-tetrazolium reduction by neutrophils. A diagnostic acid. *Lancet*. 1968. № 2(7567). P. 532–534.

Paulus W. J., Zile M. R. From systemic inflammation to myocardial fibrosis: the HFPEF paradigm revisited. *Circ. Res*. 2021. № 128(10). P. 1451–1467.

Schiattarella G. G., Rodolico D., Hill J. A. Metabolic inflammation in heart failure with preserved ejection fraction. *Cardiovascular Research*. 2021. № 117. P. 423–434.

Shymanskyi I. O., Lisakovska O. O., Mazanova A. O., Riasniy V. M., Veliky M. M. Effects of vitamin D3 and vitamin E on prednisolone-induced alterations of phagocyte function. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2016. № 20(7). P. 1379–1383.

Zhang Y., Bauersachs J., Langer H. F. Immune mechanisms in heart failure. *European Journal of Heart Failure*. 2017. № 19. P. 1379–1389.

References (translated & transliterated)

Havrylenko, T. I., Kornilina, O. M., Yakushko, L. V., Besaga, E. N., & Tkach, N. O. (2008). Insulinorezystentnist ta imune zapalennia u patsientiv iz khronichnoiu sertsevoiu nedostatnistiu [Insulin resistance and immune self-elimination in heart failure]. *Ukrainskyi medychnyi chasopys [Ukrainian medical journal]*, 4, 37-41 [in Ukrainian]

Zheliba, M. D., & Bogachuk, M. G. (2018). Rezultaty tsytohistsokhimichnoho doslidzhennia neutrofilnykh hranulotsytiv u khvorykh z hniino-zapalnymy zakhvoriuvanniamy miakykh tkanyn na tli tsukrovoho diabetu 2 typu [Results of a cytohistochemical study of neutrophil granulocytes in patients with purulent-inflammatory diseases of soft tissues against the background of type 2 diabetes]. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho medychnoho universytetu [Bulletin of the Vinnytsia National Medical University]*, 22, 3, 468–470. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22\(3\)-14](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2018-22(3)-14) [in Ukrainian].

Kovalenko, V. M., Havrylenko, T. I., Yakushko, L. V., Ryabenko, D. V., Ryzhkova, N. O., & Pidhayna, O. A. (2009). Proiavy autoimunizatsii ta yii vzaïmozv'язok iz funktsionalnoiu zdattistiu mononuklearnnykh klityn u khvorykh iz kardiomegaliiieu riznoho henezu [Manifestations of autoimmunization and its relationship with the functional capacity of mononuclear cells in patients with cardiomegaly of various genesis]. *Ukrainskyi revmatolohichnyi zhurnal [Ukrainian Journal of Rheumatology]*, 4, 48–56 [in Ukrainian].

Lomakovsky, O. M., Havrylenko, T. I., Lutay, M. I., & Pidhayna, O. A. (2013). Zminy funktsionalnoi aktyvnosti imunnoi systemy ta lipidnoho obminu vprodovzh tryvalooho sposterezhennia patsientiv iz ishemichnoiu khvoroboiu sertsia ta stabilnoiu stenokardiieiu [Changes in the functional activity of the immune system and lipid metabolism during long-term follow-up of patients with coronary heart disease and stable angina pectoris]. *Ukrainskyi revmatolohichnyi zhurnal [Ukrainian Journal of Rheumatology]*, 4, 61–66 [in Ukrainian].

Dutka, M., Bobinski, R., Ulman-Wlodarz, I., Hajduga, M., Pajak, C., & Cwiertnia, M. (2020). Various aspects in inflammation in heart failure. *Heart Failure Reviews*. 25. 537–548. <https://doi.org/10.1007/s10741-019-09875-1> [in English].

Grushko, O. G., Cho, S., & Tate, A. M. (2022). Glycocalyx Disruption Triggers Human Monocyte Activation in Acute Heart Failure Syndromes. *Cardiovasc Drugs Ther*. <https://doi.org/10.1007/s10557-022-07390-4> [in English].

Halade, G. V., & Lee, D. H. (2022). Inflammation and resolution signaling in cardiac repair and heart failure. *EBioMedicine*, 79, 103992. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.103992> [in English].

Lu, Y., Xia, N., & Cheng, X. (2021). Regulatory T Cells in Chronic Heart Failure. *Front Immunol*, 12, 732794. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.732794> [in English].

Mesquita, T., Lin, Y.-N., & Ibrahim, A. (2021). Chronic low-grade inflammation in heart failure with preserved ejection fraction. *Aging Cell*, 20, e13453. <https://doi.org/10.1111/ace1.13453> [in English].

Mongirdienė, A., & Liobikas, J. (2022). Phenotypic and Functional Heterogeneity of Monocyte Subsets in Chronic Heart Failure Patients. *Biology (Basel)*, 11(2), 195. <https://doi.org/10.3390/biology11020195> [in English].

Park, B. H., Fikrig, S. M., & Smithwick, E. M. (1968). Infection and nitroblue-tetrazolium reduction by neutrophils. A diagnostic acid. *Lancet*, 2(7567), 532–534. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(68\)92406-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(68)92406-9) [in English].

Paulus, W. J., & Zile, M. R. (2021). From systemic inflammation to myocardial fibrosis: the HFPEF paradigm revisited. *Circ. Res*, 128(10), 1451–1467. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.121.318159> [in English].

Schiattarella, G. G., Rodolico, D., & Hill, J. A. (2021). Metabolic inflammation in heart failure with preserved ejection fraction. *Cardiovascular Research*, 117, 423–434. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa217> [in English].

Shymanskyi, I. O., Lisakovska, O. O., Mazanova, A. O., Riasniy, V. M., & Veliky, M. M. (2016). Effects of vitamin D3 and vitamin E on prednisolone-induced alterations of phagocyte function. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 20(7), 1379–1383 [in English].

Zhang, Y., Bauersachs, J., & Langer, H. F. (2017). Immune mechanisms in heart failure. *European Journal of Heart Failure*, 19, 1379–1389 <https://doi.org/10.1002/ejhf.942> [in English].

Отримано: 09.05.2023

Прийнято: 29.05.2023



УДК 573

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.4>

ОСОБЛИВОСТІ ГІСТОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ПЕЧІНКИ КАРАСЯ СРІБЛЯСТОГО РІЧКИ САМАРА (ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ОБЛАСТЬ)

К. А. Машкова¹, Т. С. Шарамок²

Одним із найбільш показових методів впливу несприятливих чинників навколишнього середовища на організм риб сьогодні є дослідження структурно-функціональних змін у його тканинах. Зокрема, зміни у гістологічній структурі гепатопанкреасу у відповідь на дію різних стресових чинників можуть проявлятися, наприклад, у вигляді жирової дистрофії, деструкції тканин, некрозу. Дані зміни можуть бути використані як біомаркери і показують чутливість організму риби до чинників навколишнього середовища.

Уперше було проведено дослідження гістологічної структури та виявлено патології тканин гепатопанкреасу карася сріблястого (*Carassius gibelio*) річки Самара Дніпропетровської області. Узагальнені результати досліджень отримували протягом 2019–2021 рр. Дослідження проводили в межах Новомосковського району Дніпропетровської області. Для вивчення було вибрано три дослідні ділянки вздовж акваторії річки Самара, що мали різний характер антропогенного впливу.

Об'єктом дослідження були шестирічні особини карася сріблястого обох статей. Визначення віку риби проводилося по лусці за загальноприйнятою методикою. Гепатопанкреас отримували від свіжовиколовленої риби шляхом анатомічного розтину. Гістологічні дослідження проводили відповідно до загальноприйнятих методик. Результати гістологічних досліджень показали наявність патологічних змін структури гепатопанкреасу у риб з усіх дослідних точок. Зокрема, було виявлено такі патології, як вакуолізація поодиноких клітин, некроз та жирова дистрофія гепатоцитів, деформація печінкових часточок. Поодинокі фіксували випадки кістозних та пігментних новоутворень, геморагічних інфільтратів, наявність ацентричних ядер. Найчастіше гістопатологічні зміни структури гепатопанкреасу спостерігали у риб поблизу м. Новомосковськ.

Одержані дані про гістологічні зміни у структурі гепатопанкреасу риб можуть бути використані для виявлення механізмів адаптації до впливу антропогенних чинників на гідробіонтів, а також дадуть можливість здійснити моніторинг стану певної популяції в умовах антропогенного тиску.

Ключові слова: карась сріблястий, гепатоцити, гепатопанкреас, патології гепатоцитів.

¹ аспірант кафедри загальної біології та водних біоресурсів
(Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро)
e-mail: tonks1511@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2986-4895

² кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри загальної біології та водних біоресурсів
(Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро)
e-mail: sharamok@i.ua
ORCID: 0000-0003-3523-5283

FEATURES OF THE HISTOLOGICAL STRUCTURE THE LIVER OF CARASSIUS GIBELIO BY SAMARA RIVER (DNIPROPETROVSK REGION)

K. A. Mashkova, T. S. Sharamok

One of the most revealing methods of the influence of adverse environmental factors on the body of fish today is the study of structural and functional changes in its tissues. In particular, changes in the histological structure of the hepatopancreas in response to the action of various stress factors can manifest, for example, in the form of fatty dystrophy, tissue destruction, necrosis. These changes can be used as biomarkers and show the sensitivity of the fish body to environmental factors.

For the first time it was study the histological structure and pathologies of the tissue structure of the hepatopancreas the prussian carp (Carassius gibelio) of the Samara River of the Dnipropetrovsk region.

The generalized research results were obtained during 2019–2021. The research was conducted within Novomoskovskiy district of Dnipropetrovsk region. Three research areas along the water area of the Samara River were chosen for the study, which had a different nature of anthropogenic influence. The object of the study were six-year-old silver crucian carp of both sexes. Determining the age of the fish was carried out on the scales according to the generally accepted method. The hepatopancreas was obtained from freshly caught fish by anatomical dissection. Histological studies were performed in accordance with generally accepted methods. The results of histological studies showed the presence of pathological changes in the structure of the hepatopancreas in fish from all experimental points. In particular we were found such pathologies as vacuolization of single cells, dysplasia of hepatocytes, lipoid degeneration, deformation of liver lobules. Single cases of cystic and pigment neoplasms, hemorrhagic infiltrates, and the presence of acentric nuclei were recorded. Most often, histopathological changes in the structure of hepatopancreas were observed in fish caught near the city of Novomoskovsk.

The obtained data on histological changes in the structure of hepatopancreas of fish can be used to identify mechanisms of adaptation to the influence of anthropogenic factors on hydrobionts, and will also provide an opportunity to monitor the condition of a certain population under anthropogenic pressure.

Key words: prussian carp, hepatocytes, hepatopancreas, pathologies of hepatocytes.

Вступ

Важливою галуззю агропромислового сектору України є рибництво, тому актуальним для економіки держави є проведення досліджень фізіологічного стану риб у відповідь на дію негативних чинників навколишнього середовища для ранньої діагностики захворювань із метою попередження значних економічних утрат (Корженевська та ін., 2019).

Відомо, що надходження у водойму токсикантів не лише порушує екологічний баланс системи, а й негативно впливає на біохімічні та фізіологічні процеси в організмі риб (Farombi et al., 2007). Надлишок забруднюючих речовин у водоймі може також призвести до інактивації ферментних систем в організмі, зміни спрямованості та інтенсивності обміну речовин. Окрім того, значний рівень забруднення екосистеми може істотно вплинути на видове різноманіття біоти, серед яких домінуючими стають види, найбільш пристосовані до дії токсикантів (Мельник та ін., 2011).

За даними дослідників, в останнє десятиліття карась сріблястий є домінуючим видом промислової іхтіофауни водойм

Дніпропетровщини. Його частка від загальних виловів становить 55%. Дослідження фізіологічних показників різних видів риб указує на його високі адаптаційні можливості порівняно з іншими представниками класу (Маренков та ін., 2017).

Сьогодні дослідження змін структурно-функціонального стану тканин гепатопанкреасу є одним із найбільш інформативних методів оцінки впливу навколишнього середовища на фізіологічний стан риби. Зміни у його гістологічній структурі у відповідь на дію стресових чинників різного походження можуть проявлятися у вигляді вакуолізації гепатоцитів, жирової дистрофії, деструкції тканин, некрозу тощо. Дані зміни можуть бути використані як біомаркери і показують чутливість організму риби до чинників навколишнього середовища (Шарамок та ін., 2017).

Вивчення гістологічних змін дає можливість на ранніх етапах визначити рівень ушкодження тканин риби агентами бактеріальної, інфекційної або токсикологічної природи. Гістопатологічні дослідження можуть бути використані для ранньої діагностики симптомів захворювання, адже

частина з них іноді не має клінічних проявів (Kurchenko et al., 2021).

Метою роботи було дослідити гістологічну структуру тканин гепатопанкреасу карася сріблястого (*Carassius gibelio*) з погляду наявності патологій відповідно до ділянок із різним типом антропогенного навантаження річки Самара Дніпропетровської області.

Дослідження адаптаційних механізмів природних популяцій риб за впливу несприятливих чинників різного походження може відрізнитися і зумовлене межами стійкості різних видів (Коваленко та ін., 2018). Оскільки дослідження гістологічної структури гепатопанкреасу карася сріблястого річки Самара проводиться вперше, уважаємо дані дослідження актуальними для створення об'єктивної картини фізіологічного стану риби даної водойми.

Матеріал і методи

Дослідження проводили в межах Новомосковського району Дніпропетровської області. Для вивчення було вибрано три дослідні ділянки вздовж акваторії річки Самара, що мали різний характер антропогенного впливу (рис. 1). Зокрема, у с. Хашцеве розташовано бази відпочинку, а вище за течією – фермерське господарство. Оскільки м. Новомосковськ є адміністративним центром району, воно має на своїй території як розгалужену соціальну інфраструктуру, так і промислові підприємства, тому водойма поблизу даної дослідної точки зазнає знач-

ного антропогенного впливу. Ділянка річки Самара у межах с. Новоселівка вважається нами умовно чистою, бо має лише два рекреаційні заклади.

Дослідний матеріал отримували в літньо-осінній період протягом 2019–2021 рр. під час проведення науково-дослідних ловів за допомогою зябрових сіток. Об'єктом дослідження вибрано шестирічних особин карася сріблястого (*Carassius gibelio*) обох статей. Визначення віку риби проводилося по лусці за загальноприйнятою методикою (Арсан та ін., 2006). Для гістологічних досліджень відбирали по 30 особин карася сріблястого.

Гепатопанкреас отримували від свіжовиловленої риби шляхом анатомічного розтину. Для фіксації відбирали фрагменти органу розміром 0,3–0,5 см. Фіксацію матеріалу проводили у 10% розчині формаліну за кімнатної температури впродовж 24 годин. Для проведення заливки матеріалу у парафін. Його зневоднювали у спиртових розчинах за температури 37°C. Гістологічний матеріал перебував у кожному з розчинників протягом двох та чотирьох годин. Потім зразки витримували у насиченому розчині парафін-ксилолу при температурі 54°C протягом однієї години. Робили дві зміни парафіну, витримуючи матеріал у кожній по дві години при температурі 54°C. Зразки заливали у парафінові блоки (Присяжнюк і Онищенко, 2016).

Гістологічні дослідження проводили відповідно до загальноприйнятих методик. Для виявлення гістопатологічних змін у будові тканин гепатопанкреасу у карася сріблястого з різних дослідних точок було розглянуто по 100 полів зору. Фотознімки гістологічних препаратів робили за допомогою цифрової фотокамери SciencelabT5005.17M та мікроскопа Ulab XY-B2TLED.

Для проведення морфометричних вимірів проглядали по 150 гепатоцитів. Нами було визначено такі параметри: площа гепатоцита (S), його великий поздовжній (D клітини) і малий поперечні (d клітини) діаметри, площа ядра гепатоцита (s), його великий поздовжній (D ядра) і малий поперечний (d ядра) діаметри. Вимірювання зразків виконували за допомогою програми ScienceLabView7. Статистичну обробку отриманих даних здійснювали у програмі Microsoft Excel 2010.

Результати та обговорення

Річка Самара є лівою притокою головної водної артерії області – річки Дніпро.

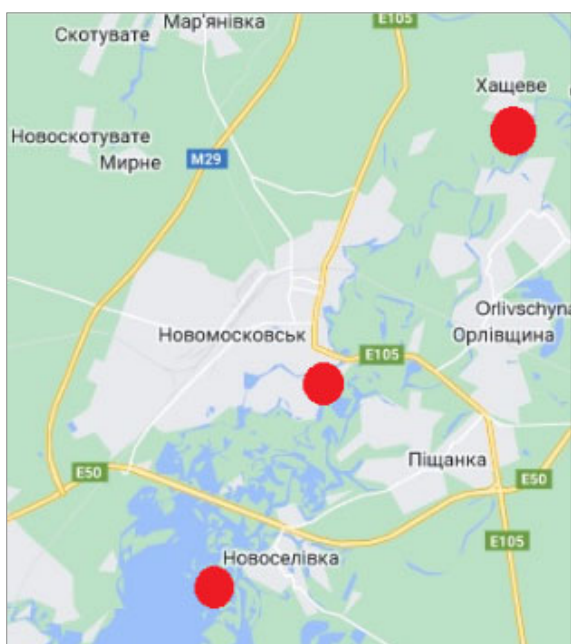


Рис. 1. Місця відбору проб, р. Самара

У зв'язку з розвинутими гірничодобувною, хімічною та металургійною галузями регіону більшість річок Дніпропетровщини потерпає від забруднення.

Відповідно до даних моніторингу, значний рівень впливу промислових та житлово-комунальних скидів призвів до того, що рівень мінералізації річки Самара є вищим за нормативні дані у середньому в три рази. За рівнем мінералізації поверхневої води річки Самара належать до солонуватих, забруднених (Сердюк, 2020; Регіональна..., 2019). Характерним для неї є також високий уміст сульфатів, хлоридів, заліза. Дослідження показали перевищення гранично допустимих концентрацій у воді таких важких металів, як кадмій, мідь, цинк та нікель, що не відповідає нормам для водойм рибогосподарського призначення (Машкова і Шарамок, 2022).

За досить тривалий час відсутні літературні дані щодо впливу зовнішніх чинників на фізіологічний стан карася сріблястого річки Самари. Також немає даних про дослідження гістоструктури гепатопанкреасу риб даного виду у досліджуваній водоймі, тому отримані результати є актуальними.

Для карася сріблястого як представника родини коропових характерним є об'єднання печінки і підшлункової залози в одну структурну одиницю – гепатопанкреас (Kurchenko et al., 2021). Під час візуального морфологічного дослідження гепатопанкреасу карася сріблястого у більшості особин не було виявлено явних проявів аномалій. Гепатопанкреас мав задовільну структуру та колір, ознак паразитарних інвазій виявлено не було.

Дослідження показали, що гепатоцити карася сріблястого було забарвлено у світло-фіолетовий колір, ядра клітин – у синій колір. Стінки судин мали темно-фіолетове забарвлення, еритроцити добре проглядалися.

Аналіз даних показав наявність ознак гіпертрофії деяких гепатоцитів у риби,

виловленої поблизу м. Новомосковськ, порівняно з іншими дослідними точками (табл. 1). Гіпертрофія характеризується збільшенням розміру клітин під час підготовки до мітозу. Проте збільшення розмірів ядра та цитоплазми без зростання плоідності самої клітини є ознакою їх набухання в умовах наявності патологічних процесів (Kurchenko et al., 2021).

Максимальне значення досліджуваних показників було зафіксовано у карася сріблястого, виловленого поблизу м. Новомосковськ. При цьому площа гепатоцитів – на 6,7% та 12,6%, D-клітини – на 0,6% та 5,8%, d-клітини – на 4,3% та 9,2%, площа ядра – на 13,5% та 6,2%, D-ядра – на 8,1% та 3,0%, d-ядра – на 6,5% та 3,7% перевищувала аналогічні значення у с. Хащове та с. Новоселівка відповідно.

Різниця була достовірною в усіх дослідних точках за такими показниками, як площа гепатоциту та площа ядра. За такими показниками, як D- та d-клітини, різниця була достовірною лише для с. Хащове та м. Новомосковськ і с. Новоселівка та м. Новомосковськ. Також різниця була достовірною для показника D-ядра у с. Хащове та м. Новомосковськ. За іншими точками та для показника d-ядра достовірної різниці виявлено не було.

Отримані дані показали, що поблизу с. Новоселівка та с. Хащове зустрічалися риби без гістопатологій гепатопанкреасу, частка яких становила 3,4%. При цьому кількість особин у с. Новоселівка, які мали від 1 до 2 патологій, становила 43,3% (табл. 2).

Відсоток риб, які мали від трьох до п'яти гістопатологій гепатопанкреасу, була найвищою у карася сріблястого поблизу м. Новомосковськ і становила 80,0%, що перевищувало дані значення у с. Хащове та с. Новоселівка відповідно у 1,2 та 1,6 рази. У с. Новоселівка було отримано найменшу кількість риб із трьома (26,7%) та чотирма

Таблиця 1

Морфометричні параметри гепатоцитів карася сріблястого річки Самара

Показники	с. Хащове	м. Новомосковськ	с. Новоселівка
Площа клітини, мкм ²	320,75 ± 5,57 *	343,77 ± 5,53 *	300,51 ± 4,55 *
D клітини, мкм	24,45 ± 0,33 *	24,60 ± 0,32 *	23,16 ± 0,28 *
d клітини, мкм	17,00 ± 0,29 *	17,76 ± 0,28 *	16,11 ± 0,23 *
Площа ядра, мкм ²	17,98 ± 0,37 *	20,81 ± 0,43 *	19,53 ± 0,37 *
D ядра, мкм	5,34 ± 0,15 *	5,81 ± 0,15 *	5,64 ± 0,14
d ядра, мкм	4,26 ± 0,12	4,56 ± 0,12	4,39 ± 0,12

Примітка: * – різниця між показниками вірогідна, $p \leq 0,05$

Таблиця 2

Кількість особин карася сріблястого р. Самара з різною кількістю патологій гепатопанкреасу

Дослідна точка	Кількість особин	Частка риби з патологіями, %			
		Без патологій	1 патологія	2 патології	3 і більше патологій
с. Хащове	30	3,4	6,7	26,6	63,3
м. Новомосковськ	30	-	3,4	16,6	80,0
с. Новоселівка	30	3,4	16,6	46,6	33,4

(6,7%) патологіями тканинної структури гепатопанкреасу.

За забруднення водойми токсичними речовинами у риб досить часто фіксують наявність патологічних змін. Зокрема, під впливом алюмінію спостерігають гіпертрофію гепатоцитів та їхніх ядер, застій крові центральних вен, вакуолізацію цитоплазми, клітинну дегенерацію, пошкодження та зменшення кількості ядер, застій жовчі (Nadi & Alwan, 2021). Окрім того, під дією таких важких металів, як кадмій, мідь, цинк та свинець, можуть спостерігатися жирова дистрофія, некроз та гіперемія синусоїдів (Georgieva et al., 2016).

Також під впливом інфекційних агентів можуть бути виявлені випадки судинного некрозу гепатоцитів, їх вакуалізації та пігментації (Wen et al., 2021). Деякі бактеріальні агенти здатні викликати вакуоліза-

цію та некроз тканин печінки, що пов'язано з утворенням ними токсинів та таких речовин, як гемолізін, протеази та еластази. Окрім некротичних явищ, також можуть спостерігатися застій та геморагічний інфільтрат (Rosidah et al., 2020).

Під час дослідження гістологічної структури гепатопанкреасу карася сріблястого р. Самара було виявлено такі патології у його будові (рис. 2): вакуолізація поодиноких гепатоцитів, некроз, жирова дистрофія гепатоцитів, деформація печінкових часточок. Поодинокі фіксувалися кістозні та пігментні новоутворення, інфільтрація клітин крові.

Оскільки антропогенний вплив на водойму поблизу м. Новомосковськ є комплексним (житлово-комунальні стоки, промислові підприємства, рекреаційні заклади та бази відпочинку, приватний зоопарк,

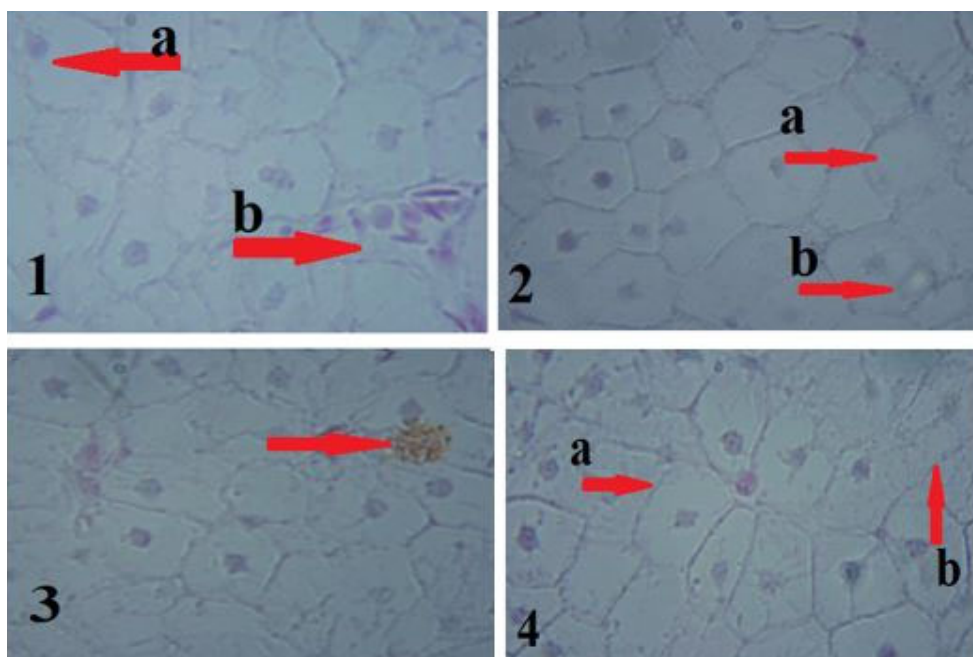


Рис. 2. Гістопатологічні зміни гепатопанкреасу карася сріблястого р. Самара: 1a – ацентричне ядро, 1b – інфільтрація клітин крові; 2a – жирова дистрофія гепатоцитів, 2b – вакуолізація гепатоцитів; 3 – пігментне новоутворення; 4a – деформація печінкових часточок, 4b – осередок некрозу

заклади охорони здоров'я, портова інфраструктура), можливими стають випадки виникнення множинних патологій органів та тканин у риби.

риб спостерігали поблизу м. Новомосковськ. Найменшу частку даних патологій було виявлено у карася сріблястого, отриманого поблизу с. Новоселівка.

Таблиця 3

Частка риби з гістопатологіями гепатопанкреасу, %

Патологія	с. Хащове	м. Новомосковськ	с. Новоселівка
Вакуолізація поодиноких гепатоцитів	30,0	70,0	53,3
Некроз	46,6	46,6	30,0
Жирова дистрофія гепатоцитів	80,0	93,3	73,3
Деформація печінкових часточок	53,3	43,3	26,6
Інфільтрація клітин крові	16,6	26,6	10,0
Кістозні новоутворення	13,3	13,3	3,3
Пігментні новоутворення	13,3	26,6	10,0

Найбільш частою патологією у риби з усіх дослідних ділянок була наявність гепатоцитів із жировою дистрофією. Найчастіше вона зустрічається у риби із м. Новомосковськ і перевищувала даний показник у карася сріблястого із с. Хащове та с. Новоселівка відповідно у 1,2 та 1,3 рази.

Деформацію печінкових часточок частіше фіксували у особин із с. Хащове. Значення даного показника перевищувало аналогічні у карася сріблястого із с. Новоселівка у два рази, а з м. Новомосковськ – у 1,2 рази.

Вакуолізація поодиноких гепатоцитів найчастіше зустрічалася у особин, виловлених поблизу м. Новомосковськ. Цей показник перевищував аналогічний у с. Хащове та с. Новоселівка у 2,3 та 1,3 рази відповідно.

У карася сріблястого, отриманого поблизу м. Новомосковськ та с. Хащове, також фіксували некроз гепатоцитів. Кількість особин із даною патологією перевищувала такий показник у риби із с. Новоселівка у 1,5 рази.

Некроз гепатоцитів є одним із найбільш важких видів патологій. Для нього характерною є втрата гепатоцитом своєї структури через руйнування як внутрішніх структур клітини, так і клітинної мембрани. Наявність даної патології свідчить про сильний негативний тиск навколишнього середовища на організм риби (Kurchenko et al., 2021).

Такі патології, як інфільтрація клітин крові в просвіт печінкових часточок, кістозні та пігментні новоутворення, зустрічалися поодинокі, проте найбільшу кількість таких

Висновки

За результатами морфометричних досліджень гепатоцитів було виявлено ознаки гіпертрофії клітин карася сріблястого, виловленого поблизу м. Новомосковськ, що може бути свідченням негативного впливу на їх організм чинників навколишнього середовища.

Аналіз гістологічних зрізів гепатопанкреасу карася сріблястого дав змогу виявити такі патології, як: вакуолізація поодиноких гепатоцитів, некроз, жирова дистрофія гепатоцитів, деформація печінкових часточок. Поодинокі фіксувалися кістозні та пігментні новоутворення, інфільтрація клітин крові. Найчастіше гістопатологічні зміни гепатопанкреасу спостерігали у риби, виловленої поблизу м. Новомосковськ.

Такі патології, як вакуолізація гепатоцитів, жирова дистрофія, деформація часточок та наявність некротичних осередків, можуть свідчити про значне навантаження на рибу несприятливих чинників. У результаті їхнього впливу можемо спостерігати у досліджуваної риби зниження загальної опірності та адаптаційних процесів організму, що викликає аномальні зміни в будові тканин гепатопанкреасу.

Отримані дані показують ефективність використання оцінки гістологічної структури гепатопанкреасу карася сріблястого як допоміжного біомаркера під час проведення комплексної оцінки впливу антропогенних чинників на фізіологічний стан досліджуваного виду.

Список використаної літератури

Арсан О. М., Давидов О. А., Дьяченко Т. М. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ: ЛОГОС, 2006. С. 400.

Коваленко Ю. О., Примачов М. Т., Потрохов О. С., Зінковський О. Г. Деякі адаптивні реакції карася сріблястого *Sarassius auratus gibelio* (Bloch) за надмірного навантаження амонійним азотом. *Рибогосподарська наука України*. 2018. № 2(44). С. 116–129.

Корженевська П. О., Шарамок Т. С., Мушит С. О. Сезонна динаміка морфофізіологічних показників молоді коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) Таромського рибного господарства. *Рибогосподарська наука України*. 2019. № 3(49). С. 5–15. <https://doi.org/10.15407/fsu2019.03.005>

Маренков О. М., Єсіпова Н. Б., Шмагайло М. О. Наукове обґрунтування рибогосподарської діяльності в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі. *Екологічні науки*. 2022. № 4(43). С. 113–120. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.18>

Машкова К. А., Шарамок Т. С. Аналіз умісту важких металів у воді та м'язах карася сріблястого (*Sarassius gibelio*) річки Самара Дніпропетровської області. *Вісник Сумського аграрного університету. Серія «Агрономія і Біологія»*. 2022. Вип. 2(48). С. 124–130. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.17>

Мельник А. П., Власова Н. М., Захарченко І. Л. Розподіл та накопичення важких металів в органах і тканинах промислових видів риб Каховського водосховища. *Рибогосподарська наука України*. 2011. № 1. С. 74–80.

Присяжнюк Н. М., Онищенко Л. С. Особливості морфології печінки окремих видів трирічок родини корошових. *Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК*. 2016. Т. 4. № 1. С. 198–201.

Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2019 рік. [Електронний ресурс]. URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/605/06f/47b/60506f47bd3cb255698190.pdf> (дата звернення: 06.03.2023).

Сердюк С. М. Особливості антропогенного впливу на води р. Самара. *Матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку меліорації земель»: до дня пам'яті доктора географічних наук, професора О.Ф. Литовченка*. Дніпро: ДДАЕУ, 2020. С. 90.

Шарамок Т.С., Курченко В.О., Колесник Н.А. Гістоморфометрична структура гепатопанкреасу деяких корошових риб (*Cyprinidae rafinesque*, 1810) Запорізького водосховища. *Рибогосподарська наука України*. 2017. № 4. С. 75–84.

Farombi O., Adelowo O., Ajimo Y., Biomarkers of Oxidative Stress and Heavy Metal Levels as Indicators of Environmental Pollution in African Cat Fish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2007/ Vol. 4 (2). P. 158–165. <https://doi.org/10.3390/ijerph2007040011>

Georgieva E., Yancheva V., Velcheva I., Iliev I. Histological and biochemical changes in liver of common carp (*Cyprinus carpio* L.) under metal exposure. *North-Western Journal of Zoology*. 2016. Vol. 12(2).

Hadi A. A., Alwan S. F. Histopathological changes in gills, liver and kidney of fresh water fish, *Tilapia zillii*, exposed to aluminum. *Int. J. of Pharm. & Life Sci. (IJPLS)*. 2021. № 3. P. 2071–2081.

Kurchenko V. O., Sharamok T. S., Holub O. V. The histopathological condition of hepatopancreas of the Prussian carp (*Sarassius gibelio* (Bloch, 1782)) in the modern conditions of the Zaporizhian (Dnipro) reservoir. *World Scientific News*. 2021. Vol. 153(2). P. 181–191.

Rosidah, Maria Dewi Yunita, Isni Nurruhwati, Achmad Rizal. Histopathological changes in gold fish (*Sarassius auratus* (Linnaeus, 1758)) infected by *Aeromonas hydrophila* bacteria with various densities. *World Scientific News*. 2020. Vol. 142. P. 150–168.

Wen, J., Xu, Y., Su, M., Lu, L., Wang, H. Susceptibility of Goldfish to Cyprinid Herpesvirus 2 (CyHV-2) SH01 Isolated from Cultured Crucian Carp. *Viruses*. 2021. Vol. 13. P. 1761. <https://doi.org/10.3390/v13091761>

References (translated & transliterated)

Arsan, O. M., Davydov, O. A., & Diachenko, T. M. (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevnykh vod*. [Methods of hydroecological research of surface waters]. (Romanenko V.D. Eds.). NAN Ukrainy. Instytut Hidrobiologii. Kyiv: LOHOS. 400 [in Ukrainian].

Kovalenko, Yu. O., Prymachov, M. T., Potrokhov, O. S., & Zinkovskyi, O. H. (2018). *Deiaki adaptivni reaktsii karasia sribliastoho Sarassius auratus gibelio (Vloch) za nadmirnoho navantazhennia amoniinym azotom* [Some adaptive reactions of the silver crucian crucian *Sarassius auratus gibelio*

(Bloch) to an excessive load of ammonium nitrogen]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 2(44), 116–129 [in Ukrainian].

Korzhenyeva, P. O., Sharamok, T. S., & Mushyt, S. O. (2019). Sezonna dynamika morfo-fiziologichnykh pokaznykiv molodi koropa luskatoho (Syprinus carpio Linnaeus, 1758) Taromskoho rybnoho hospodarstva [Seasonal dynamics of morpho-physiological indicators of young scaly carp]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 3(49), 5–15. <https://doi.org/10.15407/fsu2019.03.005> [in Ukrainian].

Marenkov, O. M., Yesipova N. B., & Shmahailo, M. O. (2022). Naukove obhruntuvannya rybohospodarskoi diialnosti v Zaporizkomu (Dniprovskomu) vodoskhovyshchi [Scientific justification of fishing activity in the Zaporizhzhya (Dnieper) reservoir]. *Ekologichni nauky [Environmental sciences]*, 4(43), 113–120 <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.18> [in Ukrainian].

Mashkova, K. A., & Sharamok, T. S. (2022). Analiz vmistu vazhkykh metaliv u vodi ta miazakh karasia sribliastoho (Carassius gibelio) richky Samara Dnipropetrovskoi oblasti [Analysis of the content of heavy metals in the water and muscles of silver crucian carp (Carassius gibelio) of the Samara River, Dnipropetrovsk region]. *Visnyk Sumskoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiia i Biologhiia» [Bulletin of the Sumy Agrarian University. "Agronomy and Biology" series]*, 2 (48), 124–130. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.17> [in Ukrainian].

Melnyk, A. P., Vlasova, N. M., & Zakharchenko I. L. (2011). Rozpodil ta nakopychennia vazhkykh metaliv v orhanakh i tkanynakh promyslovykh vydiv ryb Kakhovskoho vodoskhovyshcha [Distribution and accumulation of heavy metals in the organs and tissues of commercial fish species of the Kakhovsk Reservoir]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 1, 74–80 [in Ukrainian].

Prysiashniuk, N. M., & Onyshchenko, L. S. (2016). Osoblyvosti morfolohii pechinky okremykh vydiv tryrichok rodyny koropovykh [Peculiarities of the liver morphology of certain species of three-year-olds of the carp family]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten NDTs biobezpeky ta ekolohichnoho kontroliu resursiv APK [Scientific and technical bulletin of the NDC of biosafety and ecological control of agricultural resources]*, 4(1), 198–201 [in Ukrainian].

Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Dnipropetrovskii oblasti za 2019 rik [Regional report on the state of the natural environment in the Dnipropetrovsk region for 2019]. [Electronic resource] URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/605/06f/47b/60506f47bd3cb255698190.pdf> (access date 06.03.2023) [in Ukrainian].

Serdiuk, S. M. (2020). Osoblyvosti antropohennoho vplyvu na vody r. Samara [Peculiarities of anthropogenic impact on the waters of the Samara River]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku melioratsii zemel»: do dnia pam'iaty doktora heohrafichnykh nauk, profesora O.F. Lytovchenka [Materials of the international scientific and practical Internet conference «Current state and prospects for the development of land reclamation»: to the day of memory of the Doctor of Geographical Sciences, Professor O.F. Lytovchenka]*. Dnipro: DDAEU [in Ukrainian].

Sharamok, T. S., Kurchenko, V. O., & Kolesnyk, N. L. (2017). Histo-morfometrychna struktura hepatopankreasu deiakykh koropovykh ryb (Syprinidae rafinesque, 1810) Zaporizkoho vodoskhovyshcha [Histo-morphometric structure of the hepatopancreas of some carp fish (Syprinidae rafinesque, 1810) of the Zaporizhzhia Reservoir]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*, 4, 75–84 [in Ukrainian].

Farombi, O., Adelowo, O., & Ajimo, Y. (2007). Biomarkers of Oxidative Stress and Heavy Metal Levels as Indicators of Environmental Pollution in African Cat Fish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 4(2), 158–165. <https://doi.org/10.3390/ijerph2007040011> [in English].

Georgieva, E., Yancheva, V., Velcheva, I., & Iliev, I. (2016). Histological and biochemical changes in liver of common carp (*Cyprinus carpio* L.) under metal exposure. *North-Western Journal of Zoology*, 12 (2) [in English].

Hadi, A. A., & Alwan, S. F. (2021). Histopathological changes in gills, liver and kidney of fresh water fish, *Tilapia zillii*, exposed to aluminum. *Int. J. of Pharm. & Life Sci. (IJPLS)*, 3, 2071–208 [in English].

Kurchenko, V. O., Sharamok, T. S., & Holub, O. V. (2021). The histopathological condition of hepatopancreas of the Prussian carp (*Carassius gibelio* (Bloch, 1782)) in the modern conditions of the Zaporizhian (Dnipro) reservoir. *World Scientific News*, 153(2), 181–191 [in English].

Rosidah, Maria Dewi Yunita, Isni Nurruhwati, Achmad Rizal. (2020). Histopathological changes in gold fish (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758)) infected by *Aeromonas hydrophila* bacteria with various densities. *World Scientific News*. 142, 150-168 [in English].

Wen, J., Xu, Y., Su, M., Lu, L., & Wang, H. (2021). Susceptibility of Goldfish to Cyprinid Herpesvirus 2 (CyHV-2) SH01 Isolated from Cultured Crucian Carp. *Viruses*. 13. 1761. <https://doi.org/10.3390/v13091761> [in English].

Отримано: 08.05.2023

Прийнято: 17.05.2023



УДК 595.76

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.5>

БІОЦЕНОТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ ВИДІВ РОДИНИ MELYRIDAE (COLEOPTERA) В УМОВАХ ЗАКАРПАТСЬКОЇ НИЗОВИНИ

В. Г. Рошко¹, Л. М. Фельбаба-Клушина², О. С. Кондратенко³, І. А. Матківський⁴

У роботі проаналізовано біоценотичний розподіл твердокрилих родини *Melyridae* в умовах Закарпатської низовини. Загалом на Закарпатській низовині виявлено 26 видів із цієї родини, що належать до двох підродин, десяти родів. Більшість видів жуків-мелірид є типовими хортобіонтами, деякі види – тамнобіонтами. З огляду на те, що ця група твердокрилих входить до складу лучних та лісових угруповань комах і види родини є в них типовими компонентами, жуки-меліриди можуть слугувати індикаторами стійкості природних лучних та лучно-чагарникових екосистем. Саме тому вивчення складу угруповань жуків-мелірид та їх біоценотичного розподілу є актуальним у контексті формування цілісного уявлення про функціонування природних екосистем. У межах Закарпатської низовини твердокрилі родини *Melyridae* поширені в різноманітних біоценозах, зокрема у ценозах суходільних лук, заплавних лук із лучно-болотною рослинністю, у широколистяних низинних лісових ценозах, у раритетних ценозах лісів Клиновецької та Юлівської гір (масив Карпатського біосферного заповідника), в антропотрансформованих ценозах (злакові агроценози, сади, виноградники), а також на приуслівих ділянках річок та озер.

За результатами досліджень найбільш чисельними видами з підродини *Malachiinae* в умовах Закарпатської низовини є *Malachius bipustulatus* (Linnaeus, 1758) та *Axinotarsus marginalis* (Laporte de Castelnau, 1840), із підродини *Dasytinae* – *Dolichosoma lineare* (Rossi, 1792). Рідкісними видами є представники *Malachiinae* – *Clanoptilus affinis* (Ménétriés, 1832) та *Attalus analis* (Panzer,

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
професор кафедри ентомології та збереження біорізноманіття
(Ужгородський національний університет, м. Ужгород)
e-mail: volodymyr.roshko@uzhnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9080-3664

² доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри ботаніки
(Ужгородський національний університет, м. Ужгород)
e-mail: lyubov.felbaba-klushyna@uzhnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4891-4229

³ аспірант кафедри ентомології та збереження біорізноманіття
(Ужгородський національний університет, м. Ужгород)
e-mail: oleksii.kondratenko@uzhnu.edu.ua
ORCID: 0009-0007-1129-3346

⁴ аспірант кафедри ентомології та збереження біорізноманіття
(Ужгородський національний університет, м. Ужгород)
e-mail: ivan.matkivskyy@uzhnu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-9952-6026

1796), які зустрічаються на суходільних луках і в дубових лісах Закарпатської низовини відповідно. Розрахунок індексу біорізноманіття Шеннона засвідчує, що найбільш різноманітними в умовах регіону є угруповання суходільних лук (значення – 2,10), а індекс Маргалефа як показник видового багатства також є найвищим для цих же біоценозів – 3,17. Мінімальні значення індексів Шеннона (0,69) та Маргалефа (0,31) розраховані для прибережних біоценозів, що, вочевидь, пояснюється незначною кількістю видів (лише два) та низькою чисельністю особин цих видів.

Ключові слова: фауна, Coleoptera, угруповання жуків, біотопічне поширення, екологічні особливості, Карпати.

BIOCENOTIC DISTRIBUTION OF SPECIES OF THE MELYRIDAE FAMILY (COLEOPTERA) IN THE CONDITIONS OF THE TRANSCARPATHIAN LOWLAND

V. H. Roshko, L. M. Felbaba-Klushyna, O. S. Kondratenko, I. A. Matkivskyi

The paper analyzes the biocenotic distribution of the Melyridae beetles in the conditions of the Transcarpathian lowland. In total, 26 species of this family belonging to two subfamilies and ten genera were found in the region. Most species of melirid beetles are typical hortobionts, some species are thamnobionts. Considering the fact that this group of Coleoptera is a part of meadow and forest insect communities, and species of the family are typical components in them, melirid beetles can serve as indicators of stability of natural meadow and meadow-shrub ecosystems. That is why the study of the community composition of melirid beetles and their biocenotic distribution is relevant in the context of forming a holistic view of the natural ecosystems functioning. Within the territory of the Transcarpathian lowland the Melyridae family is widespread in various biocenoses, in particular, in the coenoses of terrestrial meadows, floodplain meadows with meadow-swamp vegetation, in broad-leaved lowland forest coenoses, in rare forest coenoses of the Klynovetska and Yulivska mountains (massive of the Carpathian Biosphere Reserve), in anthropotransformed cenoses as cereal agrocenoses, orchards, vineyards, as well as in riverbed areas of rivers and lakes. According to research results, the most numerous species of subfamily Malachiinae in the conditions of the Transcarpathian lowland are *Malachius bipustulatus* (Linnaeus, 1758) and *Axinotarsus marginalis* (Laporte de Castelnau, 1840), of subfamily Dasytinae is *Dolichosoma lineare* (Rossi, 1792). Rare species are representatives of Malachiinae: *Clanoptilus affinis* (Ménétriés, 1832) and *Attalus analis* (Panzer, 1796), which are found in dry meadows and in oak forests of the Transcarpathian lowland, respectively. The calculation of Shannon's biodiversity index proves that the most diverse communities of the region are communities of terrestrial meadows (index value 2.10), and the Margalef index, as an indicator of species richness, is also the highest for the same biocenoses: 3.17. The minimum values of the Shannon (0.69) and Margalef (0.31) indices were calculated for coastal biocenoses, which is obviously explained by the small number of species (only 2) and the low number of specimens of these species.

Key words: fauna, Coleoptera, beetles' communities, biotopic distribution, ecological features, Carpathians.

Вступ

Різноманітність кліматичних умов, рельєфу та рослинності Закарпатської низовини визначає видовий та чисельний склад фауни комах, зокрема фауни твердокрилих родини Melyridae, а також біоценотичний розподіл представників досліджуваних родин.

Питання аналізу біоценотичного і висотно-поясного розподілу жуків-мелірид в Українських Карпатах загалом і на прилеглих територіях, Закарпатській низовині зокрема, певною мірою ускладнено внаслідок відсутності тут більш-менш чітких меж між висотними поясами. У прилеглих до досліджуваного регіону країнах найкраще

особливості біоценотичної приуроченості досліджено для Угорщини і Словаччини (Korbel, 1967; Szalóki, 1996; Szalóki, 2005). На території Закарпаття біотопічний розподіл частково розглядав Ян Рубал (Roubal, 1936), проте він не притримується чіткої класифікації місць оселення твердокрилих.

Більша частина території Закарпатської низовини ще в XIX ст. була вкрита дубовими лісами. Сьогодні вони майже повністю вирубані і представлені лише фрагментами дібров. Вологі болотисті ділянки внаслідок непридатності до господарського використання залишилися на низовині у вигляді лук та боліт, що не мають деревної та кущової рослинності. Такі ділянки характерні для

Притисянської рівнини між м. Ужгород та м. Чоп, а також на території між нижньою течією р. Латориця та р. Тиса до м. Берегово.

На території Закарпатської низовини загалом виявлено 26 видів мелірид, тоді як загальна кількість видів Melyridae, зареєстрованих для фауни України, становить 36 (Мірутенко, 2010). Усі відзначені для Закарпатської низовини види жуків-мелірид є хортобіонтами.

Метою роботи було проаналізувати біоценотичну приуроченість різних видів жуків родини Melyridae з огляду на різноманітний склад рослинності на території Закарпатської низовини та встановити біоценози з найбільшим видовим різноманіттям та видовим багатством.

Матеріал і методи

Матеріалом для роботи слугували власні збори та матеріали Владислава Мірутенка (Мірутенко, 2010; Mirutenko, 2018), а також колекційні матеріали кафедри ентомології та збереження біорізноманіття Ужгородського національного університету.

Оцінку чисельності видів проводили на основі визначення їх відсоткового співвідношення. Відсоткові частки представників окремих видів визначали так. За 100% приймали кількість особин усіх видів, що були відзначені нами особисто або присутні в музейних зборах із досліджуваної території. Відсоткові частки для кожного окремого виду визначали за формулою:

$$X = \frac{\text{кількість особин виду}}{\text{загальна кількість особин всіх видів}} \times 100 \%$$

На основі зібраних матеріалів проводили статистичну обробку даних із використанням показників видового різноманіття (індекс Шеннона – H) і видового багатства (індекс Маргалєфа – D). Індекс видового різноманіття Шеннона відображає різноманіття багатовидового угруповання у середньому на одну особину і розраховується за формулою 2.5 (Odum, 1971):

$$H = -\sum_i p_i \times \ln p_i,$$

де p_i – частка i -виду у складі угруповання.

Індекс видового багатства Маргалєфа відображає насиченість фауни різними видами і розраховується за формулою 2.6 (Odum, 1971):

$$D = \frac{S - 1}{\ln N},$$

де S – кількість видів у складі угруповання, N – загальна кількість особин угруповання.

Результати та обговорення

У лучних ценозах переважає асоціація *Agrostidetum herbosum*, загальний рослинний фон становлять злаки. Аспект утворює *Agrostis vulgaris*. Інші домінуючі види: *A. alba*, *Lolium perenne*, *Alopecurus pratensis*, *Poa nemoralis*, *P. pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*, *Juncus effusus*, *Galium verum*, *Ranunculus acer* (Фельбаба-Клушина, 2009).

Для даних ценозів найбільш характерними є мезофільні види твердокрилих: *Charopus flavipes*, *Cordylepherus viridis*, *Malachius bipustulatus*, *Anthomalachius strangulatus*, *Clanoptilus marginellus*, *Clanoptilus elegans*, *Clanoptilus geniculatus*, *Axinotarsus marginalis*, мезоксерофільні: *Clanoptilus ambiguus*, *Dolichosoma lineare* і ксерофільний вид – *Clanoptilus falcifer*.

На ділянках в умовах надмірної вологості в попередню асоціацію вкраплюється асоціація *Caricetum uliginoso-herbosum*. Рослинність має лучно-болотний характер із переважанням *Juncus effusus*, *J. Gerardii*, *Carex paradoxa*, *C. contigua*, *C. vesicaria*, *C. flava*, *C. hirta*, *C. vulgaris*, *Milium effusum*, *Alisma plantago aquatica*, *Lithrum salicaria* та ін. (Фельбаба-Клушина, 2009).

На подібних зволжених ділянках, а це, як правило, заплавні луки, можна зустріти мезофільні види жуків-мелірид. Типовими видами для таких місцин є *Cordylepherus viridis*, *Malachius bipustulatus*, *Clanoptilus marginellus*, *Clanoptilus elegans*, *Clanoptilus geniculatus*, а в суху погоду – мезоксерофільний вид *Dolichosoma lineare*.

Як уже зазначалося вище, ліси низовини вирубані на значних площах. У залишках лісових масивів рослинність представлена в асоціаціях *Quercetum (sessiliflorae) caricosum*, *Quercetum (sessiliflorae) vincosum* та *Quercetum (sessiliflorae) herbosum*. У першій із них деревостан складається з *Quercus sessiliflora* без домішок інших порід. Підлісок слабкий, зустрічається *Crataegus monogyna*, *C. oxyacantha*, *Ligustrum vulgare*, *Prunus avium*. Трав'яний покрив досить розріджений, переважають види: *Carex pilosa*, *C. silvatica*, *Viola odorata*, *V. hirta*, *Asperula odorata*, *Galium mollugo*, *Lactuca muralis*, *Glechoma hederaceum*, *Veronica chamaedrys*, *V. officinalis*, *Poa nemoralis*, *Galeobdolon luteum*, *Aposeris foetida*, *Rubus caesius*, *Astragalus glycyphyllus*, *Hypericum perforatum*, *Symphytum officinale* та деякі інші (Фельбаба-Клушина, 2009).

В асоціації *Quercetum (sessiliflorae) vincosum* до *Quercus sessiliflora* примішу-

ються *Fagus sylvatica* та *Carpinus betulus*. Підлісок практично відсутній, трав'яний покрив рівномірний, представлений видами: *Vinca minor*, *Carex pilosa*, *C. sylvatica*, *Anemone nemorosa*, *Asperula odorata*, *Orobus vernus*, *Stellaria holostea*, *Scrophularia nodosa*, *Asarum europaeum*, *Urtica dioica*, *Rubus caesius*, *Viola hirta*, *V. odorata*, *Asplenium filix femina*, *Pulmonaria obscura*, *Geranium Robertianum*, *Polygonatum officinale*, *Symphytum tuberosum*, *Convallaria majalis* та ін.

Асоціація *Quercetum* (*sessiliflorae*) *herbosum* розташовується на невисоких схилах і складається лише з *Quercus sessiliflora*. У підліску поодинокі екземпляри *Crataegus monogyna*, *C. oxyacantha*, *Ligustrum vulgare*. Трав'яний ярус рідкий, із домішками злаків, домінуючі види виділити важко. Тут переважно представлені: *Fragaria vesca*, *Poa pratensis*, *P. nemoralis*, *Carex pilosa*, *C. sylvatica*, *Genista germanica*, *Potentilla erecta*, *P. argentea*, *Asperula odorata*, *Aposeris foetida*, *Campanula persicifolia*, *C. rapunculoides*, *Veronica chamaedrys*, *Vicia sylvatica*, *Viola hirta*, *V. odorata*, *Trifolium pratense*, *Pulmonaria pratense*, *Festuca pratensis* (Zajac et al., 2016).

У цих лісових формаціях жуки Melyridae зустрічаються на ділянках із розрідженим деревостаном, а також на узліссях, просіках та галявинах на трав'янистій рослинності, на гілках та листках дерев, чагарникової рослинності, підліску.

Чисельність мелірид тут, як правило, нижча, ніж на відкритих лучних ділянках. Для даних біоценозів характерними є такі види: *Malachius bipustulatus*, *Clanoptilus geniculatus*, *Axinotarsus ruficollis*, *Axinotarsus marginalis*, *Dasytes niger*, *Dasytes obscurus*, *Dasytes plumbeus*, *Dasytes subaeneus*, *Dolichosoma lineare*.

Окремо слід виділити раритетні фітоценози лісів Клиновецької та Юлівської гір, що представлені асоціаціями *Quercetum* (*petraeae*) *ligustrosum*, *Quercetum* (*petraeae-cerris*) *ligustrosum*, *Carpineto-Quercetum* (*roboris-cerris*) *aceroso* (*tatarici*) – *ligustrosum* та формацією *Querceta* (*petraeae* et *dalechampii*). Перший ярус у них утворює *Quercus petraea* з домішками *Q. cerris* та *Q. dalechampii* відповідно. У другому ярусі – *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus*, *Crataegus monogyna*, *Acer campestre*, *Tilia tomentosa*, *Pyrus communis*. Підлісок утворений переважно *Ligustrum vulgare*, *Corylus avellana*, *Swida sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Acer tataricum*, *Spiraea media*. Трав'яний

покрив формують *Galium odoratum*, *Stellaria holostea*, *Hepatica nobilis*, *Asarum europaeum*, *Galeobdolon luteum*, *Potentilla alba*, *Ajuga genevensis*, *Hedera helix*, *Melittis carpatica*, *Carex pilosa*, *Brachypodium sylvatica*, *Veronica spicata*, *Sedum maximum*, *Dactylis polygama*, *Symphytum tuberosum*, *Pulmonaria obscura*, *Rubus tomentosus*, *Melica transsilvanica* та деякі інші види (Стойко та ін., 1998).

Жуки-меліриди, що тут поширені, представлені ксерофільним (*Clanoptilus falcifer*), мезоксерофільними (*Charopus concolor*, *Dolichosoma lineare*) та мезофільними (*Malachius bipustulatus*, *Anthomalachius strangulatus*, *Clanoptilus elegans*, *Clanoptilus geniculatus*, *Axinotarsus marginalis*) видами.

Меліридофауна агроценозів Закарпатської низовини відзначається нижчою кількістю видів порівняно з природними біоценозами. Агроценози низовини, у яких зустрічаються представники досліджуваних родин, – це переважно посіви злакових культур (пшениця, жито, овес, ячмінь, кукурудза). Тут найчастіше зустрічаються: *Cordylepherus viridis*, *Clanoptilus marginellus*, *Clanoptilus elegans*, *Clanoptilus geniculatus*, *Clanoptilus ambiguus*. У злакових агроценозах також відзначений *Dolichosoma lineare*. Слід зазначити, що подібні угруповання твердокрилих за незначного видового багатства характеризуються високою чисельністю окремих видів. Окрім того, деякі види, наприклад *Cordylepherus viridis*, *Malachius bipustulatus*, *Clanoptilus marginellus*, *Clanoptilus elegans*, *Clanoptilus geniculatus*, *Axinotarsus pulicarius*, *Axinotarsus marginalis*, *Dasytes niger*, *Dolichosoma lineare*, ми знаходили на диких злаках і складноцвітних у міжряддях садів та виноградників.

Два види (*Clanoptilus elegans*, *Axinotarsus pulicarius*) також нами відзначені в Закарпатській низовині, де вони постійно зустрічаються на придорожній і рудеральній рослинності урболандшафтів.

У прибережних ценозах, уздовж берегів річок на квітучій трав'янистій рослинності (злаки, складноцвіті) зустрічається *Malachius rubidus*. Іноді його можна побачити тут на гальці чи піску. Також уздовж берегів водойм, але на очереті (*Phragmites australis*) зустрічається і єдиний «осінній» вид мелірид – *Anthocomus coccineus*.

На основі результатів кількісних обліків у найбільш типових біоценозах Закарпатської низовини визначали відсоткові частки окремих видів у складі угруповань і показники видового різноманіття та видового багатства (табл. 1).

Таблиця 1

Біоценотичний розподіл твердокрилих родини Melyridae в умовах
Закарпатської низовини

Види	Відсоткові частки від загальної кількості особин в основних біоценозах						
	суходільні луки	заплавні луки	ліси	лісові ценози Клиновецької та Юлівської гір	злакові агроценози	сади, виноград-ники	прибережні ценози
1	2	3	4	5	6	7	8
Підродина Malachiinae							
<i>Charopus flavipes</i> (Paykull, 1798)	0,4	–	–	–	–	–	–
<i>Charopus concolor</i> (Fabricius, 1801)	0,3	0,6	–	2,9	–	–	–
<i>Cordylepherus viridis</i> (Fabricius, 1787)	13,1	19,7	1,0	–	18,4	12,9	–
<i>Malachius scutellaris</i> Erichson, 1840	0,6	1,2	–	–	0,3	–	–
<i>Malachius bipustulatus</i> (Linnaeus, 1758)	1,5	2,4	29,6	4,1	–	1,6	–
<i>Malachius aeneus</i> (Linnaeus, 1758)	0,3	0,6	–	–	0,6	–	–
<i>Malachius rubidus</i> Erichson, 1840	–	1,8	–	–	–	–	45,8
<i>Anthomalachius strangulatus</i> (Abeille de Perrin, 1885)	0,7	–	0,4	0,6	–	–	–
<i>Clanoptilus marginellus</i> (Olivier, 1790)	5,7	10,7	–	–	13,8	3,3	–
<i>Clanoptilus spinipennis</i> (Germar, 1824)	0,4	–	–	–	–	–	–
<i>Clanoptilus falcifer</i> (Abeille de Perrin, 1882)	0,5	–	–	1,2	–	–	–
<i>Clanoptilus affinis</i> (Ménétriés, 1832)	0,3	–	–	–	–	–	–
<i>Clanoptilus elegans</i> (Olivier, 1790)	8,1	2,4	0,3	1,8	5,8	3,3	–
<i>Clanoptilus geniculatus</i> (Germar, 1824)	13,4	9,5	1,2	4,7	5,9	24,2	–
<i>Clanoptilus ambiguus</i> (Peyron, 1877)	2,2	0,6	0,2	–	5,2	–	–
<i>Anthocomus rufus</i> (Herbst, 1784)							54,2
<i>Attalus analis</i> (Panzer, 1796)	–	–	0,2	–	–	–	–
<i>Axinotarsus ruficollis</i> (Olivier, 1790)	–	–	3,3	–	–	–	–
<i>Axinotarsus pulicarius</i> (Fabricius, 1777)	0,2	0,6	–	–	–	3,2	–
<i>Axinotarsus marginalis</i> (Laporte de Castelnau, 1840)	2,3	–	13,2	34,8	–	1,6	–
Підродина Dasytinae							
<i>Dasytes niger</i> (Linnaeus, 1767)	1,0	–	1,0	–	–	10,0	–
<i>Dasytes obscures</i> Gyllenhal, 1813	–	–	2,1	–	–	–	–
<i>Dasytes plumbeus</i> (Muller, 1776)	3,9	–	40,4	–	–	–	–
<i>Dasytes subaeneus</i> Schonherr, 1817	–	–	1,0	–	–	–	–
<i>Dasytes fuscus</i> (Illiger, 1801)	1,0	–	–	–	–	–	–
<i>Dolichosoma lineare</i> (Rossi, 1792)	44,1	49,9	5,3	49,9	50,0	39,9	–
Видів	20	13	14	9	8	9	2
Індекс Шеннона	2,10	1,75	1,54	1,16	1,57	1,72	0,69
Індекс Маргалефа	3,17	2,44	2,34	1,80	1,37	2,23	0,31

Як видно з табл. 1, найчисельнішим видом у складі угруповань біоценозів суходільних лук із підродини Malachiinae є *Clanoptilus geniculatus*, із підродини Dasytinae – *Dolichosoma lineare*. На заплавлених луках із підродини Malachiinae домінує *Cordylepherus viridis*, із підродини Dasytinae – *Dolichosoma lineare*. У типових лісових ценозах низовини найчисельніший вид із підродини Malachiinae *Malachius bipustulatus*, із підродини Dasytinae – *Dasytes plumbeus*. У лісових масивах Клиновецької і Юлівської гір підродина Malachiinae найбільш представлена видом *Axinotarsus marginalis*, а підродина Dasytinae єдиним видом – *Dolichosoma lineare*. У злакових агроценозах домінує *Cordylepherus viridis* (Malachiinae), а з Dasytinae наявний один вид – *Dolichosoma lineare*, причому у значній кількості. В угрупованнях садів та виноградників Закарпатської низовини найбільш чисельним видом підродини Malachiinae є *Clanoptilus geniculatus*, для Dasytinae – той самий *Dolichosoma lineare*. В угрупованнях прибережних біоценозів домінує представник Malachiinae – *Anthocomus rufus*.

Індекс Шеннона, що відображає різноманіття багатовидового угруповання у середньому на одну особину, є найбільшим для суходільних лук (2,10). Це свідчить про невелику частку домінуючих видів серед мелірид у даному типі біоценозів – 13,4% для *Clanoptilus geniculatus*. Індекс Маргалєфа для цих же біоценозів є також найвищим (3,17), що вказує на найбільше видове багатство, тобто найбільшу кількість видів. Найменше значення індексів Шеннона та Маргалєфа характерне для угруповань прибережних біоценозів, що логічно пояснюється невеликою кількістю видів – лише два і незначною кількістю особин цих видів, оскільки рослинний покрив тут доволі бідний.

Висновки

Установлено, що меліридофауна Закарпатської низовини є досить багатогою у видовому відношенні: для регіону нами виявлено 26 видів твердокрилих із цієї родини, серед яких два (*Clanoptilus affinis* і *Anthocomus rufus*) поширені локально і є досить рідкісними. Найбільше видове багатство і різноманіття в умовах Закарпатської низовини характерні для суходільних лучних біоценозів.

Список використаної літератури

- Мірутенко В. В. Огляд жуків родин Malachiidae і Dasytidae (Insecta: Coleoptera) Українських Карпат і Закарпатської низовини. *Українська ентомофауністика*. 2010. Т. 1(1). С. 1–21.
- Раритетні фітоценози західних регіонів України (Регіональна «Зелена книга») / С. М. Стойко та ін. Львів: Поллі, 1998. 190 с.
- Фельбаба-Клаушина А. М. Сучасний стан, тенденції змін та шляхи збереження й відтворення біорізноманіття рослинного покриву Закарпатської низовини. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Біологія»*. 2009. Вип. 25. С. 71–88.
- Korbel L. Coleoptera významných biotopov v nížine pod Vihorlatom. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae. Zoologia*. 1967. Т. XII. S. 115–153.
- Mirutenko V. Annotated check-list of Malachiidae beetles of the Zakarpattia Region, Ukraine. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*. 2018. V. 44. P. 22–28.
- Odum E. P. *Fundamentals of Ecology*. Third Edition, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1971. 574 p.
- Roubal J. Katalog Coleopter (brouků) Slovenska a Podkarpatska. Т. 2. Praha, 1936. S. 17–28.
- Szalóki D. Cantharoidea, Cleroidea and Lymexyloidea (Coleoptera) from the Bükk National park. In: The fauna of the Bükk national park [ed. S. Mahunka]. V. 2. Hungarian Natural History Museum, Budapest, 1996. P. 263–270.
- Szalóki D. A new soft-winged flower beetle in the Hungarian fauna, with a national checklist of Malachiidae (Coleoptera). *Folia entomologica hungarica*. 2005. V. 66. P. 95–100.
- Zajac M., Ujházy K., Škodová I., Kuzemko A., Borsukevych L., Danylyuk K., Duchoň M., Figura T., Kish R., Smatanová J., Turis P., Turisová I., Uhliarová E., Janišová M. Classification of semi-natural mesic grasslands in the Ukrainian Carpathians. *Phytocoenologia*. 2016. V. 46(3). P. 257–293. <https://doi.org/10.1127/phyto/2016/0104>.

References (translated & transliterated)

- Mirutenko, V. V. (2010). Ohliad zhukiv rodyn Malachiidae i Dasytidae (Insecta: Coleoptera) Ukrainskykh Karpat i Zakarpatskoi nizovyny [A review of beetles of families Malachiidae and Dasytidae (Insecta: Coleoptera) of the Ukrainian Carpathians and Transcarpathian Lowland]. *Ukrainska entomofaunistyka [Ukrainian entomofaunistics]*, 1(1), 1–21 [in Ukrainian].

Stoiko, S. M., Milkina, L. I., Yashchenko, P. T., Kahalo, O. O., & Tasienkevych, L. O. (1998). Rarytetni fitotsenozy zakhidnykh rehioniv Ukrainy (Rehionalna «Zelena knyha») [Rare phytocenoses of the western regions of Ukraine (Regional «Green Book»)]. Lviv: Polli [in Ukrainian].

Felbaba-Klushyna, L. M. (2009). Suchasnyi stan, tendentsii zmin ta shliakhy zberezhennia y vidtvorennia bioriznomanittia roslynnoho pokryvu Zakarpatskoi nyzovyny [The current state, trends of change, and ways of conservation and reproducing of the vegetation cover biodiversity of the Transcarpathian lowlands]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu, Seriya Biologhiia [Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology]*, 25, 71–88 [in Ukrainian].

Korbel, L. (1967). Coleoptera význačných biotopov v nížine pod Vihorlatom. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae. Zoologia*, XII, 115–153 [in Slovak].

Mirutenko, V. (2018). Annotated check-list of Malachiidae beetles of the Zakarpattia Region, Ukraine. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series Biology*, 44, 22–28 [in English].

Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. Third Edition, W.B. Saunders Co., Philadelphia [in English].

Roubal, J. (1936). *Katalog Coleopter (brouků) Slovenska a Podkarpatska*. Praha [in Czech].

Szalóki, D. (2005). A new soft-winged flower beetle in the Hungarian fauna, with a national checklist of Malachiidae (Coleoptera). *Folia entomologica hungarica*, 66, 95–100 [in English].

Zajac, M., Ujházy, K., Škodová, I., Kuzemko, A., Borsukevych, L., Danylyuk, K., Duchoň, M., Figura, T., Kish, R., Smatanová, J., Turis, P., Turisová, I., Uhliarová, E., & Janišová, M. (2016). Classification of semi-natural mesic grasslands in the Ukrainian Carpathians. *Phytocoenologia*, 46(3), 257–293. <https://doi.org/10.1127/phyto/2016/0104> [in English].

Отримано: 11.05.2023

Прийнято: 05.06.2023



УДК 577.27:616.995.1(477.64)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.6>

РОЗПОВСЮДЖЕННЯ СЕРОПОЗИТИВНОСТІ ДО ТОКСАКАРНОЇ ІНФЕКЦІЇ У ЛЮДЕЙ У М. ЗАПОРІЖЖІ

С. О. Сидоров¹

В умовах зростаючої тенденції населення мати домашнього улюбленця питання захисту здоров'я господаря від зоонозних захворювань є досить актуальним. Токсокарна інфекція – це зооноз, який має кілька форм перебігу – від субклінічного до вісцерального синдрому мігруючих личинок, котрий може уражати різні систем органів організму, що ускладнює диференціацію та постановку діагнозу. Дані про поширеність IgG *Toxocara canis* у людей в Україні та інших країнах обмежені. Нині відсутній чіткий та ефективний алгоритм реєстрації токсокарної інфекції серед населення м. Запоріжжя, установити особливості розподілення залежно від статі та віку. У статті описано дослідження розповсюдженості токсокарної інфекції у населення м. Запоріжжя протягом 2020–2022 рр. Було досліджено 1 175 проб сироватки крові. Визначення сироватки крові на наявність антитіл до *Toxocara canis* проводилося імуноферментним методом із подальшим статистичним аналізом отриманих даних за допомогою тесту хі-квадрат у програмі Statistica 13. Згідно з результатами дослідження, у 119 пробах (10,1%) був виявлений достатній рівень титру антитіл до *Toxocara canis*. Це свідчить про високе розповсюдження даної інфекції. Також було встановлено статистично значиме зростання рівня інфікованості токсокарною інфекцією з віком ($p > 0,01$), а статистично значимі відмінності серед статі не були виявлені. Дане дослідження підтверджує можливий значно більший відсоток серопозитивності до токсокарозу, що може змінити погляд на епідеміологію даного захворювання. Адже більшість досліджень спрямовані на визначення рівня IgG *Toxocara canis* у груп ризику, до яких найчастіше входять саме люди молодшого віку через недостатню увагу до дотримання санітарно-гігієнічних правил та збільшену можливість контакту із землею. Саме тому для зменшення рівня поширеності токсокарної інфекції потрібне систематичне проведення освітньої програми серед населення різних вікових груп, котра буде спрямована на інформування людей щодо механізмів передачі інфекції та шляхів, які їх реалізують. Окрему ланку освітньої програми можна запровадити через лікарів ветеринарної медицини для більш сумлінного та відповідального ставлення господарів хатніх тварин до протипаразитарної обробки.

Ключові слова: токсокарна інфекція, *Toxocara spp.*, зоонози, інфікованість населення.

¹ здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
(Запорізький національний університет, м. Запоріжжя)
e-mail: sidok1201@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0015-3579

SPREAD OF SEROPOSITIVITY TO TOXACAR INFECTION IN PEOPLE IN THE CITY OF ZAPORIZHZHIA

S. O. Sydorov

In the conditions of the growing tendency of the population to have a pet, the issue of protecting the owner's health from zoonotic diseases is quite relevant. Toxocariasis is a zoonosis that has several forms of course. Starting from subclinical to visceral syndrome of migrating larvae. Which can affect different organ systems of the body, which complicates differentiation and diagnosis. Data on the prevalence of *Toxocara canis* IgG in humans in Ukraine and other countries are limited. Currently, there is no clear and effective algorithm for the registration of toxocariasis in both humans and animals. The purpose of the study is to determine the level of prevalence of toxocariasis among the population of Zaporizhzhia, to establish the peculiarities of distribution depending on gender and age. The article describes the study of the prevalence of toxocariasis in the population of Zaporizhzhia during 2020-2022. 1175 blood serum samples were examined. Determination of blood serum for the presence of antibodies to *Toxocara canis* was carried out by the enzyme-linked immunosorbent assay method, followed by statistical analysis of the obtained data using the chi-squared distribution test in the Statistica 13 program. According to the results of the study, a sufficient level of titer of antibodies to *Toxocara canis* was detected in 119 samples (10.1%). This is enough evidence of the high prevalence of this infection. A statistically significant increase in the level of infection with toxocariasis with age was also established ($p > 0.01$), and no statistically significant differences between genders were found. This study confirms the possible significantly higher percentage of seropositivity to toxocarosis, which can change the view on the epidemiology of this disease. After all, most studies are aimed at determining the level of *Toxocara canis* IgG in risk groups. Among which are most often people of younger age, due to insufficient attention to the observance of sanitary and hygienic rules and the increased possibility of contact with the ground. That is why, in order to reduce the prevalence of toxocariasis, a systematic educational program is required among the population of different age groups. Which will be aimed at informing people about the mechanisms of infection transmission and the ways that implement them. A separate link of the educational program can be introduced through veterinary medicine doctors for a more conscientious and responsible attitude of pet owners to antiparasitic treatment.

Key words: toxocara infection, *Toxocara* spp., zoonoses, population infection.

Вступ

Захворювання, джерелом розповсюдження котрих є тварини, спричиняють значний ризик для здоров'я людей. Причиною цих захворювань можуть бути паразити, бактерії, віруси та грибки, вплив котрих може коливатися від незначного до важкого та навіть смертельного. Розуміння епізоотології, етіології, патогенезу та лікування зоонозних захворювань має вирішальне значення для захисту як людей, так і тварин (Jahanmahin & Vorji, 2023).

Тварини-компаньйони можуть бути джерелом поширення великої кількості інфекцій, зараження котрими може відбуватися аліментарним шляхом. Зокрема, у 2013 р. у Словаччині було досліджено 1 523 дрібні гризуни на наявність антитіл до токсокарної інфекції та встановлено, що 6,6% гризунів мали позитивний результат антитіл до токсокарозу (Reiterová et al., 2013). Нематоди *Toxocara canis* і *Toxascaris leonina* поширені в травному тракті псових у всьому світі. Дослідження, проведене у 2015 р., підтверджує перехресну серологічну реакцію

між *T. canis* і *T. leonina*, а отже, й можливу коінфекцію цих паразитів в організмі тварини (Jin et al., 2015).

Анкетування населення Греції, проведене у 2020 р., виявило тривожну недостатню поінформованість людей про ехінококоз і токсокароз незалежно від наявності домашніх тварин (Kantarakia et al., 2020).

Токсокароз – зоонозне захворювання, яке викликається нематодами *Toxocara* spp. Інфікування токсокарозом відбувається через проковтування личинки третьої стадії. Окрім того, інфікування токсокарозом може відбутися трансплацентарним шляхом, тобто від зараженої токсокарозом матері. У тонкому кишечнику дефінітивних хазяїнів личинки третьої стадії виходять із яєць, мігрують через стінку кишечника, а потім через кровоносну систему гепато-трахеальним шляхом. Розвиток личинок у інших тканинах може зупинитися на кілька місяців (Rostami et al., 2019). Цикл розвитку паразита всередині дефінітивного хазяїна закінчується в тонкому кишечнику, де дорослий гельмінт виділяє яйця, які разом

із фекаліями потрапляють у навколишнє середовище, при цьому яйця забруднюють посіви, пасовища, городи та прибудинкові ділянки. Проведене дослідження серед працівників лісового господарства підтверджує, що до груп ризику слід відносити людей, які активно взаємодіють із навколишнім середовищем (Kaneva et al., 2022). Інфекційні яйця, які були проковтнуті паратенічними хазяїнами, наприклад гризунами, зазнають подібної долі з мігруючими личинками третьої стадії і потім зупиняються в різних тканинах організму. Споживання сирової або недостатньо термічно обробленої їжі може бути причиною інфікування токсокарною інфекцією людини. Таким чином, люди заражаються різними шляхами. Діти зазвичай заражаються шляхом випадкового проковтування яєць токсокар із навколишнього середовища, тоді як деякі дорослі заражаються під час уживання в їжу інфікованих продуктів (Nealy et al., 2021).

Клінічний перебіг токсокарної інфекції залежить від паразитарного навантаження. Токсокароз може уражати різні системи органів, тому виділяють декілька форм токсокарозу у людини: безсимптомну, вісцеральну. Клінічний спектр прояву вісцерального токсокарозу може бути дуже різноманітним, тому ця форма була розділена на підформи залежно від органів, залучених до захворювання (наприклад, очний, нервовий, серцевий та шкірний токсокароз) (Auer & Walochnik, 2020).

Є свідчення про напружений стан гуморального імунітету під час токсокарної інфекції. Цей стан проявляється у вигляді виснаження функціонально-метаболічного резерву нейтрофілів, що призводить до незавершеності фагоцитозу (Воронцова та ін., 2023).

Відомо, що основою імунної відповіді організму при паразитозах є продукція IgE. Велика кількість імуноглобуліну Е призводить до еозинофілії. Досліджено, що рівень IgE-антитіл та специфічних IgE-антитіл у крові у дітей із токсокарною інфекцією достовірно підвищується (Захарчук, 2020). Проведено декілька досліджень авідності IgE крові людей, інфікованих на токсокароз, для діагностики гострої та хронічної фази, але все ще немає уніфікованої методики та референтних інтервалів (Dziemian et al., 2008; Menu et al., 2021).

Запальна імунна відповідь організму на токсокарну інфекцію залежно від форми може призводити до неспецифічних симп-

томів, таких як лихоманка, синдроми вегетативної дисфункції, вегетативної нестійкості, підвищена пітливість, свербіж шкіри, різноманітні болісні відчуття та навіть зміни поведінки та емоційного самопочуття (Ma et al., 2018; Боброва та ін., 2020). Також існують дослідження, які доводять, що серопозитивність токсокар пов'язана з погіршенням когнітивних функцій у дітей і дорослих (Gale & Hedges, 2020). Однією з важких форм токсокарозу є нейротоксокароз – ураження головного мозку, який має велику кількість симптомів перебігу (Meliou et al., 2020).

Поліморфізм клінічних проявів токсокарозу ускладнює диференціювання та постановку діагнозу. Описуються випадки вісцерального токсокарозу з ураженням легенів як зі стійким підвищенням, так і без підвищення еозинофілів та лейкоцитів у крові (Povazan et al., 2011; Разнатовська і Мирончук, 2021). Задokumentований випадок абсцесу селезінки після трансплантації легенів у пацієнта з токсокарозом у Франції (Balacheff et al., 2021). Незважаючи на те що токсокарна інфекція має багато важких ускладнень, цьому зоонозу приділяється недостатня увага.

Через видову специфічність *Toxocara spp.* можливість діагностування інфікування шляхом виявлення яєць *Toxocara spp.* у фекаліях неможливе, оскільки розвиток до статевозрілої *Toxocara spp.* у кишечнику людини не відбувається. Виявлення личинок *Toxocara spp.* у тканинах за допомогою біопсії, цереброспінальної рідини (ліквору) або очних рідин прямою мікроскопією залишається «золотим стандартом» для діагностики токсокарозу. Однак цей метод інвазійний, нечутливий і трудомісткий. Окрім того, виникають труднощі у розрізненні личинки *Toxocara spp.* від інших нематод (Chen et al., 2018). Аналіз крові за допомогою високочутливих методів, зокрема імуноферментного аналізу, дає змогу діагностувати зараження токсокарною інфекцією.

Матеріал і методи

Дослідження проводилося на базі медичної лабораторії Брайт-Біо протягом 2020–2022 рр. Усього було досліджено 1 175 зразків сироватки крові людей, серед яких 636 чоловіків та 539 жінок із підозрою на токсокароз. Проби крові брали у стандартних умовах із використанням вакуумної системи забору крові.

Для виявлення IgG *Toxocara spp.* у сироватці людини використовувався серологічний

напівкількісний імуноферментний аналіз. Усі досліджувані люди розділилися на п'ять груп: до 17 років, 18–30 років, 31–45 років, 46–60 років і старше 60-ти, із двома підгрупами за статтю відповідно. Отримані результати на наявність антитіл порівнювали залежно від статі та віку. Статистична значущість між серопозитивністю різних груп людей перевірялася за допомогою тесту хі-квадрат. Усі статистичні аналізи проводилися за допомогою програмного забезпечення Statistica 13.

Результати та обговорення

Загалом було зроблено 1 175 тестів, із яких 10,1% (119) мали виявлений рівень IgG *Toxocara canis* більше 1,1 тож інтерпретувалися як позитивний результат. Такий великий відсоток свідчить про високу захворюваність на токсокароз упродовж 2020–2022 рр. Результати узагальнено в табл. 1.

Під час дослідження за гендерною ознакою було виявлено, що пропорція чоловіків та жінок протягом усього періоду була рівномірною. Так, у цілому за весь період частка чоловіків становила 54,1%, а жінок – 45,9%, частота позитивних результатів у чоловіків дорівнювала 8,8%, а у жінок – 11,6%, статистично доведеної різниці між очікуваними та отриманими даними не виявлено. Проаналізувавши групи за віком, можна зробити висновок, що розповсюдження токсокарної інфекції у виборці нерівномірне, а саме: найменший відсоток поширеності антитіл до токсокарної інфекції спостерігається у людей до 17 років, а з віком відсоток поширеності збільшується ($p > 0,01$). Під час дослідження сезонності виявлення позитивних результатів не було виявлено ніяких відхилень, що свідчить про відсутність впливу пори року на захворюваність.

Загальний відсоток поширеності антитіл до токсокарної інфекції у людей м. Запоріжжя становить 10,1%. Згідно з дослідженням поширеності кількості серопозитивних до токсокар пацієнтів

за 2007–2009 рр. у м. Запоріжжя, рівень становив 11–11,6% (Усачова і Дралова, 2012). Тому можна зробити висновок про зменшення поширеності IgG *Toxocara spp.* Водночас за результатами дослідження, проведеного у Чернівецькій області серед дітей віком до 14 років, у 369 (42,56%) із 867 встановлено діагноз токсокароз (Чокан та ін., 2018). Лише за шість місяців 2019 р. у Львівській обласній інфекційній клінічній лікарні було діагностовано вісім випадків токсокарозу (Прокопів і Сегедій, 2021).

За період 2015–2017 рр. у Болгарії обстежено 408 осіб із клінічними симптомами підозри на токсокароз, із них 78 (19,1%) позитивний на наявність специфічних антитіл проти токсокар (Harizanov et al., 2019). Досліджено, що загальна серопревалентність людини до токсокарозу в північно-східній Болгарії становить 18,54%. У дітей та дорослих спостерігаються подібні рівні інфікування, а у людей похилого віку до 65 років поширеність підвищується до найвищих рівнів – 30,56% і старше 65 років – 31,67% (Cvetkova et al., 2021). Інше дослідження у Болгарії показало, що з 247 осіб, які були досліджені, позитивний результат IgG до токсокарної інфекції було виявлено у 26 (10,5%) із безсимптомною формою захворювання (Kaneva, 2021). Згідно із систематичним аналізом даних за 1978–2009 рр., у Польщі було зафіксовано 1 022 клінічних випадки токсокарозу впродовж 1994–2005 рр. (досліджено 18 367 сироваток крові людей із підозрою на наявність IgG *Toxocara spp.*) (Borecka & Klarec, 2015). У Словаччині з 1 489 досліджених зразків 3,7% були позитивними за відношенням до *Toxocara spp.* (Fesková et al., 2020).

Протягом 1988–1994 рр. у Сполучених Штатах за результатами дослідження серопревалентності рівень поширеності IgG *Toxocara spp.* сягав 13,9% (Woodhall et al., 2014). Дослідження, проведене в Аргентині, показало, що 78 із 206 дітей (37,9%) мали антитіла до токсокар (Alonso et al., 2000). У Кампінасі (штат Сан-Паулу, Бразилія)

Таблиця 1

Результати дослідження згідно з віком та статтю

Вікова група	До 17 р.		18–30 р.		31–45 р.		46–60 р.		Старше 60 р.	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Позитивний результат	8	16	2	6	16	23	20	9	10	9
Негативний результат	339	359	44	50	83	37	74	23	40	7
Частота (%)	2,35	4,2	4,3	10,7	16,1	38,3	21,2	28,1	20	56,2
Загальна частота (%) по віковій групі	3,43		8,51		32,5		29,89		40,42	

дослідження показало, що захворюваність на токсокароз у дітей віком 2–12 років становить 10,4 випадки на 100 дітей. Поширеність IgG *Toxocara spp.* серед дітей віком 2–12 років, які живуть у районі Кампінаса, було 16% (Fialho et al., 2020). Систематичний аналіз даних щодо поширеності токсокарозу у Латиській Америці із загальною кількістю учасників 31 123, обстежених упродовж 1990–2022 рр., показав наявність загальної серопревалентності токсокарозу людини у 31,0% (Ulloque-Badaracco et al., 2023). Розповсюдження токсокарної у інфекції у Колумбії протягом 2009–2018 рр. сягало 33,89% із найвищою частотою випадків у людей віком 10–19 років (Rodriguez-Morales et al., 2020). Дослідження сироваток крові дітей у регіонах Амекамека та Чалко у Мексиці показало, що з досліджених 183 дітей у 22 (12%) був достатній рівень антитіл *T. canis* (Cortés et al., 2015). За 2012–2019 рр. зафіксовано 85 випадків токсокарної інфекції у педіатричній лікарні в Аргентині (Juárez et al., 2021).

Літературні дані засвідчують, що загальна частка інфікування токсокарами

в Ірані сягає 6,58% (Shafiei et al., 2020). Так, за результатами сероепідеміологічного дослідження населення округу Ардебіла (Північно-Західний Іран) із 2019 по 2020 р. з опрацьованих 472 зразків 66 (14,0%) були позитивними до IgG *Toxocara spp.* (Heidari et al., 2022).

Загалом зазначається про глобальний рівень серопоширеності до *Toxocara spp.* у світі на рівні 19,0% (Rostami et al., 2019).

Висновки

Установлено рівень поширеності IgG *Toxocara spp.* серед населення м. Запоріжжя – 10,1%. Доведено факт збільшення частки серопозитивних результатів із віком ($p > 0,01$), а саме: 3,43% для людей до 17 років; 8,51% – для вікової групи 18–30 років; 32,5% – для 31–45-річних містян; 29,89% та 40,42% – для групи людей 46–60 років і старше 60 років. Статистично значимої різниці між кількістю заражених чоловіків і жінок не виявлено.

Подяка Учірській Євгенії – завідувачці лабораторії Брайт-Біо за сумлінну співпрацю та допомогу у проведенні дослідження й аналізі результатів.

Список використаної літератури

- Воронцова А., Кенійз С., Коваленко В. Особливості окисної модифікації білків еякуляту інфертильних чоловіків за умови наявності/відсутності антитіл до токсокар. *InterConf.* 2023. № 30. Т. 143, С. 368–375. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.02.2023.038>.
- Організація профілактичних заходів щодо запобігання нервово-психічним ускладненням токсоплазмозу та токсокарозу в Україні / О.В. Боброва та ін. *Actual infectology.* 2021. № 8. Т. 5–6. С. 19–24. <https://doi.org/10.22141/2312-413x.8.5-6.2020.217955>.
- Прокопів О. В., Сегедій А. І. Сучасні аспекти проблеми токсокарозу. *Інфекційні хвороби.* 2021. № 4. С. 12–17. <https://doi.org/10.11603/1681-2727.2020.4.11891>.
- Разнатовська О. М., Мирончук Ю. В. Ураження легень при вісцеральній формі токсокарозу у дітей у фтизіатричній практиці (клінічний випадок). *Child's health.* 2021. № 16. Т. 3. С. 245–250. <https://doi.org/10.22141/2224-0551.16.3.2021.233910>.
- Усачова О. В., Дралова О. А. Аналіз особливостей епідемічного процесу токсокарозу в Запорізькій області в 2007–2009 роках. *Запорізький медичний журнал.* 2012. № 2. С. 62–65.
- Чокан В., Захарчук О., Кривчанська М. Токсокароз: клініко-лабораторні прояви та протиепідемічні заходи профілактики. *Молодий вчений.* 2018. № 9. Т. 61. С. 159–164.
- A Seroepidemiological Investigation of Toxocariasis in Forestry Workers in Bulgaria / Kaneva, E. et al. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences.* 2022. Vol. 75, № 5. P. 686–693. <https://doi.org/10.7546/crabs.2022.05.08>.
- Adult human case of toxocariasis with pulmonary migratory infiltrate and eosinophilia / Povazan, D., et al. *Military Medical and Pharmaceutical Journal of Serbia.* 2011. Vol. 68, № 10. P. 881–885. <https://doi.org/10.2298/vsp1110881p>.
- Auer H., Walochnik J. Toxocariasis and the clinical spectrum. *Toxocara and Toxocariasis.* 2020. P. 111–130. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2020.01.005>.
- Borecka A., Kłapeć T. Epidemiology of human toxocariasis in Poland – A review of cases 1978–2009. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine.* 2015. Vol. 22, № 1. P. 28–31. <https://doi.org/10.5604/12321966.1141364>.
- Brain food: rethinking food-borne toxocariasis / Healy, S. R., et al. *Parasitology.* 2021. Vol. 149. № 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1017/s0031182021001591>.

Comparison of the Level of Awareness about the Transmission of Echinococcosis and Toxocariasis between Pet Owners and Non-Pet Owners in Greece / Kantarakia, C., et al. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. № 15. P. 5292. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155292>.

Cross-reactivity of Toxocariasis with Crude Antigen of *Toxascaris leonina* Larvae by ELISA / Jin, Y., et al. *Journal of Korean Medical Science*. 2015. Vol. 30. № 5. P. 549. <https://doi.org/10.3346/jkms.2015.30.5.549>.

Demographic characteristics of the seroprevalence of human toxocariasis among the population of north-eastern Bulgaria / Cvetkova, T., et al. *Journal of IMAB - Annual Proceeding (Scientific Papers)* 2021. Vol. 27. № 3. P. 3863–3867. <https://doi.org/10.5272/jimab.2021273.3863>.

Determination of the relative avidity of the specific IgG antibodies in human toxocariasis / Dziemian, E., et al. *Parasite Immunology*. 2008. Vol 30. № 3. P. 187–190. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2007.01010.x>.

Fialho, P. M. M., Correa, C. R. S., Lescano, S. Z. Seroprevalence Brazil. *Toxocara and Toxocariasis*. 2020. P. 357–374. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2020.01.013>.

Gale, S.D., Hedges, D. W. Neurocognitive and neuropsychiatric effects of toxocariasis. *Toxocara and Toxocariasis*. 2020. P. 261–272. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2020.01.009>

Harizanov R., Rainova I., Kaftandjiev I. Human Cystic echinococcosis, Trichinellosis and Toxocariasis in Bulgaria: an update of data for 2015–2017. *International Medicine*. 2019. Vol 1. № 2. <https://doi.org/10.5455/im.42614>.

Human toxocariasis – A look at a neglected disease through an epidemiological ‘prism / Rostami, A., et al. *Infection, Genetics and Evolution*. 2019. Vol. 74. P. 104002. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.104002>.

Human toxocariasis / Ma, G., et al. *The Lancet Infectious Diseases*. 2018. Vol. 18, № 1. P. 14–24. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(17\)30331-6](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(17)30331-6).

Jahanmahin A., Borji H. Unveiling the Zoonotic Significance of Toxocariasis in Humans: The Role of *Toxocara canis*. *Small Animal Advances*. 2023. Vol. 2. № 2. P. 5–11. <https://doi.org/10.58803/saa.v2i2.14>.

Kaneva E. Seroepidemiological study of the prevalence of toxocariasis among healthy persons in some areas of Bulgaria. *Problems of Infectious and Parasitic Diseases*. 2021. Vol. 49. № 2. P. 47–50. <https://doi.org/10.58395/pipd.v49i2.6.6>.

Measurement of the IgG Avidity Index in the Diagnosis of Clinical Toxocariasis Patients / Menu, E., et al. *Pathogens*. 2021. Vol. 10. № 9. P. 1086. <https://doi.org/10.3390/pathogens10091086>.

Presence of anti-*Toxocara canis* antibodies and risk factors in children from the Amecameca and Chalco regions of México / Cortés, N. N., et al. *BMC Pediatrics*. 2015. Vol 15. № 1. <https://doi.org/10.1186/s12887-015-0385-9>.

Seroepidemiology of human toxocariasis in selected population groups in Slovakia: A cross-sectional study / Fecková, M., et al. *Journal of Infection and Public Health*. 2020. Vol. 13. № 8. P. 1107–1111. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.04.006>.

Seroprevalence estimates for toxocariasis in people worldwide: A systematic review and meta-analysis / Rostami, A., et al. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 2019. Vol. 13, № 12. e0007809. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007809>.

Seroprevalence of Human Toxocariasis in Children (5–15-Year-Old) Using ELISA Method in Ardabil District, North-West of Iran / Heidari, Z., et al. *Iranian Journal of Parasitology*. 2022. <https://doi.org/10.18502/ijpa.v17i1.9011>.

Seroprevalence of human toxocariasis in Latin America and the Caribbean: a systematic review and meta-analysis / Ulloque-Badaracco, J. R., et al. *Frontiers in Public Health*. 2023. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1181230>.

Small rodents — permanent reservoirs of toxocarosis in different habitats of Slovakia / Reiterová, K., et al. *Helminthologia*. 2013. Vol. 50. № 1. P. 20–26. <https://doi.org/10.2478/s11687-013-0103-9>.

Splenic abscess caused by *Toxocara* spp. in a lung transplant recipient, Marseille, France / Balacheff, Q., et al. *Transplant Infectious Disease*. 2021. Vol. 23. № 4. <https://doi.org/10.1111/tid.13651>.

Status of human toxocariasis, a neglected parasitic zoonosis in Iran: a systematic review from past to current / Shafiei, R., et al. *Tropical Doctor*. 2020. Vol. 50. № 4. P. 285–291. <https://doi.org/10.1177/0049475520931545>.

Toxocara seroprevalence in children from a subtropical city in Argentina / J.M. Alonso, et al. *Revista Do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*. 2000. Vol. 42. № 4. P. 235–237. <https://doi.org/10.1590/s0036-46652000000400010>.

Toxocariasis en niños: análisis de 85 casos en un hospital pediátrico de Argentina / Juárez, X.S., et al. *Revista Chilena de Infectología*. 2021. Vol. 38. № 6. P. 761–767. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182021000600761>.

Toxocariasis in Colombia: More Than Neglected / Rodriguez-Morales, A.J., et al. *Current Tropical Medicine Reports*. 2020. Vol. 7. № 1. P. 17–24. <https://doi.org/10.1007/s40475-020-00199-x>.

Toxocariasis of the Nervous System / Meliou, M., et al. *Acta Parasitologica*. 2020. Vol. 65. № 2. P. 291–299. <https://doi.org/10.2478/s11686-019-00166-1>.

Toxocariasis: a silent threat with a progressive public health impact / Chen, J., et al. *Infectious Diseases of Poverty*. 2018. Vol 7. № 1. <https://doi.org/10.1186/s40249-018-0437-0>.

Woodhall, D.M., Eberhard, M.L., & Parise, M E. Neglected Parasitic Infections in the United States: Toxocariasis. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 2014. Vol. 90. № 5. P. 810–813. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.13-0725>.

Zakharchuk O.I. The State of the Humoral Link of Immunity in Children with Toxocariasis. *Український Журнал Медичини, Біології Та Спорту*. 2020. Vol. 5. № 4. P. 150–154. <https://doi.org/10.26693/jmbs05.04.150>.

References (translated & transliterated)

Vorontsova, L., Keniiz, S., & Kovalenko, V. (2023). Osoblyvosti okysnoi modyfikatsii bilkiv eiakuliatu infertylnykh cholovikiv za umovy naiavnosti/vidsutnosti antytil do toksokar [Peculiarities of oxidative modification of ejaculate proteins of infertile men in the presence/absence of antibodies to toxocar]. *InterConf*, 30(143), 368–375. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.02.2023.038> [in Ukrainian].

Bobrova, O. V., Nartov, P. V., Mikhanovska, N. H., & Kryvonos, K. A. (2021). Orhanizatsiia profilaktychnykh zakhodiv shchodo zapobihannia nervovo-psykhichnym uskladnenniam toksoplazmozu ta toksokarozu v Ukraini [Organization of preventive measures to prevent neuro-psychiatric complications of toxoplasmosis and toxocarosis in Ukraine]. *Actual infectology*, 8(5–6), 19–24. <https://doi.org/10.22141/2312-413x.8.5-6.2020.217955> [in Ukrainian].

Prokopiv, O. V., & Sehediy, L. I. (2021). Cuchasni aspekty problemy toksokarozu [Cuchasni aspekty problemy toksokarozu]. *Infektsiini khvoroby [Infectious diseases]*, 4, 12–17. <https://doi.org/10.11603/1681-2727.2020.4.11891> [in Ukrainian].

Raznatovska, O. M., & Mironchuk, Yu. V. (2021). Pulmonary lesions in visceral toxocariasis in children in the phthisiatric practice (clinical case) [Lung lesions in the visceral form of toxocarosis in children in phthisiatric practice (clinical case)]. *Child's health*, 16(3), 245–250. <https://doi.org/10.22141/2224-0551.16.3.2021.233910> [in Ukrainian].

Usachova, O. V., & Dralova, O. A. (2012). Analiz osoblyvostei epidemichnoho protsesu toksokarozu v Zaporizkii oblasti v 2007–2009 rokakh [Analysis of the peculiarities of the epidemic process of toxocarosis in the Zaporizhzhia region in 2007–2009]. *Zaporizkyi medychnyi zhurnal [Zaporizhzhia Medical Journal]*, 2, 62–65 [in Ukrainian].

Chokan, V., Zakharchuk, O., & Kryvchanska, M. Ya. (2018). Toksokaroz: kliniko-laboratorni proiavy ta protyepidemichni zakhody profilaktyky [Toxocarosis: clinical and laboratory manifestations and anti-epidemic preventive measures]. *Molodyi vchenyi [A young scientist]*, (9 (61)), 159–164 [in Ukrainian].

Kaneva, E., Nikolov, G., Kandova, Y., & Petrunov, B. (2022). A Seroepidemiological Investigation of Toxocariasis in Forestry Workers in Bulgaria. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*, 75(5), 686–693. <https://doi.org/10.7546/crabs.2022.05.08> [in English].

Povazan, D., Djuric, M., Uzurov-Dinic, V., Lalosevic, D., Lalosevic, V., Secen, S., & Povazan, A. (2011). Adult human case of toxocariasis with pulmonary migratory infiltrate and eosinophilia. *Military Medical and Pharmaceutical Journal of Serbia*, 68(10), 881–885. <https://doi.org/10.2298/vsp1110881p> [in English].

Auer, H., & Walochnik, J. (2020). Toxocariasis and the clinical spectrum. *Toxocara and Toxocariasis*, 111–130. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2020.01.005> [in English].

Borecka, A., & Kłapeć, T. (2015). Epidemiology of human toxocariasis in Poland – A review of cases 1978–2009. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 22(1), 28–31. <https://doi.org/10.5604/12321966.1141364> [in English].

- Healy, S. R., Morgan, E. R., Prada, J.M., & Betson, M. (2021). Brain food: rethinking food-borne toxocariasis. *Parasitology*, 149(1), 1–9. <https://doi.org/10.1017/s0031182021001591> [in English].
- Kantarakia, C., Tsoumani, M. E., Galanos, A., Mathioudakis, A.G., Giannoulaki, E., Beloukas, A., & Voyiatzaki, C. (2020). Comparison of the Level of Awareness about the Transmission of Echinococcosis and Toxocariasis between Pet Owners and Non-Pet Owners in Greece. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 5292. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155292> [in English].
- Jin, Y., Shen, C., Huh, S., Choi, M.-H., & Hong, S.-T. (2015). Cross-reactivity of Toxocariasis with Crude Antigen of *Toxascaris leonina* Larvae by ELISA. *Journal of Korean Medical Science*, 30(5), 549. <https://doi.org/10.3346/jkms.2015.30.5.549> [in English].
- Cvetkova, T., Stoyanova, K., Paunov, T., & Pavlov, S. (2021). Demographic characteristics of the seroprevalence of human toxocariasis among the population of north-eastern Bulgaria. *Journal of IMAB - Annual Proceeding (Scientific Papers)*, 27(3), 3863–3867. <https://doi.org/10.5272/jimab.2021273.3863> [in English].
- Dziemian, E., Żarnowska, H., Kołodziej-Sobocińska, M., & Machnicka, B. (2008). Determination of the relative avidity of the specific IgG antibodies in human toxocariasis. *Parasite Immunology*, 30(3), 187–190. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2007.01010.x> [in English].
- Fialho, P. M. M., Correa, C. R. S., & Lescano, S. Z. (2020). Seroprevalence Brazil. *Toxocara and Toxocariasis*, 357–374. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2020.01.013> [in English].
- Gale, S. D., & Hedges, D. W. (2020). Neurocognitive and neuropsychiatric effects of toxocariasis. *Toxocara and Toxocariasis*, 261–272. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2020.01.009> [in English].
- Harizanov, R., Rainova, I., & Kaftandjiev, I. (2019). Human Cystic echinococcosis, Trichinellosis and Toxocariasis in Bulgaria: an update of data for 2015–2017. *International Medicine*, 1(2), 43. <https://doi.org/10.5455/im.42614> [in English].
- Rostami, A., Ma, G., Wang, T., Koehler, A. V., Hofmann, A., Chang, B.C. H., Macpherson, C.N., & Gasser, R.B. (2019). Human toxocariasis – A look at a neglected disease through an epidemiological prism. *Infection, Genetics and Evolution*, 74, 104002. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.104002> [in English].
- Ma, G., Holland, C. V., Wang, T., Hofmann, A., Fan, C.-K., Maizels, R. M., Hotez, P. J., & Gasser, R. B. (2018). Human toxocariasis. *The Lancet Infectious Diseases*, 18(1), e14–e24. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(17\)30331-6](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(17)30331-6) [in English].
- Jahanmahin, A., & Borji, H. (2023). Unveiling the Zoonotic Significance of Toxocariasis in Humans: The Role of *Toxocara canis*. *Small Animal Advances*, 2(2), 5–11. <https://doi.org/10.58803/saa.v2i2.14> [in English].
- Kaneva, E. (2021). Seroepidemiological study of the prevalence of toxocariasis among healthy persons in some areas of Bulgaria. *Problems of Infectious and Parasitic Diseases*, 49(2), 47–50. <https://doi.org/10.58395/pipd.v49i2.66> [in English].
- Menu, E., Kopec, L., Luciani, L., Legrand, S., & Lollivier, C. (2021). Measurement of the IgG Avidity Index in the Diagnosis of Clinical Toxocariasis Patients. *Pathogens*, 10(9), 1086. <https://doi.org/10.3390/pathogens10091086> [in English].
- Cortés, N. N., Núñez, C. R., Guiliana, B. G. L., García, P. A. H., & Cárdenas, R. H. (2015). Presence of anti-*Toxocara canis* antibodies and risk factors in children from the Amecameca and Chalco regions of México. *BMC Pediatrics*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12887-015-0385-9> [in English].
- Fecková, M., Antolová, D., Zalešný, G., Halánová, M., Štrkolcová, G., Goldová, M., Weissová, T., Lukáč, B., & Nováková, M. (2020). Seroepidemiology of human toxocariasis in selected population groups in Slovakia: A cross-sectional study. *Journal of Infection and Public Health*, 13(8), 1107–1111. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.04.006> [in English].
- Rostami, A., Riahi, S.M., Holland, C.V., Taghipour, A., Khalili-Fomeshi, M., Fakhri, Y., Omrani, V.F., Hotez, P.J., & Gasser, R.B. (2019). Seroprevalence estimates for toxocariasis in people worldwide: A systematic review and meta-analysis. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 13(12), e0007809. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007809> [in English].
- Heidari, Z., Alizadeh, Z., Afzoun Kheyavi, H., Molaei, S., Mahdavi, A., & Mohammadi-Ghalehbin, B. (2022). Seroprevalence of Human Toxocariasis in Children (5–15-Year-Old) Using ELISA Method in Ardabil District, North-West of Iran. *Iranian Journal of Parasitology*. <https://doi.org/10.18502/ijpa.v17i1.9011> [in English].

Ulloque-Badaracco, J. R., Hernandez-Bustamante, E. A., Alarcón-Braga, E. A., Huayta-Cortez, M., Carballo-Tello, X. L., Seminario-Amez, R. A., Rodríguez-Torres, A., Casas-Patiño, D., Herrera-Añazco, P., & Benites-Zapata, V. A. (2023). Seroprevalence of human toxocariasis in Latin America and the Caribbean: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1181230> [in English].

Reiterová, K., Antolová, D., Zalesný, G., Stanko, M., Špilovská, S., & Mošanský, L. (2013). Small rodents – permanent reservoirs of toxocarosis in different habitats of Slovakia. *Helminthologia*, 50(1), 20–26. <https://doi.org/10.2478/s11687-013-0103-9> [in English].

Balacheff, Q., Lovato, J., Coiffard, B., Lollivier, C., Cassir, N., & Reynaud-Gaubert, M. (2021). Splenic abscess caused by *Toxocara* spp. in a lung transplant recipient, Marseille, France. *Transplant Infectious Disease*, 23(4). Portico. <https://doi.org/10.2478/s11687-013-0103-9> [in English].

Shafiei, R., Rahimi, M.T., Emameh, R.Z., Mirzaei, M., Perez-Cordon, G., & Ahmadpour, E. (2020). Status of human toxocariasis, a neglected parasitic zoonosis in Iran: a systematic review from past to current. *Tropical Doctor*, 50(4), 285–291. <https://doi.org/10.1177/0049475520931545> [in English].

Alonso, J. M., Bojanich, M. V. I., Chamorro, M., & Gorodner, J. O. (2000). Toxocara seroprevalence in children from a subtropical city in Argentina. *Revista Do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 42(4), 235–237. <https://doi.org/10.1590/s0036-46652000000400010> [in English].

Juárez, X. S., Delgado, M., Matteucci, E. D., Schiavino, S., Pasinovich, M. E., García-Franco, L., & Cancellara, A. D. (2021). Toxocariasis en niños: análisis de 85 casos en un hospital pediátrico de Argentina. *Revista Chilena de Infectología*, 38(6), 761–767. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182021000600761> [in English].

Rodriguez-Morales, A.J., Bonilla-Aldana, D. K., Gallego-Valencia, V., Gómez-DeLaRosa, S. H., López-Echeverri, C., Peña-Verjan, N. M., Vargas-Díaz, K., Ramírez, A., Diaz-Henao, W., Murillo-García, D. R., Muñoz-Calle, N., Gil-Restrepo, A. F., Silva-Gómez, M. A., Bastidas-Melo, J. A., Macías-Muñoz, A. C., Cardona-Ospina, J. A., Paniz-Mondolfi, A., & Delgado, O. (2020). Toxocariasis in Colombia: More Than Neglected. *Current Tropical Medicine Reports*, 7(1), 17–24. <https://doi.org/10.1007/s40475-020-00199-x> [in English].

Meliou, M., Mavridis, I.N., Pyrgelis, E.-S., & Agapiou, E. (2020). Toxocariasis of the Nervous System. *Acta Parasitologica*, 65(2), 291–299. <https://doi.org/10.2478/s11686-019-00166-1> [in English].

Chen, J., Liu, Q., Liu, G.-H., Zheng, W.-B., Hong, S.-J., Sugiyama, H., Zhu, X.-Q., & Elsheikha, H. M. (2018). Toxocariasis: a silent threat with a progressive public health impact. *Infectious Diseases of Poverty*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40249-018-0437-0> [in English].

Woodhall, D. M., Eberhard, M. L., & Parise, M. E. (2014). Neglected Parasitic Infections in the United States: Toxocariasis. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 90(5), 810–813. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.13-0725> [in English].

Zakharchuk, O. I. (2020). The State of the Humoral Link of Immunity in Children with Toxocariasis. *Український Журнал Медичини, Біології Та Sportu*, 5(4), 150–154. <https://doi.org/10.26693/jmbs05.04.150> [in English]

Отримано: 08.05.2023

Прийнято: 14.06.2023



УДК 548.7:597.551.2:57.084

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.7>

ТОКСИЧНИЙ ВПЛИВ ХЛОРПІРОФОСУ НА ЛИЧИНОК КОРОПА ЗА УМОВ МОДЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА В РАЗІ БІОТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

Ю. М. Худіяш¹, О. С. Потрохов², О. Г. Зінковський³, К. Кофонов⁴,
І. М. Коновець⁵

Наведені дані щодо негативної дії хлорпірофосу на личинок коропа за допомогою хіміко-токсикологічного аналізу. Визначення токсичності сполуки проводили методом біотестування і у модельних експериментах, метою яких було проведення порівняльного аналізу фармакотоксикологічного ефекту токсиканту за різних умов. У результаті аналізу було встановлено, що для личинок коропа у модельних експериментах LC50 хлорпірофосу становила 0,009 мг/дм³ при експозиції у розчинах 96 год. При біотестуванні у воді з різним ступенем забрудненості природних водойм LC50 за дії хлорпірофосу становило 0,255 мг/дм³, що в майже у 30 разів більше, ніж за хімічним методом. Низький фармакологічний ефект хлорпірофосу на личинок коропа за результатами

¹ кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник відділу біології відтворення риб
(Інститут гідробіології Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: yurahud@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8588-0371

² доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач відділу біології відтворення риб
(Інститут гідробіології Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: apotrokhov@gmail.com
ORCID: 0000-0002-8274-6898

³ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник відділу біології відтворення риб
(Інститут гідробіології Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: olzinkovskiy@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4135-5839

⁴ доктор філософії,
молодший науковий співробітник відділу біології відтворення риб
(Інститут гідробіології Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: kirillkofonov16@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7859-5193

⁵ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
завідувач лабораторії біологічно активних сполук
(Інститут гідробіології Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: i.m.konovets@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4234-5026

біотестування якості води пов'язаний з наявністю у водоймі біоти, яка може впливати на прояви токсичності цієї сполуки. Очевидно, в результаті своєї життєдіяльності вони можуть деактивувати цей пестицид.

За результатами наших досліджень було встановлено, що у всіх досліджених водоймах продукційні процеси значно переважали над деструкційними і коефіцієнт A/R досягав 95,5.

Істотне підвищення біопродукції пов'язане зі значним вмістом біогенів у воді дослідних водойм.

Концентрація амонію у воді дослідних ділянок в середньому у 2,0 разів, а нітратів і нітритів у 2,5 і 4,5 рази вище, ніж у контрольній водоймі. Це вочевидь вказує на постійне потрапляння господарсько-побутових вод та зливів з сільгоспугідь, які багаті на сполуки азоту.

Таким чином, результати досліджень засвідчують, що біотестування є більш досконалим способом встановлення токсичності речовини, оскільки дія токсиканту залежить від багатьох екологічних факторів середовища, а саме особливостей хімічного складу води та наявної в водоймі біоти. При цьому слід відмітити, що одночасно з біотестуванням середовища можна проводити також фіксацію відхилення тест-об'єкту від норми за морфологічними, фізіологічними, біохімічними, генетичними та імунними показниками. Отримані результати надають більш повну характеристику екологічного стану водойми та можливість прогнозування подальшого розвитку екологічної ситуації на досліджуваних водоймах.

Ключові слова: забруднення води, токсикофармакологічний ефект, летальні концентрації, пробіт-аналіз, смертність риб, хімічний склад води.

TOXIC INFLUENCE OF CHLORPYRIFOS ON CARP LARVAE UNDER THE CONDITIONS OF A MODEL EXPERIMENT AND WATER QUALITY BIOTESTING

Yu. M. Khudiyash, O. S. Potrokhov, O. H. Zinkovskyi, K. Kofonov, I. M. Konovets

Data on the negative effect of chlorpyrifos on carp larvae using chemical and toxicological analysis are presented. The toxicity of the compound was determined by the biotesting method and in model experiments, the purpose of which was to conduct a comparative analysis of the pharmacotoxicological effect of the toxicant in different conditions. As a result of the analysis, it was established that for carp larvae in model experiments, the LC50 of chlorpyrifos was 0.009 mg/dm³ when exposed in solutions for 96 hours. During biotesting in water with different degrees of pollution of natural reservoirs, the LC50 under the action of chlorpyrifos was 0.255 mg/dm³, which is almost 30 times higher than by the chemical method. The low pharmacological effect of chlorpyrifos on carp larvae according to the results of biotesting of water quality is associated with the presence of biota in the reservoir, which can affect the toxicity of this compound. It is obvious that as a result of their vital activity, they can deactivate this pesticide.

According to the results of our research, it was established that in all studied reservoirs, production processes significantly prevailed over destructive ones, and the A/R ratio reached 95.5.

A significant increase in bioproduction is associated with a significant content of biogens in the water of experimental reservoirs. The concentration of ammonium in the water of the experimental sites is on average 2.0 times higher, and nitrates and nitrites are 2.5 and 4.5 times higher than in the control reservoir. This obviously indicates the constant ingress of household water and runoff from agricultural land, rich in nitrogen compounds.

Thus, the results of the studies testify that biotesting is a more advanced method of establishing the toxicity of a substance, since the action of the toxicant depends on many environmental factors of the environment, namely the features of the chemical composition of the water and the biota present in the reservoir. At the same time, it should be noted that simultaneously with the biotesting of the environment, it is also possible to fix the deviation of the test object from the norm according to morphological, physiological, biochemical, genetic and immune indicators. The obtained results provide a more complete description of the ecological state of the reservoir and the possibility of forecasting the further development of the ecological situation in the studied reservoirs.

Key words: water pollution, toxicopharmacological effect, lethal concentrations, probit analysis, fish mortality, chemical composition of water.

Вступ

Забруднення водних екосистем токсичними сполуками є однією з головних причин порушення екологічної рівноваги між середовищем і біотою. Слід відмітити, що незадовільна якість води внаслідок надходження токсикантів різної хімічної природи є головною причиною порушення біологічної різноманітності і продуктивності водойм. Переважно забруднення водойм відбувається зі стічними й скидними водами та атмосферними опадами (Афанасьєв та ін., 2010).

У більшості випадків для виявлення токсичності речовин і встановлення їх меж токсичного впливу використовують хіміко-токсикологічний аналіз (Токсикологічна ..., 2015). Одним із методів проведення таких аналізів є модельні експерименти. Однак необхідно зауважити, що з методологічної точки зору модельні дослідження мають низку недоліків. Зокрема, ці експерименти здійснюються в ході уніфікованих/фіксованих досліджень, вплив токсикантів вивчається ізольовано, а саме враховується ефект багатofакторності (температури, рН середовища, хімічного складу, наявності інших токсикантів у воді тощо). Крім того, не відстежується їхня комбінована дія або трансформація. Це певним чином може вплинути на невиправдану екстраполяцію встановлення меж толерантності тестових організмів.

Для врахування вище перерахованих недоліків, а саме виявлення особливостей токсичності сполук і відповідно екологічної ситуації водойм, використовують метод біотестування якості води. В цих дослідженнях враховується сумісний вплив всіх наявних забруднюючих речовин у воді, продуктів їх трансформації та метаболізму, гідрохімічний режим водойми. Цей метод має теж певні недоліки, оскільки не надає повної інформації щодо токсичних властивостей кожної окремо взятої речовини.

Отже, встановлення відмінності негативної дії токсиканту за модельного експерименту, де головною впливовою силою буде лише дія токсиканта, і методів біотестування, де токсичність сполуки залежить від особливостей інших екологічних факторів середовища, має великий науковий інтерес. Тому метою наших досліджень було провести порівняльний аналіз фармотоксикологічного ефекту токсиканту на гідробіонтів за модельного експерименту і при біотестуванні якості води. Оскільки встановлення оцінки ризику забруднення водних екосистем з точки зору їх функціонування повинно

полягати в урахуванні складних екологічних зв'язків і також встановлення безпосередньої дії токсиканта.

Для досягнення поставленої мети нами було обрано загально вживаний при вирощуванні різноманітних агрокультур пестицид (інсектицид) хлорпірофос (О,О-Диетил-О-3,5,6-трихлор-2-піридилфосфоротіоат, $C_9H_{11}C_{13}NO_3PS$). Він використовується у сільському господарстві для знищення широкого спектру шкідливих комах і кліщів (Richendrfer et al., 2012). Цей пестицид істотно токсичний для більшості видів тварин, в тому числі і гідробіонтів (Richendrfer et al., 2012). Токсичність хлорпірофосу для риб пов'язана з антихолінергічним ефектом. Хлорпірофос, потрапляючи в організм, фосфорилує деякі біологічні субстрати, зокрема ацетилхолінергічного ферменту, яка має важливу роль у передачі нервового імпульсу. При взаємодії пестициду з естеразами відбувається пригнічення їхньої активності в результаті конкурентного гальмування. Це, в подальшому, призводить до порушення проходження нервових імпульсів (Lessenger & Resse, 2000; Ma Liu et al., 2014) ГДК по хлорпірофосу становить 0,0002 мг/дм³.

Матеріал і методи

Дослідження проводилося на Білоцерківській експериментальній гідробіологічній станції Інституту гідробіології НАН України. Об'єктами дослідження були личинки коропа *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1748, отримані заводським методом. На ранньому постембріональному етапі онтогенезу саме личинки є найчутливішими до умов середовища, що полегшує встановлення ступеню токсичності хлорпірофосу на організм.

Для встановлення токсикофармакологічного ефекту хлорпірофосу в модельних експериментах було поставлено низка експериментів з заданими концентраціями токсиканту: 0,0005; 0,0025; 0,0125 і 0,0250 мг/дм³. Експозиція личинок у розчинах хлорпірофосу тривала 96 години. Личинки в кількості 40 шт. були посаджені у чашки Петрі об'ємом 50 мл із заданими концентраціями.

Для біотестування якості води було відібрано воду з природних водойм, які географічно були розташовані вздовж сільськогосподарських угідь – ділянка р. Протока (околиці с. Піщана), руслова ділянка р. Рось (с. Городище) та Білоцерківське середнє водосховище (БСВ) (р. Рось, ділянка, що була розташована вище за течією від м. Біла Церква). У цих водоймах було визначено концентрацію хлорпірофосу у воді на час експерименту.

Дослідження проводили протягом 144 години. Личинки в кількості 40 шт. були поміщені в чашки Петрі об'ємом 50 мл із водою із досліджуваних ділянок водойм. Кожні 12 год. проводилася заміна води для зменшення впливу метаболітів на організм і рибали підрахунок смертності личинок.

Визначення первинної продукції фітопланктону проводили склянковим методом (Хижняк та ін., 2014).

Вміст пестициду визначали за допомогою газової хроматографії. Концентрацію хлорпірофосу визначали співробітники лабораторії біологічно активних сполук ІГБ НАНУ методом газової хроматографії (Schwantes et al, 2020). Для хроматографування використовували рідкісний хроматограф Agilent 1100. Колонка 4,6x150,0 мм, термостатування при 40 °С, рухлива фаза – ацетон, швидкість руху потоку – 0,3 мл/хв., об'єм введеного в хроматограф екстракту зразку – 5 мкл.

Хімічний аналіз води, первинну продукцію та деструкцію органічних сполук згідно здійснювали (Методи ..., 2006).

За результати досліджень були обраховані летальні концентрації (LC) за допомогою пробіт-аналізу з використанням програми Epa probit analysis program used for calculating LC/EC values (Version 1.5).

Результати та обговорення

Як показали гострі модельні експерименти проведені на личинках коропа протягом 72 год. виявлено 100%-у їх смертність у концентрації 0,05 мг/дм³, а за 96 год. вона відбулася при концентрації 0,05 мг/дм³ хлорпірофосу. За концентрації 0,0125 мг/дм³ смертність становила 50%, за концентрації 0,0075 мг/дм³ – 19,5%. Слід зауважити, що токсичний ефект проявлявся у риб за концентрацій 0,0125 протягом 48 год. експерименту (табл. 1).

Таким чином, за час проведення модельних експериментів по впливу хлорпірофосу на личинок коропа виявлена його гостра токсичність. Для личинок 96 год. LC10 становила 0,002 мг/дм³, LC50 – 0,009, LC99 – 0,173 мг/дм³ (Рис. 1). Цей препарат виявляв нервово-паралітичні симптоми у риб. Отже,

Таблиця 1

Кількість загиблих личинок коропа за дії хлорпірофосу відносно добового інтервалу, %

Концентрації, мг/дм ³	Година						%
	6	12	24	48	72	96	
Контроль	-	-	-	-	-	-	0
0,0005	-	-	-	1,2	-	6	7,2
0,0075	-	-	-	-	3,6	15,8	19,4
0,0125	-	-	-	4,5	21,6	26,1	52,2
0,0250	1,0	5,3	10,5	17,9	33,8	31,5	100
0,05	0,9	18,7	31,3	34,0	15,1	-	100

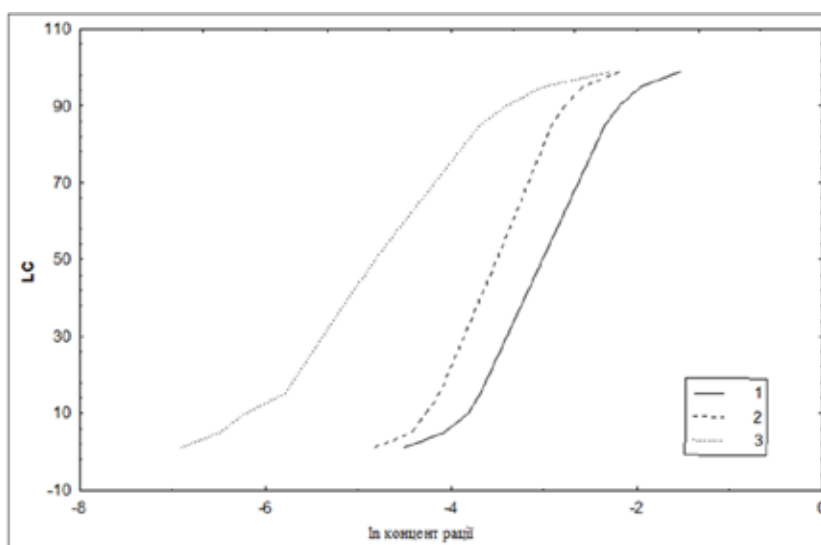


Рис. 1. Токсичні концентрації хлорпірофосу для личинок коропа за пробіт-аналізом

Примітка: 1 – 24 год, 2 – 48 год, 3 – 96 год

цей пестицид є потужним токсикантом і за фармакологічним ефектом належать до першого класу токсичних сполук (Gupta, 2016).

Ділянка р. Рось Білоцерківського середнього водосховища характеризувалася найнижчою концентрацією хлорпірофосу, яка становила 0,0002 мг/дм³. Його концентрація у воді на ділянці р. Протока, на руслових ділянках р. Рось біля с. Пилипча і Городище значно переважали контрольну ділянку – 0,0025; 0,0057; 0,0120 мг/дм³ відповідно.

При біотестуванні якості води з природних водойм, де був присутній цей пестицид, було виявлено значно нижчу його токсичність на життєздатність личинок коропа, ніж при проведенні модельних експериментів (Табл. 2). За результатами цих досліджень LC₅₀ становило 0,255 мг/дм³, що в 30 разів нижче, ніж за хімічним методом.

Таку відмінність токсичного ефекту хлорпірофосу на личинок коропа можна пояснити різними умовами водного середовища. Так, в модельних дослідженнях личинки поміщалися у воду із стандартними (нормованими) гідрохімічними показниками і токсикантом. У випадку з біотестуванням вода відбиралася з природних водойм з різним гідрохімічним складом, а також з присутністю в ній біоти. Отже, за дії одного й того ж токсиканта, але за різним складом води ступінь фармакологічного ефекту хлорпірофосу змінювалася.

Очевидно, прояви достатньо низькою токсичності хлорпірофосу за біотестувальними досліджень може бути пов'язано

з багатьма факторами. Відомо, що на активність більшості фосфорорганічних речовин, в тому числі і хлорпірофос, можуть впливати різні кліматичні умови, а саме температура і вологість навколишнього середовища до, під час та після обробки прилеглої до водойм території (Liu et al., 2001). У водному середовищі на тривалість збереження та можливість його розподілу у воді можуть впливати також інтенсивність світла та рН. Не менш важливим фактором можуть бути мікроорганізми, які в результаті своєї життєдіяльності можуть деактивувати цей пестицид (Singh et al., 2003).

Певним доказом вище перерахованих припущень є результати наших досліджень. Так, за результатами проведених досліджень було відмічено високий ступінь біогенного забруднення на ділянки р. Рось та р. Протока, воду яких відбирали для біотестування. Концентрація у воді сполук азоту і фосфору в дослідних ділянок водоймах наведена в табл. 3.

Отримані гідрохімічні показники за концентрацією біогенних сполук в дослідних водоймах повною мірою відповідають характеру забруднення. Так, підвищена концентрація фосфору у воді в районі с. Городище може свідчити про потрапляння у водойму побутово-комунальних стоків та стоків з полів. Комунальні стоки в більшості випадків характеризуються високим вмістом фосфору як компоненту миючих засобів. Більша концентрація нітратів у воді порівняно з іншими дослідними ділянками

Таблиця 2

Вживаність личинок коропа при утримання їх у воді з різних досліджувальних точок, %

Точка лова	48 год.	96 год.	120 год.	144 год.
Р. Рось, с. Городище	98,7±1,3	96,7±2,0	93,3±1,8	82,7±6,4
Р. Рось, с. Пилипча	98,0±1,2	98,0±1,3	92,0±1,2	75,3±4,8
Р. Протока, с. Піщана	98,0±1,2	96,0±4,0	84,7±5,3	51,3±2,7
Р. Рось, Середнє Білоцерківське водосховище	99,3±0,7	98,7±1,3	95,3±2,9	87,3±8,2

Таблиця 3

Хімічні показники води дослідних ділянок р. Рось та р. Протока

Місце лову	Нітрати мг N/л, NO ₃ ⁻	Нітрити мг N/л, NO ₂ ⁻	Амоній мг N/л, NH ₄ ⁺	Фосфати мг P/л, P/PO ₄ ³⁺
Р. Рось, с. Городище	1,83–9,00	0,02–0,09	0,41–1,25	0,39–0,62
Р. Рось, с. Пилипча	0,90–3,00	0,01–0,04	0,41–0,86	0,10–0,49
Р. Протока, с. Піщана	<0,65–6,33	<0,02–0,06	0,85–4,6	0,17–0,53
Р. Рось, БСВ	≤0,65–1,21	0,01–0,04	0,21–0,67	0,23–0,67

(в середньому у 2,6 разів) вказує також на постійне потрапляння господарсько-побутових вод та змивів із сільгоспугідь, які багаті на сполуки азоту.

Гідрохімічні показники дослідної ділянки в районі с. Піщана свідчать про переважання забруднення води сільськогосподарськими стоками. На це вказує відносно висока концентрація йонів амонію і нітритів, яка в середньому переважає в 2,0 рази та у 4,5 рази відповідно у інших досліджених ділянках. Ці сполуки є головними складовими мінеральних добрив, які застосовують агропромисловими підприємствами. Слід відмітити, що значна концентрація їх у воді зазвичай свідчить про свіже забруднення, оскільки вони є не стійкими і відносно за короткий час перетворюються в нітрати.

Гідрохімічні показники дослідної водної ділянки біля с. Пилипча свідчать про рівновіддаленість від джерел забруднення, оскільки показники біогенів були найменшими порівняно з іншими.

Ділянку р. Рось біля дендропарку Олександрія можна вважати за контрольну, оскільки азотне забруднення не перевищує фонові концентрації для цього регіону.

Значний вміст біогенів, очевидно, спричинив значний ріст біопродукції у дослідних ділянках. Так, за результатами наших досліджень було встановлено, що у всіх досліджених водоймах продукційні процеси значно переважали над деструкційними. Але в найбільш забрудненій ділянці р. Протока (с. Піщана) A/R – коефіцієнт досягав 95,5, що викликано масовим розвитком фітопланктону, більшою мірою синьо-зелених водоростей. Збагачення води біогенними сполуками зі стоками з полів та надходження органічного забруднення від пасовищ рогатої худоби викликає істотну ефтрофікацію, водойму можна віднести до гіперефтрофної. Істотне надходження до води пестицидів призводить до деякого зниження (р. Рось, с. Городище та с. Пилипча)

до зниження первинної продукції та зменшення величини A/R – коефіцієнту порівняно до умовного контролю (табл. 4).

За ступенем забруднення стоків з прилеглих аграрних територій та господарсько-комунальних стоків дослідженні ділянки річок можна розташувати таким чином: р. Рось (с. Городище) > р. Протока (с. Піщана) > р. Рось (с. Пилипча) > р. Рось (дендропарк Олександрія) (табл. 2).

Отже, низький фарамакологічний ефект хлорпірофоса на личинок коропа за результатами біотестування якості води свідчить, що гідрохімічні показники і наявність у водоймі біоти, зокрема бактеріопланктону, можуть впливати на прояви токсичності цієї сполуки.

Таким чином, результати наших досліджень засвідчують те, що хімічний метод визначення токсичності речовини дещо не відображує ефект дії токсикатна, оскільки його ГДК за хімічними дослідженнями можуть значно меншими, ніж в природних водоймах. Це очевидно пов'язано з тим, що хімічний метод не завжди відображає сумісну дію всіх факторів, наявних у водних екосистемах. Відповідно, на тлі цих фактів метод біотестування є більш досконалим та засвідчує екологічний стан водойми незалежно від того, які саме забруднюючі речовини і в якому співвідношенні призводять до змін життєво важливих функцій у організмах. При цьому слід відмітити, що одночасно з біотестуванням середовища можна проводити також фіксацію відхилення тест-об'єкта від норми за морфологічними, фізіологічними, біохімічними, генетичними, імунними показниками. Отримані результати надають більш повну характеристику екологічного стану водойми та можливість прогнозування подальшого розвитку екологічної ситуації на досліджуваних водоймах.

Висновки

Встановлено, що хлорпірофос чинить істотний вплив на личинок коропа в модельних

Таблиця 4

Первинна продукція та деструкція водойм агроекосистем, червень 2022 р.

	Валова продукція (A), мг O_2 дм ³ /год.	Чиста продукція, мг O_2 дм ³ /год.	Деструкція (R), мг O_2 дм ³ /год.	A/R
Р. Рось, с. Городище	0,61	0,57	0,04	15,25
Р. Протока, с. Піщана	1,91	1,88	0,02	95,5
Р. Рось, Дендропарк	0,24	0,24	0,01	24,0

експериментах, їхня життєздатність суттєво знижується. Цей пестицид виявляє гостру токсичність, 96 год. LC50 хлорпірофосу становить 0,009 мг/дм³, LC99 – 0,173 мг/дм³. При збільшенні експозиції риб у розчинах хлорпірофосу токсичність пестициду постійно зростає.

У зонах стоків з агропромислових підприємств спостерігається істотно підвищення концентрації біогенних сполук, а також пестицидів, які застосовуються для боротьби з шкідниками рослин. За нашими даними, на деяких ділянках р. Рось та р. Протока відмічено збільшення кон-

центрації нітритів у 2 рази, йонів амоній – у 2–6 разів. У воду з прилеглих територій знаходиться хлорпірофос, концентрація якого досягає 0,057–0,0120 мг/дм³.

За біотестуванням води з цих ділянок річок та при визначенні життєстійкості личинок коропа встановлено, що при розрахунку токсичних проявів хлорпірофосу LC50 становить 0,255 мг/дм³.

Таким чином, у природних водоймах відбуваються процеси, які знижують токсичність хлорпірофосу по відношенню до модельних експериментів. Біотестування виявилось кращим методом для оцінки якості води.

Список використаної літератури

Афанасьєв С. О., Васенко О. Г., Поддашкін О. В. Ієрархічний підхід до оцінювання екологічного ризику погіршення стану екосистем поверхневих вод України. *Зб. наук. пр. УкрНДІЕП*. 2010. 32. С. 75–90.

Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенко; НАН України, Інститут гідробіології. Київ: Лотос, 2006. 408 с.

Токсикологічна хімія: навч.-метод. посіб. для студентів фармац. ф-ту заочної форми навчання / уклад. О. І. Панасенко [та ін.]. Запоріжжя: ЗДМУ, 2015. 235 с.

Хижняк М. І., Євтушенко М. Ю. Методологія вивчення угруповань водних організмів. Київ, 2014. 270 с.

Gupta P. R. *Fundamentals of Toxicology. Essential Concepts and Applications*. Academic Press. 2016. 398 p. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01775-0>.

Lessenger J. E., Resse B. E. The pathophysiology of acetylcholinesterase inhibiting pesticides. *Agromed*. 2000. Vol. 2. P. 5–19.

Liu B., McConnell L. L., Torrents A. Hydrolysis of chlorpyrifos in natural waters of the Chesapeake Bay. *Chemosphere*. 2001. Vol. 44(6). P. 1315–1323. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00506-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00506-3).

Ma J., Liu Y., Niu D., Li X. Effects of chlorpyrifos on the transcription of CYP3A cDNA, activity of acetylcholinesterase, and oxidative stress response of goldfish (*Carassius auratus*). *Environ Toxicol*. 2014. Vol. 30(4). P. 422–429.

Richendrerfer H., Pelkowski S. D., Colwill R. M., Créton R. Developmental sub-chronic exposure to chlorpyrifos reduces anxiety-related behavior in zebrafish larvae. *Neurotoxicol Teratol*. 2012. 4(34). P. 458–465.

Schwantes D., Gonçalves A. C., Conradi Junior Ê. Determination of chlorpyrifos by GC/ECD in water and its sorption mechanism study in a rhodic ferralsol. *J. Environ Health Sci Eng*. 2020. 18(1). P. 149–162. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00448-1>.

Singh B. K., Walker A., Morgan J. A. W., Wright D. J. Effects of Soil pH on the Biodegradation of Chlorpyrifos and Isolation of a Chlorpyrifos-Degrading Bacterium. *Appl Environ Microbiol*. 2003 69(9). P. 5198–5206. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.9.5198-5206.2003>.

References (translated & transliterated)

Afanasyev, S. O., Vasenko, O. H., Poddashkin, O. V., & Rybalova, O. V. (2010). Ієрархічний підхід до оцінювання екологічного ризику погіршення стану екосистем поверхневих вод України [Hierarchical approach to environmental risk assessment of surface water ecosystems of Ukraine]. *Zb. nauk. pr. UkrNDIEP [Coll. of science works of UkrNDIEP]*, 32, 75–90 [in Ukrainian].

Romanenko, V. D. (Eds.). (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen' poverkhnevnykh vod [Methods of hydroecological research of surface waters]*. NAN Ukrayiny. Instytut hidrobiolohiyi. Kyiv: Lotos [in Ukrainian].

Panasenko, O. I., et al. (2015). *Toksykologichna khimiya [Toxicological chemistry]*. Zaporizhzhya: ZDMU [in Ukrainian].

Khyzhnyak, M. I., & Yevtushenko, M. Yu. (2014). *Metodolohiya vyvchennya uhrupovan vodnykh orhanizmiv [Methodology of studying groups of aquatic organisms]*. Kyiv [in Ukrainian].

Gupta, P. R. (2016). *Fundamentals of Toxicology. Essential Concepts and Applications*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01775-0> [in English].

Lessenger, J. E., & Resse, B. E. (2000). The patophysiology of acetylcholinesterase inhibiting pesticides. *Agromed.* 2, 5–19 [in English].

Liu, B., McConnell, L. L., & Torrents, A. (2001). Hydrolysis of chlorpyrifos in natural waters of the Chesapeake Bay. *Chemosphere*, 44 (6), 1315–1323. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00506-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00506-3) [in English].

Ma, J., Liu, Y., Niu, D., & Li, X. (2014). Effects of chlorpyrifos on the transcription of CYP3A cDNA, activity of acetylcholinesterase, and oxidative stress response of goldfish (*Carassius auratus*). *Environ Toxicol.* 30 (4), 422–429 [in English].

Richendrfer, H., Pelkowski, S.D., Colwill, R.M., & Créton, R. (2012). Developmental sub-chronic exposure to chlorpyrifos reduces anxiety-related behavior in zebrafish larvae. *Neurotoxicol Terato*, 4 (34), 458–465 [in English].

Schwantes, D., Gonçalves, A. C., Conradi Junior, É., Campagnolo, M. A., & Zimmermann, Ju. (2020). Determination of chlorpyrifos by GC/ECD in water and its sorption mechanism study in a rhodic ferralsol. *J. Environ Health Sci Eng.* 18 (1). 149–162. <https://doi/10.1007/s40201-020-00448-1> [in English].

Singh, B. K., Walker, A., Morgan, J. A. W., & Wright, D. J. (2003). Effects of Soil pH on the Biodegradation of Chlorpyrifos and Isolation of a Chlorpyrifos-Degrading Bacterium. *Appl Environ Microbiol.* 69 (9), 5198–5206. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.9.5198-5206.2003> [in English].

Отримано: 02.06.2023

Прийнято: 16.06.2023



УДК 612.122

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.8>

ОСОБЛИВОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ МОЛОДШИХ ШКОЛЯРІВ, ЯКІ ПЕРЕХВОРИЛИ НА ГРВІ

**В. І. Шейко¹, О. Б. Кучменко², Е. О. Глазков³, О. Д. Боярчук⁴, Л. С. Мхітарян⁵,
О. А. Журавльов⁶**

Грип і гострі респіраторні вірусні інфекції є однією з актуальних проблем медико-біологічної науки, що зумовлено високим рівнем захворюваності серед дорослого населення, а також високим

¹ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри біології
(Ніжинський державний університету імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)
e-mail: interlycin@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7932-4478

² доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри біології
(Ніжинський державний університету імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)
e-mail: kuchmeb@yahoo.com
ORCID: 0000-0002-3021-8583

³ доктор медичних наук, професор,
доцент кафедри патологічної фізіології
(Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ)
e-mail: foleogont@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7084-3693

⁴ кандидат біологічних наук, доцент,
завідувач кафедри анатомії і фізіології людини та тварин
(Луганський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Миргород)
e-mail: boiarchuk.helen@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4388-6011

⁵ доктор медичних наук, професор,
завідувач навчально-наукової лабораторії з біохімічних досліджень
(Ніжинський державний університету імені Миколи Гоголя, м. Ніжин)
e-mail: laura_mkhitaryan@ukr.net
ORCID: 0000-0002-2347-0107

⁶ кандидат біологічних наук,
доцент кафедри фізіології людини і тварин
декан факультету біології та лісового господарства
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
e-mail: Zhuravlov.Oleksandr@vnu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7858-104X

рівнем захворюваності та віддаленими ускладненнями серед дітей раннього віку. Практично кожна дитина щорічно не по одному разу переносить епізоди гострих вірусних респіраторних інфекцій або грипу. Хоча вірус у першу чергу уражає легені й у клінічних проявах захворювання переважають респіраторні симптоми, проте він суттєво впливає на ризик розвитку та клінічний перебіг хвороби серця та судин, які є складниками кардіореспіраторного апарату людського організму.

Мета дослідження – з'ясувати особливості діяльності серцево-судинної системи молодших школярів, які переохворіли на гострі вірусні респіраторні інфекції.

Функціональний стан ССС характеризували такі показники: частота серцевих скорочень, артеріальний тиск (систоличний та діастолічний), пульсовий тиск, систолічний об'єм крові, хвилинний об'єм крові. Досліджували антропометричні показники за загальноприйнятими методиками. Дослідження проведено у групі молодших школярів (7–10 років) загальною кількістю 140 осіб, хлопчиків та дівчаток. Усі учасники дослідження були розподілені на дві групи. Перша група – діти, які переохворіли на ГРВІ (70 осіб), та група, які не хворіли (70 осіб). Для проведення дослідження було отримано згоду батьків дітей.

Показники центральної гемодинаміки у молодших школярів, які переохворіли на гострі вірусні респіраторні інфекції, мали достовірні зміни, а саме збільшення частоти серцевих скорочень, систолічного та діастолічного тисків, хвилинного об'єму крові, що вказує на функціональне навантаження серцево-судинної системи. Отримані результати вказують, що у дітей, які переохворіли на гострі вірусні респіраторні інфекції, відзначається функціонально-адаптаційне виснаження.

Антропометричні характеристики не зазнали суттєвих змін під впливом патофізіологічного процесу, який був викликаний ГРВІ.

Ключові слова: дитяче населення, гострі респіраторні вірусні інфекції, пульс, артеріальний тиск, систолічний об'єм крові, хвилинний об'єм крові, серцево-судинна система, антропометрія.

FEATURES OF THE ACTIVITY OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF YOUNGER SCHOOLCHILDREN WITH ARVI

**V. I. Sheiko, O. B. Kuchmenko, E. O. Glazkov, O. D. Boyarchuk, L. S. Mkhitaryan,
O. A. Zhuravlyov**

Influenza and acute respiratory viral infections are one of the urgent problems of medical and biological science, which is due to the high level of morbidity among the adult population, as well as the high level of morbidity and remote complications among young children. Almost every child suffers episodes of acute viral respiratory infections or flu more than once a year. Although the virus primarily affects the lungs, and the clinical manifestations of the disease are dominated by respiratory symptoms, it significantly affects the risk of development and the clinical course of heart and blood vessel disease, which are components of the cardiorespiratory system of the human body.

The purpose of the study is to investigate the features of the cardiovascular system of junior high school students who fell ill with acute viral respiratory infections.

The functional state of the cardiovascular system was characterized by the following indicators: heart rate, systolic and diastolic blood pressure, pulse pressure, systolic blood volume, minute blood volume.

Anthropometric indicators were studied according to generally accepted methods.

The research was conducted in a group of junior high school students (7-10 years old), a total of 140 people, boys and girls. All study participants were divided into two groups. The first group, children who got sick with ARVI (70 individuals), and the group who did not get sick (70 individuals). The consent of the children's parents was obtained for the study.

Indicators of central hemodynamics in younger schoolchildren who fell ill with acute viral respiratory infections had significant changes, namely an increase in heart rate, systolic and diastolic pressure, minute blood volume, which indicates the functional load of the cardiovascular system. The obtained results indicate that functional and adaptive exhaustion is noted in children who have contracted acute viral respiratory infections. Anthropometric characteristics did not undergo significant changes under the influence of the pathophysiological process caused by ARVI.

Key words: pediatric population, acute respiratory viral infections, pulse, blood pressure, systolic blood volume, minute blood volume, cardiovascular system, anthropometry.

Вступ

Гострі респіраторні вірусні інфекції (ГРВІ) можуть проявляти вплив на вегетативні функції організму, у тому числі на діяльність серцево-судинної системи. Хоча серцеві ускладнення внаслідок ГРВІ є рідкісними, але деякі діти можуть мати підвищений ризик розвитку таких ускладнень (Крамарьов, 2021; Ryu & Cowling, 2021). Основним чинником, що впливає на серцево-судинну систему під час ГРВІ, є генералізований патофізіологічний процес, який характеризується загальним запальним процесом в організмі. Клінічна картина ГРВІ складається із загальних та місцевих симптомів. Загальні симптоми включають млявість, нездужання, головний біль, відчуття розбитості та лихоманку. Ці симптоми виникають через короткочасну вірусемію та системний вплив прозапальних цитокінів. Чхання, нежить, біль у горлі та кашель є симптомами, які відображають процес запалення слизових оболонок дихального тракту (Kalil & Thomas, 2019; Watanabe et al., 2021).

Серед наслідків впливу ГРВІ на організм можуть бути: міокардит – це запалення м'язової тканини серця, воно може розвиватися внаслідок прямої інфекції вірусами або внаслідок відповіді організму на запалення в респіраторній системі (Андрікевич, 2021; Duan et al., 2020; Watanabe et al., 2021); перикардит – запалення оболонки, що оточує серце (перикарда) (Duan et al., 2020; Ryu & Cowling, 2021; Tuckerman et al., 2019); аритмія – ГРВІ може викликати нерегулярний серцевий ритм, такий як швидкий або уповільнений пульс (Kalil & Thomas, 2019; Protonotarios & Marelli-Berg, 2021).

Гострі респіраторні вірусні інфекції можуть викликати збільшення ризику виникнення тромбозу за рахунок генералізованого запального процесу, який супроводжується згущенням крові. Слід зауважити, що тромбози та інші патологічні враження судин після ГРВІ не мають масового характеру (Protonotarios & Marelli-Berg, 2021; Ryu & Cowling, 2021). Гострі респіраторні вірусні інфекції є поширеними серед дітей і мають різну етіологію. Клінічна картина ГРВІ включає загальні та місцеві симптоми, які можуть варіювати у відношенні від вірусного агента. Запобігання ГРВІ передбачає дотримання простих гігієнічних заходів та вакцинацію (Bitzan & Zieg, 2018; Hauge et al., 2020; Hoy et al., 2023; Watanabe et al., 2021).

Частота захворювань дітей на ГРВІ доволі висока, літературні дані свідчать, що 2–4 рази на рік відзначаються факти захворювань, особливо у осінньо-зимовий та зимово-весняний періоди. Аналіз медичної документації дітей, які перехворіли на ГРВІ, свідчить, що найменший період захворювань становив сім діб, найбільший – до 20 діб, відповідно, середній показник становить 13–14 діб. Літературні дані свідчать, що частота та тривалість захворювання залежать від індивідуальних характеристик хворого, таких як імунний статус, наявність хронічних та супутніх захворювань (Bitzan & Zieg, 2018; Duan et al., 2020; Hoy et al., 2023; Watanabe et al., 2021).

Мета роботи – дослідити особливості діяльності серцево-судинної системи молодших школярів, які перехворіли на гострі вірусні респіраторні інфекції.

Матеріал і методи

Для отримання даних антропометричних характеристик було використано стандартні методи дослідження. Визначали зріст за допомогою ростоміру, вагу – шляхом зважування на електричних вагах, динамометрія та спірометрія здійснювалися відповідно за допомогою кистьового динамометра та спірометра, а також вимірювали обвід грудної клітки та розраховували такі індекси: індекс маси тіла (ІМТ), життєвий індекс, силовий індекс, Індекс Баєвського (Фролова та ін., 2020; Жарінова та ін., 2021).

Стан серцево-судинної системи визначали за такими показниками: частота серцевих скорочень, артеріальний тиск (систоличний та діастолічний), пульсовий тиск, систолічний об'єм крові, хвилинний об'єм крові (Жарінова та ін., 2021).

Частоту серцевих скорочень (ЧСС) визначали у стані відносного спокою. У спокої ЧСС фіксували пульсотаксометром Polar F52c, пальпаторно, а також за допомогою комплексу «Варікард 2.51». Вимірювання величин артеріального тиску проводили з використанням методу Н.С. Короткова в положенні сидячи (Жарінова та ін., 2021).

Вимірювання вказаних показників проводилося тричі, для статистичної обробки вибирали найкращий результат.

Дослідження проводилося на базі кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя у 2021–2022 рр. Дослідження проведено у групі молодших школярів (7–10 років) загальною кількістю 140 осіб, хлопчиків та дівчаток, співвідношення 52% та 48% відповідно. Усі учасники

дослідження були розподілені на дві групи. Перша група – діти, які переохворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції (70 осіб), друга група – які не хворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції і були практично здорові (70 осіб).

Для проведення дослідження було отримано згоду батьків дітей, які взяли участь у ньому.

Робота виконана відповідно до біоетичних норм із дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України. Усі волонтери дали письмову згоду на участь у дослідженні (Гельсінська ..., 2008; Загальна ..., 2005).

Статистичну обробку отриманих даних здійснено методами математичної статистики з використанням комп'ютерної програми Microsoft Excel 10.

Результати та обговорення

Дослідження антропометричних показників дітей, які переохворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції, представлено в табл. 1.

Абсолютні величини таких показників, як довжина тіла, маса, індекс маси тіла та об'єм грудної клітки у дітей, які переохворіли на ГРВІ, не відрізняється від показників контрольної групи. Можливим поясненням відсутності різниці може бути короткочасний характер впливу ГРВІ. Тобто окремих акт хвороби не викликає значних антропометричних змін, але за систематичних захворювань у дітей зі зниженими імунним статусом можуть бути виявлені нега-

тивні зміни. Це особливо актуально в групах ризику.

Відносні величини лінійного розміру тіла та маса тіла у дітей, які переохворіли на ГРВІ, були більші на 0,7%, та 13,6% відповідно порівняно з контрольною групою.

Показник індексу маси тіла на 9,3% більший у групі дітей, які переохворіли на ГРВІ. Даний факт може бути пов'язаний із характеристикою дітей, які переохворіли, або з результатом гіподинамії при захворюванні.

Абсолютні показники життєвого індексу у дітей контрольної групи були більші порівняно з дітьми, які переохворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції.

Відносні зміни життєвого індексу у дітей, які переохворіли ГРВІ, на 6% менші, ніж у контрольній групі. Це, своєю чергою, може відобразитися у оксигенації м'язової тканини та ефективності виконуваної ними роботи. Зауважимо, що безпосередньо в період захворювання ефективність роботи м'язів зменшується.

Показники, що характеризують об'єм грудної клітки у дітей, які переохворіли ГРВІ, в абсолютних величинах не мали достовірної різниці порівняно з контролем. Відносні характеристики даної величини відрізнялися на 3,7% від контролю.

Показники динамометрії у дітей, які переохворіли на ГРВІ, не мають достовірної різниці з практично здоровими дітьми. Варто зауважити, що дослідження проводилося у середньому через 3–5 днів після одужання. Можемо припустити, що м'язова сила кисті доволі швидко відновлюється, оскільки верхні кінцівки беруть активну

Таблиця 1
Показники антропометричних характеристик молодших школярів, які хворіли та не хворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції (M ± m)

Показники	Контрольна група (Референтні значення)	Діти, які переохворіли
Довжина тіла, см	129,48±5,33	130,00±5,57
Маса тіла, кг	27,16±4,83	30,85±4,25
ІМТ, кг/м ²	16,79±1,75	18,35±1,69
Життєва ємність легень, мл	1296,07±250,20	1383,62±243,20
Життєвий індекс, мл/кг	47,72±7,64	44,85±6,14
Об'єм грудної клітки, см	64,13±3,40	66,54±5,18
Динамометрія лівої кисті, кг	12,02±0,15	12,20±0,15
Динамометрія правої кисті, кг	13,30±0,15	13,50±0,15
Середнє значення динамометрії кисті, кг	12,65±0,15	12,86±0,15
Силовий індекс, %	46,60±3,79	41,70±4,15*
Індекс Баєвського, у.о.	3,19±0,02	3,12±0,06*

*достовірні зміни по відношенню до контрольної групи (референтних значень) $p < 0,05$

участь у буденній діяльності та руховій активності.

Індекс Баєвського у дітей, які перехворіли на ГРВІ, був достовірно менший порівняно з контролем. Відносні зміни даного індексу – 2,2%.

Індекс Баєвського характеризує функціональне навантаження на вегетативну нервову систему, яка регулює адаптаційні реакції організму. Так, його збільшення вказує на деяке функціональне навантаження та виснаження адаптаційних механізмів у дітей, що перехворіли на ГРВІ.

Показники центральної гемодинаміки дітей молодшого шкільного віку, які перехворіли та не хворіли на ГРВІ, представлено в табл. 2.

Аналізуючи дані показників центральної гемодинаміки молодших школярів, які перехворіли на ГРВІ, слід указати на достовірні зміни у величинах ЧСС, систолічного та діастолічного артеріального тиску, хвилинного об'єму крові.

Відносні зміни показника ЧСС у дітей, які перехворіли на ГРВІ, були більше на 5% порівняно з контролем.

Систолічний та діастолічний тиск у дітей, які перехворіли на ГРВІ, був більший на 3,1% та на 4,7% відповідно порівняно з контролем.

Пульсовий тиск та систолічний об'єм крові у дітей, які хворіли на ГРВІ, не мали достовірних змін порівняно з практично здоровими дітьми (контроль). Відносні зміни показника пульсового тиску у дітей, які хворіли на ГРВІ, становлять 0,4% порівняно з контролем.

Систолічний об'єм крові у дітей, які перехворіли, був менший на 2,4% порівняно з контролем.

Величина хвилинного об'єму крові у дітей, які хворіли, була достовірно більша порівняно з контролем. Збільшення хвилин-

ного об'єму відбулося за рахунок збільшення ЧСС, а систолічний об'єм крові характеризувався тенденцією до зменшення порівняно з контролем.

Дослідження впливу ГРВІ на стан показників центральної гемодинаміки та антропометричні характеристики дітей віком 7–10 років, які проживали на території м. Ніжина, дає основу для ствердження, що основні антропометричні показники та індекси не зазнають достовірних змін під час хвороби. Це, на нашу думку, зумовлено генетичною програмою розвитку організму, а також законом гетерохронності, що характерно для дитячого організму (Андрікевич, 2021; Крамарьов, 2021). При цьому є тенденція до зменшення в показниках динамометрії та силового індексу у дітей, що перехворіли на ГРВІ. Такі тенденції, скоріше за все, зумовлені генералізованим запальним процесом, який впливає на обмін речовин та діяльність організму в цілому, формуючи адаптаційні реакції до інфекційного стресу, що може зменшити функціонально-фізіологічні характеристики скелетної мускулатури (Слабкий і Дудник, 2018; Duan et al., 2020; Kalil & Thomas, 2019; Watanabe et al., 2021).

Зменшення показників Силового індексу у дітей, які перехворіли на ГРВІ, указує на пригнічення локомоторних функцій, що можна розглядати як захисну реакцію для збереження або оптимізації витрати енергії, а також як ознаку прояву стрес-реакції з імобілізаційним фактором. Зміни в показниках Індексу Баєвського вказують на деяке функціональне навантаження та виснаження адаптаційних механізмів у дітей, що перехворіли на ГРВІ, а також на функціональне напруження в діяльності вегетативної нервової системи (Жарінова та ін., 2021). Саме зазначена частина нервової системи координує усі захисні та адаптаційні функції людського організму, у тому

Таблиця 2

Показники центральної гемодинаміки дітей молодшого шкільного віку, які хворіли та не хворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції ($M \pm m$)

Показники	Контрольна група (Референтні значення)	Діти, які перехворіли
Частота серцевих скорочень, уд/хв	83,04±0,84	87,20±0,90*
Систолічний арт. тиск, мм рт. ст.	98,18±1,0	101,25±0,98*
Діастолічний арт. тиск, мм рт. ст.	62,37±0,53	65,30±0,70*
Пульсовий тиск, мм рт. ст.	35,82±0,45	35,95±0,50
Систолічний об'єм крові, мл	51,70±0,43	50,51±0,45
Хвилинний об'єм крові, л/хв	4,29±0,19	4,40±0,20*

*достовірні зміни по відношенню до контрольної групи (референтних значень) $p < 0,05$

числі бере участь у формуванні та регуляції генералізованого запального процесу (Слабкий і Дудник, 2018; Duan et al., 2020; Kalil & Thomas, 2019; Watanabe et al., 2021).

У нашому дослідженні збільшення показника ХОК у дітей, які перехворіли на ГРВІ, за рахунок збільшення ЧСС указує на низьку адаптаційну здатність серцево-судинної системи до генералізованого процесу запалення. Зменшення адаптаційних можливостей серцево-судинної системи має взаємозв'язок зі змінами в показниках Індекса Баєвського (Жарінова та ін., 2021). Такі функціональні зміни створюють підґрунтя для формування патологічних станів та відтермінованої патології органів і системи організму людини (Kalil & Thomas, 2019; Watanabe et al., 2021).

Таким чином, новизною нашого дослідження є розширення теоретичних уявлень про патолофізіологічні та відновлювальні процеси в дитячому організмі, який перехворів на ГРВІ, а також створення теоретичного підґрунтя для використання показників центральної гемодинаміки як додаткових широкодоступних та з мінімальними матеріальними затратами діагностичних характеристик організму дітей віком 7–10 років для прогнозування функціонального стану серцево-судинної системи.

Висновки

Установлено, що показники центральної гемодинаміки у молодших школярів, які

перехворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції, мали достовірні зміни, а саме: збільшення частоти серцевих скорочень, систолічного та діастолічного тисків та хвилинного об'єму крові, що вказує на функціональне навантаження серцево-судинної системи.

Виявлено функціонально-адаптаційне виснаження організму дітей, які перехворіли на гострі респіраторні вірусні інфекції, що створює умови для формування патологічних станів та відтермінованих патологічних процесів в органах та системах організму. Зазначені процеси в дитячому організмі можуть призвести до формування віддалених патолофізіологічних процесів уже в дорослому організмі.

Спираючись на отримані результати, можна вважати, що показники центральної гемодинаміки надають додаткову інформацію для діагностування та прогнозування функціонального стану організму в цілому та стану вегетативної нервової системи і характеристики адаптаційних можливостей дитячого організму з урахуванням захворюваності на гострі респіраторні вірусні інфекції.

Отримані результати дають основу для подальших досліджень впливу гострих респіраторних вірусних інфекцій на організм та його фізіологічні функції з урахуванням статевого диморфізму дітей молодшого та старшого шкільного віку.

Список використаної літератури

Андрікевич І. І. Гострі респіраторні інфекції в дітей: сучасні тенденції противірусної терапії. *Сучасна педіатрія*. 2021. № 6(118). С. 61–66.

Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». Документ 990_005, редакція від 01.10.2008. [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 (дата звернення: 05.11.2021).

Жарінова О., Іваніва Ю., Куця В. Функціональна діагностика / за ред. О. Жарінової. Київ: Четверта хвиля, 2021. 784 с.

Загальна декларація про біоетику та права людини / Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук. 2005. 12 с. [Електронний ресурс]. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (дата звернення: 05.11.2021).

Крамарьов С. О. Гостра респіраторна вірусна інфекція у дітей: які інструменти в руках педіатрів. *Педіатрія: погляд фахівця*. 2021. № 4(60). С. 20–21.

Слабкий Г. О., Дудник С. В. Тенденції стану здоров'я дитячого населення та доступності медичної допомоги. *Вісник соціальної гігієни та Організації охорони здоров'я України*. 2018. № 2(76). С. 8–13.

Фізичний розвиток дітей раннього віку: методичні вказівки / Т. В. Фролова та ін. Харків: ХНМУ, 2020. 32 с.

Bitzan M., Zieg J. Influenza-associated thrombotic microangiopathies. *Pediatr Nephrol*. 2018. Vol. 33. № 11. P. 2009–2025. <https://doi.10.1007/s00467-017-3783-4>.

Duan J., Wu Y., Liu C., Yang C., Yang L. Deleterious effects of viral pneumonia on cardiovascular system. *Eur Heart J*. 2020 41. № 19. P. 1833–1838. <https://doi.10.1093/eurheartj/ehaa325>.

Hauge S. H., Bakken I. J., de Blasio B. F., Håberg S. E. Risk conditions in children hospitalized with influenza in Norway, 2017–2019. *BMC Infect Dis*. 2020 20, № 1. P. 769. <https://doi.10.1186/s12879-020-05486-6>.

Hoy G., Kuan G., López R., Sánchez N., López B. The Spectrum of Influenza in Children. *Clin Infect Dis*. 2023 76, № 3. P. 1012–1020. <https://doi.10.1093/cid/ciac734>.

Kalil A. C., Thomas P. G. Influenza virus-related critical illness: pathophysiology and epidemiology. *Crit Care*. 2019 23, № 1. P. 258. <https://doi.10.1186/s13054-019-2539-x>.

Protonotarios A., Marelli-Berg F. Influenza-associated cardiac injury: a disease of the cardiac conduction system? *Cardiovasc Res*. 2021 117, № 3. P. 643–644. <https://doi.10.1093/cvr/cvaa174>.

Ryu S., Cowling B.J. Human Influenza Epidemiology. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2021 Vol. 11, № 12. a038356. <https://doi.10.1101/cshperspect.a038356>.

Tuckerman J., Misan S., Crawford N. W., Marshall H. S. Influenza in Children With Special Risk Medical Conditions: A Systematic Review and Meta-analysis. *Pediatr Infect Dis J*. 2019 Vol. 38, № 9. P. 912–919. <https://doi.10.1097/INF.0000000000002405>.

Watanabe S., Hoshina T., Kojiro M., Kusuhara K. The recent characteristics of influenza-related hospitalization in Japanese children. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2021 40, № 9. P. 2011–2015. <https://doi.10.1007/s10096-021-04208-3>.

References (translated & transliterated)

Andrikevych, I. I. (2021). Hostri respiratorni infektsii v ditei: suchasni tendentsii protyvirusnoi terapii [Acute respiratory infections in children: current trends in antiviral therapy] *Suchasna pediatriia [Modern pediatrics]*, 6 (118), 61–66 [in Ukrainian].

Gelsinska deklaracij Vsesvitnoi medicnoi asociacii (2008) «Etichni principy medicnih doslidgen za uchastj lydini u ykosti obekta doslidgen» [Declaration of Helsinki of the World Medical Association «Ethical principles of medical research with the participation of a person as an object of research»] document 990_005. [Electronic resource]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 (asccess date 01.10.2008) [in Ukrainian].

Zagalna deklaracij pro bioetiku ta prava lydini (2005) [General Declaration on Bioethics and Human Rights]. Organizacij Obednanih Nacii z pitan osviti, nauki i kulturi: viddil etiki nauki i tehnologii: stktor socialnih i gumanitarnih nauk [United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Science and Technology Ethics Division: Social Sciences and Humanities Sector]. [Electronic resource] URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (access date 05.11.2021) [in Ukrainian].

Kramarov, S. O. (2021). Hostra respiratorna virusna infektsiia u ditei: yaki instrumenty v rukakh pediatriv. [Acute respiratory viral infection in children: what tools are in the hands of pediatricians]. *Pedyatriia pohliad fakhivtsia: tematychnyi nomer [Pediatrics, a specialist's view: thematic number]*, 4(60), 20–21 [in Ukrainian].

Slabkyi, H. O., & Dudnyk, S. V. (2018). Tendentsii stanu zdorovia dytiachoho naselennia ta dostupnosti medychnoi dopomohy [Trends in the state of health of children and the availability of medical care]. *Visnyk sotsialnoi hihiieny ta orhanizatsii okhorony zdorovia Ukrainy [Herald of social hygiene and health care organization of Ukraine]*, 2(76), 8–13 [in Ukrainian].

Frolova, T. V., Atamanova, O. V., Tereschenko, I. I., & Senatova, A. A. (2020). Fizichni rozvityk ditei ranogo viku: metod. vkaz. dlj studentiv 3 kursu med. far-tiv Kharkiv: KhNMU [Physical development of young children: method. order for students of the 3rd year of med. facts]. Kharkiv: KhNMU [in Ukrainian].

Garinova, O., Ivaniva, Y., & Kuc, V. (2021) Funkcionalna diagnostika [Functional diagnostics]. Kyiv. «Chetverta hvilj». Kyiv [in Ukrainian].

Bitzan, M., & Zieg, J. (2018). Influenza-associated thrombotic microangiopathies. *Pediatr Nephrol*. 33(11), 2009–2025. <https://doi.10.1007/s00467-017-3783-4> [in English].

Duan, J. Wu, Y. Liu, C. Yang, C., & Yang, L. (2020). Deleterious effects of viral pneumonia on cardiovascular system. *Eur Heart J*, 41(19), 1833–1838. <https://doi:10.1093/eurheartj/ehaa325> [in English].

Hauge, S. H., Bakken, I. J., de Blasio, B. F., & Håberg, S. E. (2020) Risk conditions in children hospitalized with influenza in Norway, 2017–2019. *BMC Infect Dis*, 20 (1), 769. <https://doi:10.1186/s12879-020-05486-6> [in English].

Hoy, G., Kuan, G., López, R., Sánchez, N., & López, B., (2023). The Spectrum of Influenza in Children. *Clin Infect Di*, 76 (3), 1012–1020. <https://doi:10.1093/cid/ciac734> [in English].

Kalil, A. C., & Thomas, P. G. (2019). Influenza virus-related critical illness: pathophysiology and epidemiology. *Crit Care*, 23 (1), 258. <https://doi: 10.1186/s13054-019-2539-x> [in English].

Protonotarios, A., & Marelli-Berg, F. (2021). Influenza-associated cardiac injury: a disease of the cardiac conduction system? *Cardiovasc Res*, 117 (3), 643–644. <https://doi: 10.1093/cvr/cvaa174> [in English].

Ryu, S., & Cowling, B. J., (2021). Human Influenza Epidemiology. *Cold Spring Harb Perspect Med*, 11 (12), a038356. <https://doi: 10.1101/cshperspect.a038356> [in English].

Tuckerman, J., Misan, S., Crawford, N.W., & Marshall, H.S. (2019). Influenza in Children With Special Risk Medical Conditions: A Systematic Review and Meta-analysis. *Pediatr Infect Dis*, 38 (9), 912–919. <https://doi: 10.1097/INF.0000000000002405> [in English].

Watanabe, S., Hoshina, T., Kojiro, M., & Kusuhara, K. (2021). The recent characteristics of influenza-related hospitalization in Japanese children. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*, 40 (9), 2011–2015. <https://doi: 10.1007/s10096-021-04208-3> [in English].

Отримано: 03.05.2023

Прийнято: 19.05.2023



ГЕОГРАФІЯ

УДК 338.484:712.253(1-751.2)(477.46)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.9>

РЕКРЕАЦІЙНО-ТУРИСТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СУЧАСНИХ ЛАНДШАФТІВ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «ХОЛОДНИЙ ЯР»

А. В. Плужник¹, Р. П. Власенко², Т. В. Андрійчук³, Б. В. Легоняк⁴

Черкащина має значний туристичний потенціал, що дає змогу розвивати майже всі види туризму на території області, а саме: історико-культурний, екологічний, спортивний, пізнавальний тощо. Одним з унікальних осередків туризму в області може стати національний природний парк «Холодний Яр», який був створений Указом Президента України 1 січня 2022 р. Ландшафти парку мають цікаву історію та відіграють важливу роль у культурному та економічному житті регіону.

Мета статті – на основі аналізу сучасного стану ландшафтів проаналізувати рекреаційно-туристичний потенціал НПП «Холодний Яр».

У статті проаналізовано основні рекреаційні ресурси та особливості розвитку туризму в межах Національного природного парку «Холодний Яр». Туристична галузь на території Холодноярських лісів почала розвиватися ще з минулого століття, проте особливого розвитку досягає лише зараз. Холодний Яр має унікальні лісові ландшафти, які відомі завдяки історичним подіям, що відбувалися тут у період національно-визвольної війни, Коліївщини та Другої світової війни. Серед історико-культурних рекреаційних ресурсів Холодного Яру найбільш відомими є тисячолітній Дуб Максима Залізняка, Мотронинський монастир, Склик, пам'ятник партизанам, залишки валу скіфського городища.

¹ студент другого (магістерського) рівня вищої освіти
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: andriy.pluzhnik@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2644-6222

² кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: vlasenko_r76@ukr.net
ORCID: 0000-0002-3743-4406

³ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та географії
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: andriychuk2012@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5402-9528

⁴ в. о. директора
(Національний природний парк «Холодний Яр», Черкаська обл.)
e-mail: fholodniyyar@ukr.net
ORCID: 0009-0009-0391-1663

Для розширення уявлення населення про природу та історію Холодноярського краю був створений туристично-пізнавальний маршрут «Стежками Максима Залізняка». Його протяжність становить 4 км. Він розрахований на туристів різної вікової категорії та фізичної підготовки. Станції маршруту розташовані на околицях хутору Буда та облаштовані лавочками. Маршрут промаркований спеціальними позначками, вказівниками та облаштований інформаційними щитами й зупинками для відпочинку. Апробація маршруту була здійснена учнями Грушківської гімназії та Головківського ліцею.

Національним парком були розроблені екологічні стежки, які в перспективі будуть апробовані серед охочих туристів та інших любителів історії і природи Холодного Яру.

Ключові слова: національний природний парк, Холодний Яр, туризм, рекреаційні ресурси, ландшафти.

RECREATIONAL AND TOURISTIC POTENTIAL OF MODERN LANDSCAPES OF THE NATIONAL NATURE PARK «KHOLODNYI YAR»

A. V. Pluzhnyk, R. P. Vlasenko, T. V. Andriychuk, B. V. Legonyak

Cherkasy region has significant tourism potential, which allows for the development of almost all types of tourism in the region, namely historical and cultural, ecological, sports, educational, etc. One of the unique centers of tourism in the region can become the national nature park «Kholodnyi Yar», which was created by the decree of the President of Ukraine on January 1, 2022. The landscapes of the park have an interesting history and play an important role in the cultural and economic life of the region.

The purpose of the article is to analyze the recreational and touristic potential of the national nature park «Kholodnyi Yar» based on the analysis of the current state of landscapes.

The article analyzes the main recreational resources and features of the development of tourism within the national nature park «Kholodnyi Yar». The tourism industry in the territory of the Kholodnoyarsk forests began to develop since the last century, but it is only now reaching special development.

Kholodnyi Yar has unique forest landscapes, which are known due to the historical events that took place here during the National Liberation War, Koliiv Oblast and World War II. Among the historical and cultural recreational resources of Kholodnyi Yar, the most famous are the thousand-year-old Maksym Zalizniak Oak, the Motronyn monastery, Sklyk, a monument to the partisans, and the remains of the rampart of the Scythian settlement.

In order to expand the population's perception of the nature and history of the Kholodnoyarsk region, a tourist and educational route «Trails of Maksym Zaliznyak» was created. Its length is 4 km. It is designed for tourists of different age categories and physical fitness. The stations of the route are located on the outskirts of the Buda hamlet and are equipped with benches. The route is marked with special markings, signs and equipped with information boards and rest stops. The route was tested by students of the Hrushkivskiy Gymnasium and the Holovkivskiy Lyceum.

Ecological trails were developed by the national park, which in the future will be tested among willing tourists and other lovers of the history and nature of Kholodnyi Yar.

Key words: national natural park, Kholodnyi Yar, tourism, recreational resources, landscapes.

Вступ

У першій половині ХХІ ст. сфера туризму набуває особливого розвитку в світі та Україні зокрема. Незважаючи на те що у нашій державі триває багаторічна війна з російською федерацією, туристична галузь продовжує розвиватися. Це породжує триаду соціально-економічного ефекту: 1) залучаються інвестиції для розбудови регіональної інфраструктури; 2) акцентується увага населення на місцевих унікальних ландшафтах, а в подальшому розробляються та реалізуються програми, спрямовані на їх збереження; 3) відбувається самоіден-

тифікація Української нації, яка пов'язана з історією, традиціями та культурою певної території.

Черкащина має значний туристичний потенціал, що дає змогу розвивати майже всі види туризму на території області, а саме: історико-культурний, екологічний, спортивний, пізнавальний тощо. Оскільки на теренах зазначеного регіону свого часу зароджувалась Українська державність, територія багата на відомі історичні, культурні, архітектурні пам'ятки, місця перебування відомих постатей (Чабан, 1999). Одним із таких унікальних осередків туризму у Черкаській

області може стати національний природний парк (далі – НПП) «Холодний Яр», який був створений Указом Президента України 1 січня 2022 р.

Ландшафти парку мають цікаву історію та відіграють важливу роль у культурному та економічному житті регіону. У XVIII ст. місцеве урочище стало одним із центрів гайдамацького руху. Тут почалося найбільше повстання проти польської шляхти – Коліївщина під проводом Максима Залізняка та Івана Гонти, якому Тарас Шевченко присвятив свою поему «Гайдамаки» та вірш «Холодний Яр». Під час українських визвольних рухів початку XX ст. тут діяла Холодноярська республіка. Щороку збільшується кількість туристів, які приїжджають відвідати унікальні об'єкти парку, такі як тисячолітній дуб Максима Залізняка, Мотронинський монастир, а також різноманітні історико-культурні пам'ятки.

Лісові ландшафти здавна привертають увагу географів. Цьому присвячено роботи таких науковців, як Д.М. Кравчинський, Є.В. Алексєєв, М.А. Готубець, Г.Ф. Морозов, П.С. Погребняк, Д.В. Воробйов, С.І. Коржинський, В.М. Сукачов тощо. Проте повноцінне вивчення лісових ландшафтів розпочалися лише після 70-х років XX ст. Ф.М. Мільковим, а також українськими географами – Г.І. Денисиком та В.С. Давидчуком. Дослідженню лісових ландшафтів у межах України та їх змін унаслідок антропогенної діяльності присвячено низку робіт (Денисик, 2002; Канський, 2010; Мудрак, 2010; Чебанова, 2017; Придеткевич, 2021; Чиж, 2019; 2020; Яцентюк і Медина, 2020; Александрович і Гулик, 2022). Аналіз туристичної діяльності у межах національ-

них природних парків висвітлено у роботах багатьох українських вчених (Теодорович, 2013; Коллегаєв, 2018; Мельник, Чир, 2019; Коніщева і Ткачова, 2020; Манько і Жук, 2022; Шовкун та ін., 2022).

Мета статті – на основі аналізу сучасного стану ландшафтів проаналізувати рекреаційно-туристичний потенціал національного природного парку «Холодний Яр».

Матеріал і методи

Для досягнення поставленої мети дослідження були використані такі загальнонаукові методи, як аналіз, синтез, порівняння, узагальнення тощо. Для аналізу сучасного стану ландшафтів на території НПП «Холодний Яр» використано супутникові знімки вебресурсу Google Earth. Візуалізація виявлених антропогенних ландшафтів проводилася у програмі QGIS із використанням засобів візуального дешифрування та цифрування фрагменту космічного знімка високої просторової розрізненості.

НПП «Холодний Яр» розташований на Придніпровській височині у південно-східній частині Черкаської області (рис. 1) та знаходиться на перетині Галицько-Слобожанського (лісостепового) широтного екокоридору та Дніпровського меридіонального екокоридору, тому є об'єктом збереження унікальних природних та історико-культурних комплексів.

Загальна площа парку становить 6833,5071 га. Холодний Яр має надзвичайно потужний природний потенціал, адже 95,7% його території вкрито лісовою рослинністю. Реліктові Холодноярські ліси є частиною Смарагдової мережі Європи (UA000026 Kholodnyi Yar) (Emerald..., 2023).

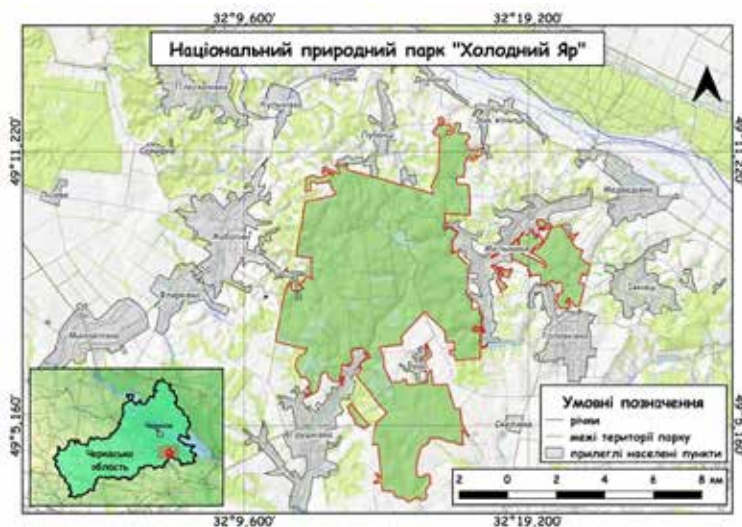


Рис. 1. Межі та розташування НПП «Холодний Яр»

Територія району дослідження знаходиться в адміністративних межах Кам'янської міської, Медведівської та Михайлівської сільських територіальних громад Черкаського району Черкаської області. На півночі територія Холодного Яру прилягає до населених пунктів Лубенці, Деменці та Зам'ятниця, південні околиці лежать на межі з Кіровоградською областю, зі сходу розташовані села Мельники, Медведівка, Івківці та Головкивка, із заходу – села Жаботин, Флярківка і Грушківка, у південно-східній частині парку розташоване селище Скелівка, а також оточений лісовим масивом хутір Буда.

Рельєф місцевості повністю зумовлений особливостями геологічної будови району дослідження. На його формуванні позначилося проміжне розташування території між Українським щитом і Дніпровсько-Донецькою западиною. Одна з геологічних гіпотез стверджує, що Холодний Яр розташований із північної сторони величезного кратера колишнього вулкану (Чорна, 2012). Земна поверхня, на якій розташований Холодний Яр, характеризується наявністю відслонень бурімсської світи, представленої карбонатними стяжіннями у вигляді виступаючих валунів (Крочак та ін., 2016). Схили Холодного Яру V-подібної форми і задерновані. У лівому борту спостерігається відслонення зеленувато-сірих глауконіт-кварцових дрібнозернистих пісковиків та пісковиків із залишками фауни та деревними уламками, палево-жовті лесоподібні суглинки та ґрунтово-рослинний шар. Товща пісків багата на спікули губок зі зв'язаним та незв'язаним скелетом (Клименко, 2011).

Територія національного парку лежить на хвилястій рівнині, що розчленована долинами річок, ярами, балками та горбами з крутими схилами. Він займає найбільш підняте положення та являє собою межиріччя верхньої та середньої течії річки Тясмин. Абсолютні висоти лежать у проміжку від 160 до 220 м над рівнем моря (Мельник та ін., 2006). Серед репрезентованих ландшафтів у Холодному Яру відзначаються дубово-грабові, дубово-ясеневі, липові та кленові широколистянолісові, лісостепові та заплавні ландшафти, приурочені до річкової долини річки Тясмин (Пащенко, 2000).

Кожен природний об'єкт Холодного Яру має власну назву. Серед балок найглибшою та найдовшою є балка Холодний Яр, відносні висоти якої становлять до 80 м, а крутизна схилів – від 10° до 30°. Саме від

цієї балки і походить назва всього лісового масиву (Конякін, 2012). Серед відомих ярів є Кириківський, Гадючий, Святий, Чорний, Січовий, Гайдамацький, Циганський, Поташний, Червоний, Кривенків, Скарбний, Чернечий. Загальна довжина балок, ярів та їх відгалужень становить приблизно 250 км. Центральна частина Холодного Яру представлена великим плоскогір'ям, піднятим на 224 м над рівнем моря, загальним діаметром до 3 км.

Клімат території помірно континентальний із теплим літом і м'якою зимою. Середньорічна температура – 6,5–8,1°C. Тривалість теплого періоду – 247–255 днів. Середньорічна кількість опадів – 440–480 мм у південній та південно-східній частинах басейну та 500–550 мм – у північно-західній частині. У дощові роки кількість опадів зростає до 800 мм, у засушливі – падає до 300 мм. За вегетаційний період, що триває 200–210 днів, випадає 300–386 мм опадів (Андрієнко та ін., 1999). Сніговий покрив тримається у середньому 76–88 днів (друга декада листопада – квітень), висота досягає 25 см. Мінімальна відносна вологість повітря фіксується у літні місяці. Удень відносна вологість дорівнює у середньому 48–54% зранку, а ввечері – 70–78%. У період вегетації рослин можливі посухи, коли відносна вологість падає до 30%. Кількість таких днів на рік – 20. На території переважають північні та північно-західні вітри (Новикова, 2004).

Щодо мікроклімату Холодного Яру, то він є більш вологим та прохолодним порівняно з іншими прилеглими територіями на Придніпровській височині. Особливості мікроклімату зумовлені, передусім, рельєфом території, який характеризується наявністю ярів та балок.

Балки розміщуються нерівномірно, більшість із них зосереджено на південному сході лісового масиву. До того ж балки відриваються переважно на північ. Відповідне розміщення та структура системи балок Холодного Яру є перешкодою для проникнення у центральну частину масиву сухих повітряних мас із південних районів України, саме тому повітря Холодноярських лісів завжди прохолодне. Не менш важливими чинниками, що формують мікроклімат парку, є лісистість території, гідрологічна мережа та рівень урбанізації прилеглих населених пунктів.

Ґрунти Холодного Яру є цілком характерними для зони Лісостепу. На вододілах і схи-

лах переважають опідзолені і реградовані ґрунти, чорноземи типові, а на знижених ділянках рельєфу – лучні, чорноземно-лучні, болотні і торфово-болотні. Найбільш поширені чорноземи типові малогумусні і чорноземи сильно реградовані та темно-сірі опідзолені, реградовані та чорноземи опідзолені (Браславська, 2015).

Водні ресурси парку складаються з поверхневих та підземних вод. Поверхневі води представлені річками, природними та штучними водоймами: озерами, ставками та струмками. Основними річками, що зволожують територію Холодного Яру, є Тясмин, Жаботинка, Косарка. За режимом усі річки району дослідження є рівнинними. Вони мають мішаний тип живлення, при цьому основними джерелами наповнення є атмосферні опади та підземні води. Найбільша обводненість рік спостерігається навесні, найменша – під час літньо-осінньої та зимової межени. Підземні води представлені джерелами, що виходять на поверхню (Новикова, 2004). Також Холодний Яр має добре розвинену систему ставків (Білушенко, 2011).

У Холодному Яру велика кількість джерел та струмків славляться своєю цілющою водою. До таких належать джерела «Живун», «Дзюркало», «Монастирське джерело», «Гиричеве», «Маляреве» тощо. У місцях розташування джерел створено відповідні гідрологічні пам'ятки природи місцевого значення. Джерело «Живун» здавна відоме завдяки своїй цілющій воді. Потужність джерела становить приблизно 500 мл/хв.

Хімічний склад води джерела дуже подібний до відомої «Нафтусі» (Коноваленко, Карастан, 2006).

Територія парку знаходиться на межі Центральнопридніпровської та Південнопридніпровської височинних областей. Виходячи з фізико-географічного положення, Холодний Яр розташований у лісостеповій зоні, а його ландшафти є типовими рівнинними східноєвропейськими ландшафтами (Кононенко, 2020).

Найпоширенішими ландшафтами на території парку є пагорби, що мають антропогенний покрив та розміщуються на докембрійських та палеозойських породах, у деяких місцях перекритих відкладами палеогену та неогену. Своєю чергою, ці пагорби в межах Холодного Яру представлені двома видами: хвилясті розчленовані лесові височини з сірими і темно-сірими опідзоленими ґрунтами, з грабовими дібровами, ярами і балками, врізаними в кристалічні породи; сильно розчленовані лесові рівнини з чорноземами типовими малогумусними і опідзоленими, з грабовими дібровами, з ярами і балками, врізаними в кристалічні породи. У долинах річок, що протікають Холодноярськими лісами, зустрічаються рівнинні заплавні ландшафти, а саме: лісові, лучні остепнені і солонцюваті (Кононенко, 2020).

Антропогенні ландшафти НПП «Холодний Яр» (рис. 2) представлені майже усіма класами за видом господарської діяльності (Денисик, 2012).

Ліси на території Холодного Яру займають домінуючу частку всіх антропоген-

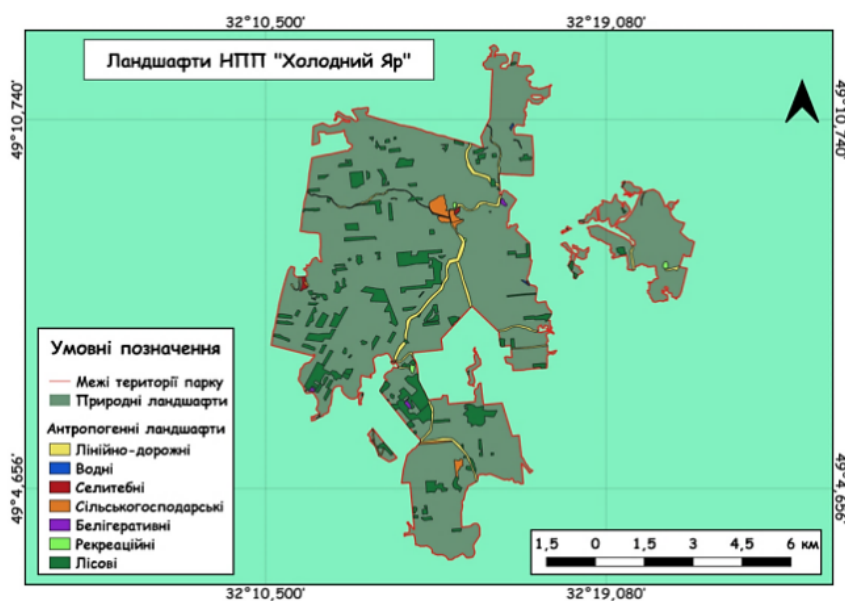


Рис. 2. Антропогенні ландшафти НПП «Холодний Яр»

них ландшафтів парку. Вони представлені переважно вирубками, утвореними внаслідок тривалої лісозаготівлі. Значно менші площі лісових антропогенних ландшафтів займають штучні лісові насадження, а саме: лісові культури дуба звичайного (*Quercus robur* L.) з домішкою ясеня звичайного (*Fraxinus excelsior* L.), липи сердцелистої (*Tilia cordata* Mill.), клена гостролистого (*Acer platanoides* L.), сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), колекція насаджень горіха волоського (*Juglans regia* L.). Частина штучних насаджень на крутих схилах ярів і балок служить для закріплення.

Аграрні ландшафти Холодного Яру сформовані внаслідок впливу сільськогосподарського виробництва, що здійснюється на присадибній території Мотронинського монастиря. Найбільші площі серед сільськогосподарських антропогенних ландшафтів на території парку займають ландшафти польового та садового підкласів.

Незначну частину антропогенних ландшафтів Холодноярських лісів займають водні антропогенні ландшафти. До таких тут належать ландшафти, сформовані виключно внаслідок будівництва ставків. Біля берегів водоймищ відбувається підтоплення та розвивається абразія, вони легко замулюються та піддаються заростанню.

Лінійно-дорожні ландшафти на території НПП «Холодний Яр» формують автомобільні дороги з асфальтованим і ґрунтовим покриттям та лінії електропередач, які служать для забезпечення логістики та комунікації між населеними пунктами, прилеглими до території парку.

Селитебні ландшафти включають ландшафти населених пунктів, що прилягають безпосередньо до Холодного Яру, а це села Мельники, Грушківка, Жаботин, Лубенці, Зам'ятниця, Медведівка, Голоківка та хутір Буда. Це переважно сільські населені пункти, що мають свої дороги, вулиці, малоповерхову забудову, парки і сади.

Рекреаційні ландшафти представлені оглядовими майданчиками та туристичними стежками до відомих об'єктів туризму Холодного Яру. Зокрема, це території біля 1000-літнього дуба Максима Залізняка, Мотронинського монастиря та багатьох пам'ятників, розміщених у різних частинах парку.

Белігеративні антропогенні ландшафти на території НПП «Холодний Яр» представлені полігонами, курганами та старими оборонними валами. Полігони знаходяться

в межах Грушківської сільської ради, оборонні вали – навколо Мотронинського монастиря, а кургани нерівномірно розкидані в товщі лісових масивів.

Результати та обговорення

До відомих історичних і заповідних місць Черкащини створювалися маршрути ще у 1970-х роках. До таких належать маршрути місцями козацької слави Черкаси – Суботів – Чигирин – Медведівка – Мельники – Холодний Яр – Партизанський табір – Долина лісника та Чигирин – Суботів – Мотронинський монастир. Із відомими історичними подіями на території області, пов'язаними із національно-визвольним рухом (XVIII ст.) і боротьбою партизан під час Другої світової війни, знайомить маршрут Черкаси – Медведівка – Мельники – Креселецьке лісництво – Холодний Яр. Протяжність маршруту становить 150 км, при цьому він передбачає мандрівку автобусом та пішки. Окрім того, було створено обласну комплексну історико-культурологічну програму «Золота підкова Черкащини», спрямовану на відродження та розвиток історичних та культурних центрів Черкаської області, у тому числі й Холодного Яру. Основними завданнями розробленої програми було збереження культурної спадщини та модернізація культурної інфраструктури, включаючи відновлення та реконструкцію історичних і культурних об'єктів (Сушко, 2006).

Минулими роками особливої актуальності на Черкащині набуває і патріотичний туризм, зокрема фестивальний. Оскільки регіон багатий традиціями та культурною спадщиною, на основі яких можна організувати різноманітні фестивалі, цей вид туризму є одним із найперспективніших та тих, що стрімко розвиваються саме на території Холодного Яру (Чепурда та ін., 2023). Теми фестивалів можуть коливатися від історичних та культурних до музичних та гастрономічних. Для просування фестивального виду туризму в Холодному Яру використовують різні маркетингові інструменти, зокрема соціальну мережу Facebook. Одним із патріотичних музичних фестивалів, на який у Холодний Яр приїздить молодь з усіх куточків України, є Всеукраїнський молодіжний фестиваль «Холодний Яр – Свято нескореної нації». Фестиваль стартував ще в 2015 р. та зараз має статус традиційного. Метою проведення фестивалю є національно-патріотичне виховання молодого покоління, а завданнями – просвітництво та благодійність.

У грудні 2022 р. упродовж трьох днів був здійснений зимовий похід на честь Юрія Горліс-Горського, організований громадською організацією «Поклик Яру». Під час цього заходу туристи змогли відвідати класичні місця Холодного Яру: Дуб Залізняка, Мотронинський монастир, Склик та багато інших відомих місць. Протяжність маршруту становила 60 км. Він починався з Медведівської школи та пам'ятника Максиму Залізнику, а закінчувався в селі Суботів (Чепурда та ін., 2023).

Також за останні роки на Черкащині та в Холодному Яру проводиться все більше й більше нових фестивалів (Данилюк і Петрик, 2020), серед яких – козацьке Свято Покрови, що проводилося 14 жовтня на День захисників і захисниць України починаючи з 2019 р. 17–18 червня 2023 р. на території національного парку відбулися 27-мі вшанування героїв Холодного Яру, під час яких були встановлені пам'ятники героям України, які сьогодні захищають її незалежність.

15–16 липня 2023 р. відбувався Фестиваль нескореної нації «Холодний Яр – 2023». Організаторами було вибрано вдалу і відповідну локацію його проведення, практично в серці Холодного Яру, поряд із Мотронинським монастирем. Фестиваль був спрямований на висвітлення героїчних і трагічних сторінок російсько-української війни та збір коштів на допомогу воїнам, що боронять нашу Батьківщину від московських окупантів, а також родинам загиблих Героїв.

Одна з фестивальных локацій була використана для популяризації Природно-заповідного фонду України та безпосередньо новоствореного НПП «Холодний Яр». Були представлені інформаційні стенди-візитівки різних об'єктів природно-заповідного фонду України та інформаційні листівки-буклети, проведено екскурсії «стежками Холодного Яру» для екскурсантів.

Стабільною і сформованою туристичною галуззю поступово стає анімаційний туризм. Використання різноманітних форм анімації набуває особливого значення під час організації обслуговування туристів в умовах сільської місцевості. У межах Холодного Яру ця форма туризму реалізується на хуторі Буда, де проводиться однойменний анімаційний захід «Хутір Буда» (Корнілова і Ляшко, 2016).

Одним із нетрадиційних та екстремальних видів туризму, поширеного в межах Холодного Яру, є танатотуризм, або «чор-

ний туризм». Серед місць паранормального характеру в Україні Холодний Яр займає третю позицію, оскільки притягує любителів містичних явищ своєю привабливою енергетикою (Денисенко, 2015). Існує легенда, що 30 млн років тому в місці, де розташовується зараз Холодний Яр, упав величезний метеорит, який і наповнив це місце незвичайною енергетикою.

Оскільки Холодний Яр оточений сільськими населеними пунктами, сільський, або зелений, туризм у його межах займає одну з ключових ролей. Він базується на поєднанні збереження народних звичаїв і традицій, гостинних господарств, родючих земель та красивої природи. На початку 2000-х років в Україні була запроваджена система «Зелена садиба» та «Українська гостинна садиба». Садиби класифікують на шість категорій за певними критеріями зручності для туристів. Найкраща садиба обов'язково повинна мати басейн, гараж, цілодобове гаряче та холодне водопостачання, наявність телевізора, холодильника, доступу до мережі Інтернет, оздоблені натуральними матеріалами місця для відпочинку, одно- та двомісні кімнати, великий вибір розваг. Низка садіб Холодного Яру входить до мережі «Українська гостинна садиба», а саме Гостинний двір та Хата Отамана (перша категорія), а також Хутір Буда, що належить до категорії Хата Березині (Новикова, 2016). Активне поширення зеленого туризму сьогодні є ключовим чинником соціально-економічного розвитку сіл, зокрема сіл, прилеглих до НПП «Холодний Яр».

Черкаська область багата на різні визначні та пам'ятні місця для паломництва, тому ще одним видом туризму в межах Холодного Яру є релігійний туризм. Тут він має особливе пізнавальне, естетичне та духовно-виховне значення. Усе це зумовлене розташуванням в Холоднорських лісах відомого Троїцького Мотронинського жіночого монастиря. Він заснований на місці скіфського городища, на місці якого зараз розташоване село Мельники. Мотронинський монастир був заснований ще до нашестя монголо-татарського війська. Тоді тут розміщувалася фортеця улюбленого воєводи Ярослава Мудрого – Мирослава. Після розгрому печенігів у 1036 р. Мирослав, повертавшись, вирішив перевірити охорону фортеці та виставив свої човни у бойовій готовності. Дружина воєводи Мотрона, вирішивши, що човни ворожі, наказала їх ата-

кувати, унаслідок чого Мирослав загинув. Після страшної помилки Мотрона заснувала на місці фортеці монастир та прийняла чернецтво. Відтоді монастир почав називатися Мотронинський. Зазвичай екскурсія до монастиря починається з Медведівки та проходить по таких локаціях: краєзнавчий музей – Успенська церква – Мотронинський монастир – Гайдамацький став – Дуб Максима Залізняка (Старинець і Іванченкова, 2020).

Науковці НПП «Холодний Яр» розробили туристично-пізнавальний маршрут «Стежками Максима Залізняка» (рис. 3). Маршрут створений для урізноманітнення перебування туристів у Холодному Яру та ознайомлення їх з історією, природою та культурою цього унікального куточку України. Маршрут промаркований спеціальними позначками, вказівниками та облаштований інформаційними щитами й зупинками для відпочинку. Зупинки на маршруті облаштовані лавочками. Протяжність становить до 4 км. Маршрут розрахований на різну вікову і фізично підготовлену аудиторію та відкритий для відвідування упродовж року. Початок стежки облаштований інформаційним стендом, який містить схему, опис маршруту та правила поведіння під час подорожі маршрутом. Туристичний маршрут прокладений у співпраці з історичним клубом «Холодний

Яр» на прохання поціновувачів Холодного Яру та коштом Максима Коляденка.

Розпочинається маршрут на хуторі Буда від храму Петра Калнишевського, далі пролягає до тисячолітнього велета – Дуба Максима Залізняка та братської могили жителів х. Буда, після звертає на лісову стежку, яка виходить на мальовничий пагорб до зупинки № 1 під назвою «Грушка». На зупинці подорожуючі зможуть відпочити, зібратись із силами і продовжити мандрівку. Із цього місця за бажанням можна скоротити маршрут, спустившись стежкою до хутірської вулиці і кінцевим відрізком маршруту, за вказівниками потрапити до храму Петра Калнишевського.

Усі інші продовжують мандрівку, де на них чекають дивна споруда – «Чудернацький будиночок», урвище, утворене водною ерозією ґрунту, два дуби-велетні та прогулянка лісовою стежкою, яка виведе на початок хутірської вулиці. Тут можна побачити закинуті обійстя хуторян та садиби людей, що переселилися з міст, аби жити поряд або в дикій природі. Перепочивши на зупинці № 2, за вказівниками по хутірській вулиці мандрівники повертаються до храму Петра Калнишевського.

Маршрутом устигли пройти учні й викладачі Голоківського ліцею Медведівської сільської ради та Грушківської гімназії Кам'янської міської ради, вихованці Черкаського міського центру туризму, краєзнавства, екскурсій та спорту учнівської молоді, представники Медведівської та Михайлівської сільських ТГ, Кам'янської міської ТГ, ГО «Поклик Яру», а також небайдужі поціновувачі природи.

Традиційно Україна, як і весь світ, 5 червня відзначає Всесвітній день охорони довкілля, який уперше був оголошений 15 грудня 1972 р. Генеральною Асамблеєю ООН. До Всесвітнього дня охорони довкілля Національний природний парк «Холодний Яр» за участі Черкаської обласної державної адміністрації презентував мережу перспективних туристичних маршрутів та екологічних стежок парку.

До таких маршрутів належать Таборове містечко – с. Жаботин – «Гульбище» – Монастир; Таборове містечко – с. Голоківка – «Атаманський парк» – Кресельці – Монастир; Таборове містечко – с. Голоківка – «Атаманський парк» – Кресельці – Монастир; х. Буда – «Маляреве» – с. Грушківка – х. Буда. Перспективними екологічними стежками парку, розробленими нами, є радіальний



Рис. 3. Схема туристичного маршруту «Стежками Максима Залізняка»

туристичний маршрут «На Зам'ятницю», екологічна стежка «Оля», «Зубіївська», «Атаманський парк».

Висновки

НПП «Холодний Яр» сформований у межах унікальних природних ландшафтів Центральної України, що мають велике історичне, культурне та природоохоронне значення для туристичної галузі. Обґрунтовано, що основою туристичної діяльності на території національного парку має бути охорона біорізноманіття та природних територій, а також збереження місцевої автентичності. Доцільним є використання НПП «Холодний Яр» як об'єкта рекреаційно-туристичного природокористування, що сприятиме залученню населення у туристичну галузь та поліпшення економіки регіону. Економічна вигода від туристичної діяльності має бути реінвестована для розвитку прилеглих сіл та підтримання якості життя місцевих жителів. Окрім того, потрібно виділити так звані «тихі зони» – місця, де будуть відсутні туристичні забудови. Наявність тихих зон буде спрямована на збереження незайманих природних ландшафтів парку.

Показано, що для приваблення туристів та екскурсантів до унікальних джерел парку

необхідне розроблення маршрутів із відповідними карто-схемами. Це пов'язано з тим, що на території Холодного Яру та його околицях знаходиться велика кількість мінеральних джерел, що є гідрологічними пам'ятками природи місцевого значення. Перспективними вважаємо маршрути х. Буда – джерело «Маларево» – джерело «Монастирське джерело» – джерело «Дзюркало» – джерело «Залізнякава криниця» – джерело «Живун» та с. Михайлівка – джерело «Тарасова криниця» – «Гиричеве». Біля джерел доцільно буде встановити дошки з QR-кодами, які будуть містити інформацію та цікаві факти про джерело.

Запропоновано створення цифрового інформаційного простору для туристів, що бажають відвідати Холодний Яр. Рекомендовано створення інтерактивних карт маршрутів до історико-культурних пам'яток, екологічних стежок лісовими масивами, що можуть бути завантажені на початковій точці маршруту та використані під час індивідуальних або групових екскурсій, а також організацію квест-заходів для здобувачів закладів загальної середньої освіти, урахувавши вікові особливості відвідувачів, регіональні особливості краю, збереження біорізноманіття.

Список використаної літератури

- Александрович С. Р., Гулик С. В. Антропогенні ландшафти Бережанського району. *Географічна наука у вимірах XXI століття* : матеріали третьої звітної наукової конференції викладачів та студентів, 17 квітня 2019 р. Тернопіль, 2019. С. 55–57.
- Андрієнко Т., Артеменко В., Біляк М. Заповідники і національні парки України. Київ : Вища школа, 1999. 294 с.
- Бідушенко А. А. Фауна рукокрилих дендрологічного парку «Софіївка». *Заповідна справа в Україні*. 2011. Вип. 17(1–2). С. 41–46.
- Браславська О. В. Географія Черкаської області : навчальний посібник. Умань : Візаві, 2015. С. 84.
- Данилюк А. М., Петрик О. О. Подієвий туризм як фактор формування сприятливого іміджу і бренду дестинації. *Туристичний та готельно-ресторанний бізнес в Україні: проблеми розвитку та регулювання* : збірник матеріалів XI Міжнародної науково-практичної конференції, 19–20 березня 2020 р. Черкаси, 2020. Т. 2. С. 386–388.
- Денисенко І. Танатотуризм в Україні та світі. *Фізичне виховання, спорт і туристсько-краєзнавча робота в закладах освіти* : збірник наукових праць. Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 245–251.
- Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство. Частина І. Глобальне антропогенне ландшафтознавство : навчальний посібник. Вінниця : Едельвейс і К, 2012. С. 336.
- Денисик Г. І. Лісові антропогенні ландшафти. Середнє Побужжя : монографія. Вінниця : Гіпаніс, 2002. С. 171–175.
- Канський В. С. Сучасна структура лісових антропогенних ландшафтів Поділля. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія «Географія»*. 2010. Вип. 21. С. 303–310.
- Клименко Ю. В. Нові дані до палеонтологічної характеристики Сенюманських відкладів Канівських дислокацій. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2011. Вип. 4(1). С. 67–70.

Коллегаєв М. Ю. Сучасний стан розвитку екологічного туризму в Національних парках України. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. 2018. Вип. 58–59. № 111–112. С. 102–107.

Коніщева Н. Й., Ткачова С. С. Шляхи сталого розвитку туризму на територіях національних природних парків. *Інновації та технології у сфері послуг*. 2020. Вип. 1–2. № 3–4. С. 23–33.

Коноваленко О., Карастан І. Природно-заповідний фонд Черкаської області. Черкаси : Вертикаль. 2006. С. 196.

Кононенко С. І. Засади районування природних ландшафтів Черкащини. *Актуальні проблеми управління територіальним розвитком* : збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції, 13–14 квітня 2017 р. Умань, 2017. С. 62–71.

Конякін С. М. Сучасний стан і перспективи збереження ландшафтів у Черкаській області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. Вип. 3–4(1). С. 86–95.

Корнілова Н. В., Ляшко В. М. Організація анімаційних заходів для туристів, відпочиваючих в Україні у «зелених садибах». *Туристичний та готельно-ресторанний бізнес в Україні: проблеми розвитку та регулювання* : збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції, 24–25 березня 2016 р. Черкаси, 2016. Т. 2. С. 493–497.

Крочак М., Огієнко О., Тимченко Ю. Склад, будова та генезис бурімської світи (верхній альб-нижній сеноман) району Канівських дислокацій. *Вісник Київського національного університету. Геологія*. 2016. Вип. 4(75). С. 6–11.

Манько А. М., Жук Ю. І. Перспективи розвитку екологічного туризму в НПП «Подільські Товтри». *Modern science: innovations and prospects: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, 29–31 травня 2022 р. Стокгольм, 2022. С. 328.*

Мельник А. В., Чир Н. В. Сучасні аспекти дослідження природно-заповідного фонду Закарпатської області як ядра для розвитку екологічного туризму. *Український географічний журнал*. 2019. Вип. 3. № 107. С. 43–52.

Мельник В. І., Діденко С. Я., Спрягайло О. В. Рівнинна популяція *Galanthus plicatus* Vieb. (Amaryllidaceae L.) в Україні. *Інтродукція рослин*. 2006. Вип. 3(1). С. 7–12.

Мудрак Г. Лісові ландшафти середнього Придністер'я, їх унікальність та раціональне використання. *Наукові записки ТНПУ. Серія «Географія»*. 2010. № 1. Вип. 27. С. 80–85.

Новикова В. І. Географія Черкаської області : підручник для загальноосвітніх шкіл. Київ : Мапа, 2004. С. 128.

Новикова В. І. Сільський (зелений) туризм: можливості розвитку в Україні, поширення на Черкащині. *Рекреаційні ресурси та послуги гостинності в регіонах України* : збірник матеріалів I Всеукраїнської Інтернет-конференції, 17 травня 2016 р. Черкаси, 2016. С. 89–92.

Пащенко В. М. Ландшафтна різноманітність та її історичні трансформації. *Проблеми ландшафтного різноманіття України* : збірник наукових праць. Київ, 2000. С. 28–33.

Придеткевич С. С. Фонові антропогенні ландшафти Хмельницького Придністер'я. *Розвиток антропогенного ландшафтознавства у XXI сторіччі*: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції (з міжнародною участю), 26–27 травня 2021 р. Вінниця, 2020. С. 49–52.

Старинець О. А., Іванченкова А. І. Перспективи розвитку релігійного туризму на Черкащині. *Туристичний та готельно-ресторанний бізнес в Україні: проблеми розвитку та регулювання*: збірник матеріалів XI Міжнародної науково-практичної конференції, 19–20 березня 2020 р. Черкаси, 2020. Т. 2. С. 402–405.

Сушко Н. В. Історія розвитку туризму на Черкащині. *Український селянин. Етнокультурне буття, духовність і світогляд українського селянства*. 2006. Вип. 10. С. 187–189.

Теодорович А. Екологічний туризм у НПП України: теоретичні та практичні аспекти. *Вісник Львівського університету. Серія: Географічна*. 2013. Вип. 41. С. 318–330.

Чабан А. Ю. Середнє Подніпров'я : у 2-х т. Т. 1. Черкаси: РВВ ЧДУ. 1999. С. 188.

Чебанова Ю. В. Загальна характеристика селітебних, дорожніх та лісових ландшафтів Запорізької області. *Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету*. 2017. Вип. 2(61). Т. 1. С. 211–216.

Чепурда Г. М., Старинець О. А., Шестель О. Г., Данилюк А. М. Перспективи розвитку патріотичного та екскурсійного туризму на Черкащині в умовах кризи. Затверджено вченою радою Черкаського державного технологічного університету, протокол № 12 від 11 травня 2023 р. С. 149–173.

Чиж О. П. Антропогенні ландшафти Поділля та їх класифікація. *Сучасні проблеми розвитку природничої географії України*: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції (з міжнародною участю), 27–28 травня 2020 р. Вінниця, 2020. С. 33–37.

Чиж О. П., Денисик Г. І. Яри в антропогенних лісових ландшафтах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. Вип. 3. С. 217–218.

Чорна Л. О. Історичні аспекти комплексної охорони пам'яток культури та природи Холодного Яру. *Гуржіївські історичні читання*. 2012. Вип. 5(1). С. 194–196.

Шовкун Т. М., Зінченко В. М., Мирон І. В. Сучасний стан та перспективи розвитку туризму в Національних природних парках Східного Полісся. *Український журнал природничих наук*. 2022. Вип. 2. С. 118–125.

Яцентюк Ю. В., Медина С. Ю. Антропогенні ландшафти Коростенського району Житомирської області. *Сучасні проблеми розвитку природничої географії України*: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції (з міжнародною участю), 27–28 травня 2020 р. Вінниця, 2020. С. 45–49.

Emerald-standard data form for proposed Emerald sites areas of special conservation interest, ASCI), candidate Emerald sites and for areas of special conservation interest. [Електронний ресурс]. URL: <http://natura2000.eea.europa.eu/Emerald/SDF.aspx?site=UA0000261&release=2> (access date 04.04.2023).

References (translated & transliterated)

Alexandrovych, S. R., & Gulyk, S. V. (2019). Berezhanskoho raionu [Anthropogenic landscapes of the Berezhany district]. *Heohrafichna nauka u vymirakh KhKhI stolittia: materialy tretoi zvitno-naukovoї konferentsii vykladachiv ta studentiv [Geographical science in the dimensions of the 21st century: materials of the third report-scientific conference of teachers and students]*. April 17, 2019. Ternopil. 55–57 [in Ukrainian].

Andrienko, T., Artemenko, V., & Bilyak, M. (1999). Zapovidnyky i natsionalni parky Ukrainy [Nature reserves and national parks of Ukraine]. Kyiv: Higher School. 294 [in Ukrainian].

Bilushenko, A. A. (2011). Fauna rukokrylykh dendrolohichnoho parku «Sofiivka» [Fauna of the brachioptera of the Sofiivka dendrological park]. *Zapovidna sprava v Ukraini [Protected business in Ukraine]*, 17 (1–2), 41–46 [in Ukrainian].

Braslavska, O. V. (2015). Heohrafiia Cherkaskoi oblasti: navchalnyi posibnyk [Geography of Cherkasy region: study guide]. Uman: VOC «Vizavi», 84 [in Ukrainian].

Danilyuk, A. M., & Petryk, O. O. (2020). Podiiievi turyzm yak faktor formuvannia spryiatlyvoho imidzhu i brendu destynatsii [Event tourism as a factor in the formation of a favorable image and destination brand]. *Turystychnyi ta hotelno-restoranni biznes v Ukraini: Problemy rozvytku ta rehuliuвання [Tourism and hotel and restaurant business in Ukraine: Problems of development and regulation]*. *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference* March 19–20. Cherkasy. 2. 386–388 [in Ukrainian].

Denysenko, I. (2015). Tanatoturyzm v Ukraini ta sviti [Thanatotourism in Ukraine and the world]. *Fizychno vykhovannia, sport i turystsko-kraieznavcha robota v zakladakh osvity [Physical education, sports and tourism and local history work in educational institutions]*. Collection of scientific works: Pereyaslav-Khmelnitskyi State Pedagogical University named after Hryhoriy Skovoroda. Pereyaslav-Khmelnitskyi. 245–251 [in Ukrainian].

Denisyk, G. I. (2012). Antropohenne landshaftoznavstvo [Anthropogenic landscape science]. Vinnytsia: PP «TD «Edelweiss and K», 336 [in Ukrainian].

Denisyk, G. I. (2002). Lisovi antropohenni landshafty. Serednie Pobuzhzhia [Forest anthropogenic landscapes. Average Pobuzhja]. Vinnytsia: Hypanis, 171–175 [in Ukrainian].

Kansky, V. S. (2010). Suchasna struktura lisovykh antropohennykh landshaftiv Podillia [Modern structure of forest anthropogenic landscapes of Podillia]. *Vinnytskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Heohrafiia [Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsiubynskyi. Series: Geography]*, 21, 303–310 [in Ukrainian].

Klymenko, Yu. V. (2011). Novi dani do paleontolohichnoi kharakterystyky Senomanskykh vidkladiv Kanivskykh dyslokatsii [New data on the paleontological characterization of the Cenomanian sediments of the Kaniv dislocations]. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu heolohichnykh nauk NAN Ukrainy [Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 4 (1), 67–70 [in Ukrainian].

Kollegaev, M. Yu. (2018). Suchasnyi stan rozvytku ekolohichnoho turyzmu v Natsionalnykh parkakh Ukrainy [The current state of development of ecological tourism in the National Parks of Ukraine]. *Pedahohika formuvannia tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh [Pedagogy of creative personality formation in higher and secondary schools]*, 58–59 (111–112), 102–107 [in Ukrainian].

Konishcheva, N. Y., & Tkachova, S. S. (2020). Shliakhy staloho rozvytku turyzmu na terytoriakh natsionalnykh pryrodnykh parkiv [Ways of sustainable development of tourism in the territories of national natural parks]. *Innovatsii ta tekhnologii u sferi posluh [Innovations and technologies in the field of services]*, 1–2 (3–4), 23–33 [in Ukrainian].

Konovalenko, O., & Karastan, I. (2006). Pryrodno-zapovidnyi fond Cherkaskoi oblast [Nature reserve fund of Cherkasy region]. Cherkasy: Vertical. 196 [in Ukrainian].

Kononenko, S. I. (2017). Zasady raionuvannia pryrodnykh landshaftiv Cherkashchyny [Principles of zoning of natural landscapes of Cherkasy region]. *Aktualni problemy upravlinnia terytorialnym rozvytkom. [Actual problems of territorial development management. Collection of abstracts of reports of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference]*. April 13–14, Uman, 62–71 [in Ukrainian].

Konyakin, S. M. (2012). Suchasnyi stan i perspektyvy zberezhennia landshaftiv u Cherkaskii oblasti [Current state and prospects of landscape conservation in Cherkasy region]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neoekologii [Man and environment. Problems of neoecology]*, 3–4 (1), 86–95 [in Ukrainian].

Kornilova, N. V., & Lyashko, V. M. (2016). Orhanizatsiia animatsiinykh zakhodiv dlia turystiv, vidpochyvaiuchykh v Ukraini u «zelenykh sadybakh» [Organization of animation events for tourists vacationing in Ukraine in «green estates»]. *Turystychnyi ta hotelno-restoranni biznes v Ukraini: Problemy rozvytku ta rehuliuвання [Tourism and hotel and restaurant business in Ukraine: Problems of development and regulation]*. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference March 24–25, Cherkasy, 2. 493–497 [in Ukrainian].

Krochak, M., Ogienko, O., & Tymchenko, Yu. (2016). Sklad, budova ta henezys burimskoi svity (verkhniy alb-nyzhniy senoman) raionu Kanivskykh dyslokatsii [Composition, structure and genesis of the Burim world (Upper Albion-Lower Cenomanian) of the Kaniv Dislocations area]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu. Heolohiia [Bulletin of Kyiv National University. Geology]*, 4 (75), 6–11 [in Ukrainian].

Manko, A. M., & Zhuk, Yu. I. (2022). Perspektyvy rozvytu ekolohichnoho turyzmu v NPP «Podilski Tovtry» [Prospects for the development of ecological tourism in the Podilski Tovtry NPP]. *Modern science: innovations and prospects. Materials of the IX International Scientific and Practical Conference*. May 29–31. Stockholm, 328 [in Ukrainian].

Melnyk, A. V., & Chir, N. V. (2019). Suchasni aspekty doslidzhennia pryrodno-zapovidnoho fondu Zakarpatskoi oblasti yak yadra dlia rozvytku ekolohichnoho turyzmu [Modern aspects of the study of the nature reserve fund of the Transcarpathian region as a core for the development of ecological tourism]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 3 (107), 43–52 [in Ukrainian].

Melnyk, V. I., Didenko, S. Ya., & Spryagaylo, O. V. (2006). Rivnynna populiatsiia *Galanthus plicatus* Bieb. (Amaryllidaceae L.) v Ukraini [Lowland population of *Galanthus plicatus* Bieb. (Amaryllidaceae L.) in Ukraine]. *Introduktsiia roslin [Introduction of plants]*, 3 (1), 7–12 [in Ukrainian].

Mudrak, H. (2010). Lisovi landshafty serednoho Prydnisteria, yikh unikalnist ta ratsionalne vykorystannia [Forest landscapes of middle Transnistria, their uniqueness and rational use]. *Naukovi zapysky TNPU. Serii: heohrafiia [Scientific notes of TNPU. Series: geography]*, 1 (27), 80–85 [in Ukrainian].

Novikova, V. I. (2004). Heohrafiia Cherkaskoi oblasti: pidruchnyk dlia zahalnoosvitnikh shkil [Geography of the Cherkasy region: a textbook for secondary schools]. Kyiv: Map. 128 [in Ukrainian].

Novikova, V. I. (2016). Silskyi (zelenyi) turyzm: mozhlyvosti rozvytku v Ukraini, poshyrennia na Cherkashchyni [Rural (green) tourism: opportunities for development in Ukraine, distribution in Cherkasy region]. *Rekreatsiini resursy ta posluhy hostynnosti v rehionakh Ukrainy [Recreational resources and hospitality services in the regions of Ukraine]*. Proceedings of the 1st All-Ukrainian Internet Conference. May 17. Cherkasy, 89–92 [in Ukrainian].

Pashchenko, V. M. (2000). Landshaftna riznomanitnist ta yii istorychni transformatsii [Landscape diversity and its historical transformations]. *Problemy landshaftnoho riznomanittia Ukrainy [Problems of landscape diversity of Ukraine]*: Collection of scientific works. Kyiv, 28–33 [in Ukrainian].

- Prydetkevich, S. S. (2021). Fonovi antropohenni landshafty Khmelnytskoho Prydnisteria [Background anthropogenic landscapes of Khmelnytsky Transnistria]. *Rozvytok antropohennoho landshaftoznavstva u KhKhI storichchi [Development of anthropogenic landscape science in the 21st century]: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference* (with international participation) May 26–27, Vinnitsa, 49–52 [in Ukrainian].
- Starynets, O. A., & Ivanchenkova, A. I. (2020). Perspektyvy rozvytku relihiinoho turyzmu na Cherkashchyni [Prospects for the development of religious tourism in Cherkasy region]. *Turystychnyi ta hotelno-restoranni biznes v Ukraini [Tourism and hotel and restaurant business in Ukraine]: Problems of development and regulation. Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference* March 19–20, Cherkasy, 2. 402–405 [in Ukrainian].
- Sushko, N. V. (2006). Istoriia rozvytku turyzmu na Cherkashchyni [History of tourism development in Cherkasy region]. *Ukrainskyi selianyn. Etnokulturne buttia, dukhovnist i svitohliad ukrainskoho selianstva [Ukrainian peasant. Ethnocultural existence, spirituality and outlook of the Ukrainian peasantry]*, 10, 187–189 [in Ukrainian].
- Teodorovych, L. (2013). Ekolohichni turyzm u NPP Ukrainy: teoretychni ta praktychni aspekty [Ecological tourism in the NPP of Ukraine: theoretical and practical aspects]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seria: Heohrafichna [Bulletin of Lviv University. Series: Geographical]*, 41, 318–330 [in Ukrainian].
- Chaban, A. Yu. (1999). Serednie Podniprovia [Middle Dnieper]. Cherkassy: RVV ChDU. 188 [in Ukrainian].
- Chebanova, Yu. V. (2017). Zahalna kharakterystyka selitebnykh, dorozhnykh ta lisovykh landshaftiv Zaporizkoi oblasti [General characteristics of residential, road and forest landscapes of the Zaporizhzhia region]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu [Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University]*, 2 (61), 1. 211–216 [in Ukrainian].
- Chepurda, G. M., Starynets, O. A., Shestel, O. G., & Danyliuk, A. M. (2023). Perspektyvy rozvytku patriotychnoho ta ekskursionnoho turyzmu na Cherkashchyni v umovakh kryzy [Prospects for the development of patriotic and excursion tourism in Cherkasy Oblast in crisis conditions]. Cherkasy, 149–173 [in Ukrainian].
- Chizh, O. P. (2020). Antropohenni landshafty Podillia ta yikh klasyfikatsiia [Anthropogenic landscapes of Podillia and their classification]. *Suchasni problemy rozvytku pryrodnychoi heohrafii Ukrainy [Modern problems of the development of natural geography of Ukraine]: Collection of materials of the All-Ukrainian scientific and practical internet conference* (with international participation). May 27–28. Vinnitsa, 33–37 [in Ukrainian].
- Chizh, O. P., & Denisyk, G. I. (2019). Yary v antropohennykh lisovykh landshaftakh [Ravines in anthropogenic forest landscapes]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 3, 217–218 [in Ukrainian].
- Chorna, L. O. (2019). Istorychni aspekty kompleksnoi okhorony pamiatok kultury ta pryrody Kholodnoho Yaru [Historical aspects of complex protection of cultural and natural monuments of Kholodny Yar]. *Hurzhiivski istorychni chytannia [Gurzhiiev's historical readings]*, 5 (1), 194–196 [in Ukrainian].
- Shovkun, T. M., Zinchenko, V. M., & Myron, I. V. (2022). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku turyzmu v Natsionalnykh pryrodnykh parkakh Skhidnoho Polissia [The current state and prospects for the development of tourism in the National Natural Parks of Eastern Polissia]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnych nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 2, 118–125 [in Ukrainian].
- Yacentyuk, Yu. V., & Medina, S. Yu. (2020). Antropohenni landshafty Korostenskoho raionu Zhytomyrskoi oblasti [Anthropogenic landscapes of the Korosten district of the Zhytomyr region]. *Suchasni problemy rozvytku pryrodnychoi heohrafii Ukrainy [Modern problems of the development of natural geography of Ukraine]: Materials of the All-Ukrainian scientific and practical internet conference* (with international participation), May 27–28, Vinnytsia, 45–49 [in Ukrainian].
- Emerald-standard data form for proposed Emerald sites areas of special conservation interest, (ASCI), candidate Emerald sites and for areas of special conservation interest. [Electronic resource]. URL: <http://natura2000.eea.europa.eu/Emerald/SDF.aspx?site=UA0000261&release=2> (access date 04.04.2023) [in English].

Отримано: 25.05.2023
Прийнято: 14.06.2023



УДК 551.524:504.3

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.10>

ДИНАМІКА ХМАРНОСТІ В МЕЖАХ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ В ПЕРІОД 2010–2021 РР.

В. В. Федонюк¹, О. Н. Гусар², М. А. Федонюк³

Під впливом процесів кліматичних змін змінюється динаміка окремих метеорологічних явищ у межах України та Волинської області зокрема. Хмарність неба – одне з таких явищ, проте зміни в динаміці хмарності протягом останніх десятиліть в Україні вивчені поки що недостатньо на відміну від змін режиму температури чи опадів. Це визначає актуальність даного дослідження, присвяченого аналізу показників хмарності неба у Волинській області протягом 2010–2021 рр. за даними шести метеорологічних станцій.

Мета роботи – дослідження змін у динаміці показників хмарності в межах Волинської області. Завдання роботи: 1) проаналізувати сучасні погляди на утворення та динаміку хмар; 2) дослідити зміни в динаміці хмарності в межах Волинської області на основі аналізу архівних матеріалів шести метеорологічних станцій: Луцьк, Ковель, Володимир, Світязь, Маневичі, Любешиві за період 2010–2021 рр.; 3) провести власні спостереження за хмарністю, продовжити складання Атласу хмар; 4) провести порівняння динаміки температури нижньої основи хмар різних родів у місті Луцьку та на прилеглий приміській території протягом року.

У процесі підготовки роботи використовувалися аналітичний, порівняльно-оціночний, математично-статистичний (під час обробки архівів погоди та одержаних результатів спостереження), графічний методи. Застосовано типові методика та алгоритми статистичного та графічного аналізу у програмі Excel. Спеціальні методи дослідження: метод спостереження та збору даних, інструментальний (визначення температури нижньої основи хмар) та картографічний метод.

Вихідними даними для дослідження були архівні дані метеостанцій Луцьк, Маневичі, Ковель, Володимир, Світязь та Любешиві, розміщених у межах Волинської області, а також результати власних спостережень за хмарністю та інструментальних вимірювань фізичних показників хмар у місті Луцьку.

¹ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри екології
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)
e-mail: ecolutsk@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1880-6710

² здобувачка ОП «Екологія»
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)
e-mail: 12oleksandra@gmail.com
ORCID: 0009-0000-6836-3930

³ кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри екології
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)
e-mail: m.fedoniuk@lntu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4034-3695

Дослідження основних показників хмарності неба за період 2010–2021 рр. показали, що середня річна загальна хмарність у межах Волинської області зменшилася на 0,3–1,1 бали. Найбільшим це зменшення є для Луцька, найменшим – для Ковеля. Висота нижньої основи хмар, навпаки, зростає. Найбільшим це зростання є в Луцьку (майже до 1 300 м). Середні місячні значення хмарності були нижчими від норми з березня по жовтень (теплий період року). У листопаді – лютому показник хмарності був децю вищим від норми. Відхилення середньої місячної хмарності від показника кліматичної норми змінювалися в окремі місяці року в межах від + 10% до –35%. Найменшою середня річна хмарність протягом періоду 2010–2021 рр. була в Луцьку (5,9 бали), найвищою – у Ковелі (7,1 бали). За місяцями року на шести станціях і в межах області у цілому спостерігається зниження хмарності в теплий період. Узимку хмарність близька до кліматичної норми або вища. Найяснішим небо було над Луцьком. Найбільш «хмарні» станції Волині – це Ковель та Світязь. Виявлено відмінності в температурі нижньої основи хмар над Луцьком та на приміській території (с. Полонка). Температура нижньої основи була вищою над містом у 85% випадків, перевищення становило 0,1–70С°. Величина цієї різниці температур залежить від роду хмар, пори року, напрямку і сили вітру. Найбільшою вона є для періодів зі штильовою погодою, влітку і взимку, для купчастих, купчасто-дощових, перистих, висококупчастих хмар (*Cumulus*, *Cumulonimbus*, *Cirrus*, *Altostratus*).

Ключові слова: хмарність неба, хмара, висота нижньої основи хмари, температура нижньої основи хмари, Волинська область.

DYNAMICS OF CLOUDINESS WITHIN THE BOUNDARIES OF VOLYN REGION IN THE PERIOD 2010–2021

V. V. Fedoniuk, O. N. Husar, M. A. Fedoniuk

Problem Statement and Purpose. Under the influence of climate change processes, the dynamics of individual meteorological phenomena within Ukraine and the Volyn region is changing. The cloudiness of the sky is one of such phenomena, however, changes in the dynamics of cloudiness during the last decades in Ukraine have not been studied enough yet, in contrast to changes in the regime of temperature or precipitation. This determines the relevance of this study, devoted to the analysis of sky cloudiness indicators in the Volyn region during 2010–2021 according to the data of six meteorological stations.

The purpose of the work: the study of changes in the dynamics of cloudiness indicators within the Volyn region. *Tasks of the work:* 1) to analyze modern views on the formation and dynamics of clouds; 2) to investigate changes in the dynamics of cloudiness within the Volyn region based on the analysis of archival materials of six meteorological stations: Lutsk, Kovel, Volodymyr, Svityaz, Manevichi, Lyubeshiv for the period 2010–2021; 3) to conduct own observations of cloud cover, to continue compiling the Cloud Atlas; 4) to compare the dynamics of the temperature of the lower base of clouds of different types in the city of Lutsk and in the adjacent suburban area during the year.

Data & Methods. In the process of preparing the work, analytical, comparative-evaluation, mathematical-statistical (when processing weather archives and obtained observation results), graphic methods were used. Typical methods and algorithms of statistical and graphical analysis in the Excel program are applied. Special research methods: method of observation and data collection, instrumental (determining the temperature of the lower base of clouds) and cartographic method.

The initial data for the study were archival data of weather stations Lutsk, Manevichi, Kovel, Volodymyr, Svityaz, and Lyubeshiv, located within the Volyn region, as well as the results of own observations of cloudiness and instrumental measurements of physical indicators of clouds in the city of Lutsk.

Results. Studies of the main indicators of sky cloudiness for the period 2010–2021 showed that the average annual total cloudiness within the Volyn region decreased by 0.3–1.1 points. This decrease is the largest for Lutsk, the smallest for Kovel. The height of the lower cloud base, on the contrary, increases. This increase is the largest in Lutsk (almost 1300 m). Average monthly cloud cover values were below normal from March to October (the warm period of the year). In November - February, the cloudiness index was somewhat higher than normal. Deviations of the average monthly cloud cover from the climatic norm varied from + 10% to - 35% in individual months of the year. The lowest average annual cloudiness during the period 2010 - 2021 was in Lutsk (5.9 points), the highest - in Kovel (7.1 points). According to the months of the year, at 6 stations and within the region as a whole, there is a decrease in cloud cover in the warm period.

In winter, cloudiness is close to the climatic norm or higher. The clearest sky was over Lutsk. The most «cloudy» stations in Volyn are Kovel and Svityaz. Differences in the temperature of the lower cloud base

over Lutsk and in the suburban area (Polonka village) were revealed. The temperature of the lower base was higher than the city in 85% of cases, the excess was 0.1 - 70C. The magnitude of this temperature difference depends on the type of clouds, the season, the direction and strength of the wind. It is the largest for periods with calm weather, in summer and winter, for cumulus, cumulus-rain, cirrus, high-cumulus clouds.

Key words: cloudiness of the sky, cloud, height of the lower cloud base, temperature of the lower cloud base, Volyn region.

Вступ

Під впливом змін клімату в останні десятиліття змінюється динаміка окремих метеорологічних явищ та їхніх характеристик. Одним із них є хмарність неба. На відміну від температури повітря чи опадів динаміка хмарності у XXI ст. вивчалася мало. Це визначило актуальність вибраної теми. У дослідженні проведено оцінку динаміки хмарності для території Волинської області за архівними даними шести метеорологічних станцій: Луцьк, Володимир, Ковель, Світязь, Маневичі, Любешів, які функціонують у межах області.

Хмарність неба – це важлива метеорологічна характеристика, із нею пов'язаний режим опадів та зволоження. Це зумовило мету роботи – дослідження змін у динаміці показників хмарності в межах Волинської області.

Завдання дослідження: 1) дослідити зміни в динаміці хмарності в межах Волинської області на основі аналізу архівних матеріалів метеорологічних станцій: Луцьк, Ковель, Володимир, Світязь, Маневичі, Любешів за період 2010–2021 рр.; 3) провести власні спостереження за хмарністю, продовжити складання Атласу хмар для Луцька; 4) здійснити порівняння динаміки температури нижньої основи хмар різних родів у місті Луцьку та на прилеглої приміській території протягом року.

Об'єктом дослідження є хмари, їхні окремі роди та хмарний покрив у цілому, а предметом – зміни у місячній, сезонній та річній динаміці хмарності у межах Волинської області у період 2010–2021 рр.

Наукова новизна одержаних результатів: уперше зроблено спробу дослідження особливостей динаміки хмарності в межах усієї Волинської області у XXI ст., такий аналіз є досить важливим для оцінки регіональних проявів змін клімату, а також подальшого аналізу режиму опадів та зволоження в регіоні.

Хмарний покрив над Україною, фізико-хімічні та географічні умови утворення хмарності, механізми їх розвитку та можливості

активного впливу людини на хмари вивчали такі українські дослідники, як: Г.Ф. Прихотько, М.В. Буйков, В.М. Мучник, М.М. Талерко, О.Н. Сухінський, М.М. Акімов, І.А. Осокіна, Г.М. Пірнач, М.В. Сирота, В.П. Баханов, О.А. Кривобок, Б.А. Дорман та багато інших (Ліпінський і Дячук, 2003; Ліпінський та ін., 2006). Зокрема, аналіз сучасних особливостей режиму хмарності для окремих регіонів України в контексті змін клімату знаходимо в працях Т.М. Заболоцької, В.М. Підгурської, Т.М. Шпиталь (Заболоцька та ін., 2011), В.І. Затули, Я.О. Кихтенко, Р.П. Олійник, С.І. Сніжко (Затула, 2013; Затула та ін., 2021), О.В. Корінної, В.Є. Бориса (Корінна і Борис, 2019), Н.М. Міщенко, А.Є. Ламанової (Міщенко і Ламанова, 2022), С.М. Решетченко, К.В. Чернової (Решетченко і Чернова, 2017, 2018), Л.С. Рибченко, С.В. Савчука (Рибченко і Савчук, 2017), О.Г. Савельєва (Савельєв, 2015). Аналогічні дослідження проводилися і зарубіжними авторами у східноєвропейських країнах, географічно близьких до України (Teuling et al., 2017; Matuszko et al., 2020; Szyga-Pluta, 2020).

Дослідження режиму хмарності, вологості та атмосферних опадів для м. Луцька та території Волинської області здійснювали у своїх працях В.М. Бабіченко, Ф.В. Зузук, М.Н. Сусідко, І.М. Щербань, І.М. Нетробчук, В.В. Горбач, І.К. Половко, В.М. Пищолка, Ф.П. Тарасюк, Н.А. Тарасюк, В.В. Федонюк та інші автори (Бабіченко і Зузук, 1988; Тарасюк і Тарасюк, 2010; Нетробчук і Горбач, 2019). Проте переважна більшість указаних досліджень проводилася наприкінці ХХ ст., а актуальне вивчення динаміки хмарності у XXI ст. в контексті змін клімату для Волинського регіону практично не здійснювалося, саме тому автори вибрали дану тему для дослідження та розпочали аналіз хмарності і супутніх явищ для території Волині (Гусар і Федонюк, 2022; Федонюк та ін., 2021).

Матеріали і методи

У процесі дослідження використовувалися як загальнонаукові, так і спеціальні методи. Серед загальнонаукових методів

застосовано аналітичний, порівняльно-оціночний, математично-статистичний (під час обробки архівів погоди та одержаних результатів спостереження) та графічний. Використано типові методики та алгоритми статистичного і графічного аналізу у програмі Excel. Застосовано також спеціальні методи дослідження: метод спостереження та збору даних, інструментальний метод (визначення температури нижньої основи хмар), картографічний метод.

Вихідними даними для дослідження слугували архівні дані метеостанцій Луцьк, Маневичі, Ковель, Володимир, Світязь та Любешів, розміщених у межах Волинської області (архів Волинського обласного центру з гідрометеорології), результати власних спостережень за хмарністю та інструментальних вимірювань фізичних показників хмар у м. Луцьку.

За допомогою статистичних методів було визначено: 1) середню місячну та середню річну кількість хмар за кожен рік періоду 2010–2021 рр. та по кожній станції (у балах); 2) середню місячну та середню річну хмарність неба для території Волинської області (у балах); 3) середню місячну та річну висоту нижньої основи хмар для кожної станції (у м); 4) середню місячну та річну висоту нижньої основи хмар для території дослідження (у м).

Показники для всієї території Волинської області визначалися шляхом осереднення даних шести метеостанцій. Розраховані показники порівнювалися з даними кліматичної норми як для окремих метеостанцій, так і для області у цілому. Після статистичної обробки архівної метеорологічної інформації про хід хмарності у 2010–2021 рр. складено зведені таблиці, побудовано графіки та діаграми, до аналізу одержаних результатів перейдемо далі.

У 2021 р. авторами здійснено інструментальні вимірювання температурних показників нижньої основи хмар у м. Луцьку. Вимірювання здійснювалися у дні з різними метеоумовами та погодно-кліматичними характеристиками кожного останнього тижня місяця. Виміри проводилися за допомогою пірометра (безконтактного інфрачервоного термометра) ANENG GM550 INFR. THERMOMETER (діапазон виміру температур -50°C – $+550^{\circ}\text{C}$).

Методика вимірювання: пірометр у витягнутій руці розміщується горизонтально, промінь лазера спрямовується вверх, перпендикулярно до земної поверхні

і хмар. Проводиться три виміри температури хмари в одній точці через інтервали 5–10 сек., результати трьох вимірювань осереднюються.

Пірометр даної моделі вимірює середню температуру кола, діаметр якого у 12 разів менший від відстані до об'єкта вимірювання. Тобто, наприклад, якщо висота нижньої основи хмари 1 200 м, то діаметр вимірюваного кола становитиме 100 м. Таким чином, вимірювання температури проводилися фактично не точково, а для деякої ділянки нижньої основи хмари.

Вимірювання здійснювалося одночасно у двох точках (околиця міста, район с. Полонка – точка № 1 та центральні райони міста, район вул. Гордіюк – точка № 2) двома ідентичними приладами, показники яких попередньо звірялися для виявлення похибки (вона не перевищувала $0,1^{\circ}\text{C}$). Це дало змогу порівняти температуру нижньої основи хмар над містом і поза містом та відслідкувати вплив міста як «острова тепла» на динаміку та характеристики хмарності. Точки, у яких проводилося одночасне вимірювання температури, розташовані так, що напрям співпадає з основною віссю переміщення повітряних мас над Луцьком (південний захід – північний схід).

Тобто логічно припустити, що хмари в переважній більшості випадків теж рухаються по такій осі. Таким чином, дослід давав змогу прослідкувати, як у динаміці змінюється температура нижньої основи хмар, які переміщуються.

Виміри проводилися на протязі 48 днів у 2021 р. у різні місяці та сезони року. Збудовано низку порівняльних температурних графіків для 10 основних родів хмар у місті Луцьку та на приміській території.

Результати та обговорення

Основні результати проведеного аналізу були представлені у графічному вигляді. На рис. 1 та 2 подано узагальнюючі діаграми, які показують зміну протягом 2010–2021 рр. у межах Волинської області середньої річної хмарності неба (рис. 1), середньої місячної хмарності неба (рис. 2) та висоти нижньої основи хмар (рис. 3). Розраховано також середні показники за весь період 2010–2021 рр., проведено порівняння з показниками кліматичної норми, це порівняння висвітлено на діаграмах.

Як показує аналіз даних діаграми на рис. 1, у всі роки, крім 2017 р., середня річна хмарність неба в межах Волинської області була нижчою від кліматичної норми на



Рис. 1. Середня річна хмарність неба в межах Волинської області, бали

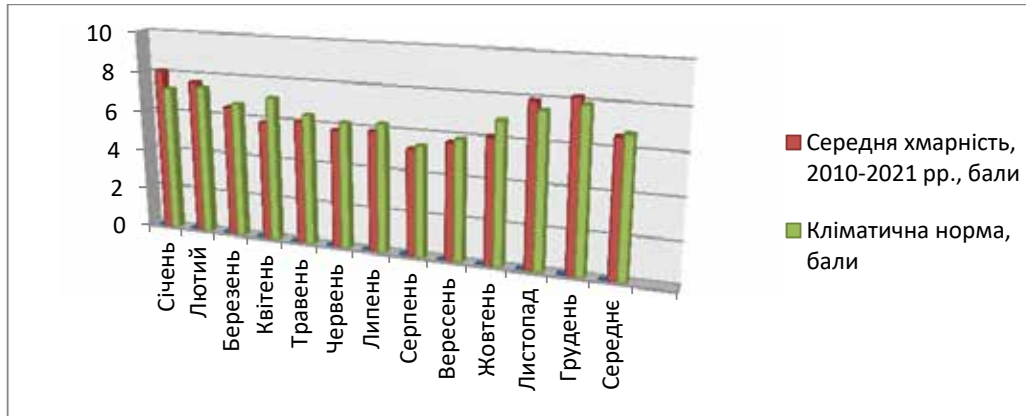


Рис. 2. Динаміка хмарності за місяцями року впродовж 2010–2021 рр. у межах Волинської області



Рис. 3. Середня річна висота нижньої основи хмарності в межах Волинської області

0,3–1,1 бали. Найнижчою загальна хмарність була у 2016 р. (6,0 бали), найвищою – у 2017 р. (7,3 бали). Зниження показників хмарності у досліджуваному періоді також виявлено під час аналізу середніх значень хмарності неба для більшості місяців року (навесні, влітку та восени).

Зокрема, середні місячні значення хмарності в області були нижчими від норми з березня по жовтень (теплий період року). Проте у період листопада – лютого виявлено зворотний процес: середня місячна хмарність неба була дещо вищою від норми (див. рис. 2).

Висота нижньої основи хмар має тенденцію до зростання (див. рис. 3). Середнє значення даного показника за досліджуваний період становило 1 235 м за норми 1 200 м. Найнижчою висота основи хмар спостерігалася у 2011–2012 рр. (1165–1180 м), а найвищою вона була у 2017–2019 рр. (1275–1280 м). Проте у цілому цей показник є досить мінливим на протязі року і в різні роки.

Таким чином, було отримано підтвердження виявлених у наших минулих роботах (Федонюк та ін., 2021; Fedoniuk et al., 2022) тенденцій до зниження загальної хмарності неба в регіоні у XXI ст. та поступового підвищення висоти утворення хмар у регіоні. Припускаємо, що це пов'язано з процесами підвищення температур повітря і, як наслідок, зростанням висоти рівня конвекції та зменшенням місцевої хмарності, яка переважно формується у теплий період року.

Для кожної з шести метеостанцій Волинської області (Луцьк, Володимир, Ковель, Світязь, Маневичі та Любешів) було проведено також статистичне визначення середніх місячних та річних показників хмарності неба і висоти нижньої основи хмар за період 2010–2021 рр. на основі аналізу архівної інформації за методикою, описаною на початку розділу. Повні результати такого аналізу графічно представлено на діаграмах на рис. 4–6.

Зниження річної хмарності показав аналіз архівних даних за досліджуваний період

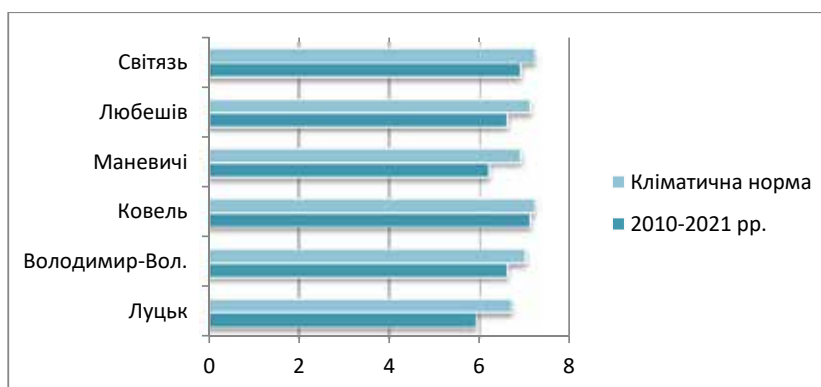


Рис. 4. Порівняння середньої річної хмарності неба на метеостанціях Волинської області та показників кліматичної норми, бали

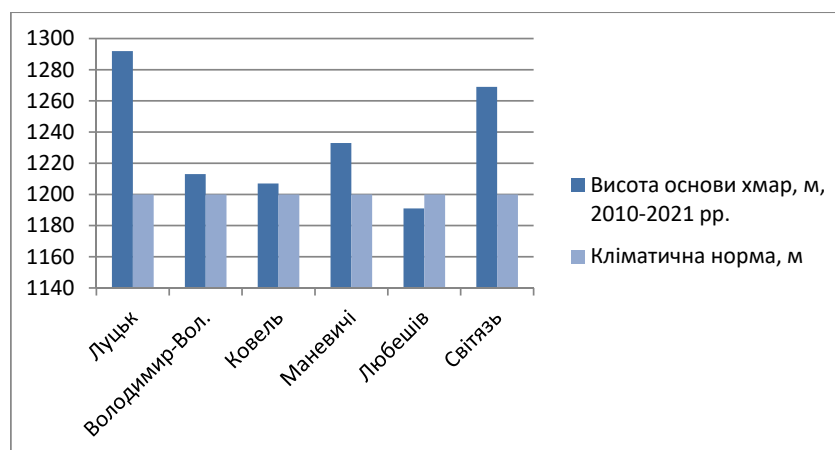


Рис. 5. Середня річна висота нижньої основи хмар на метеостанціях Волинської області

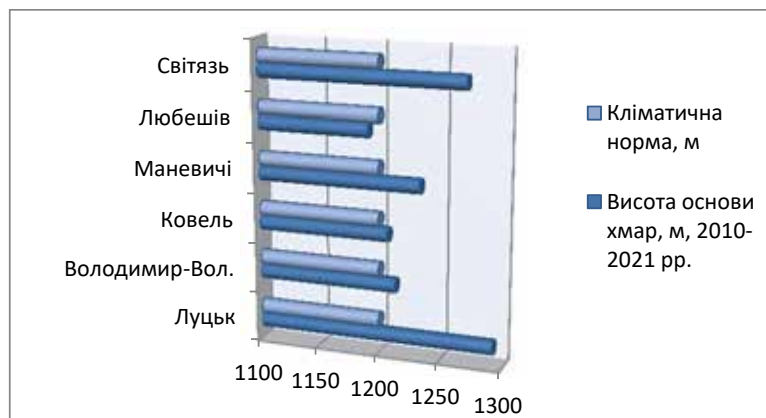


Рис. 6. Порівняння середньої річної висоти нижньої основи хмар на метеостанціях Волинської області з кліматичною нормою

усіх метеостанцій. Найбільшим це зниження було для ст. Луцьк (0,8 бали), а найменшим – для ст. Ковель (0,1 бали). У різні роки середня річна хмарність коливалася від 3,9 бали (Маневичі, 2016), 4,6 бали (Луцьк, 2016) до 7,8 бали (Світязь, 2017).

Найменшою середня річна хмарність неба протягом періоду 2010–2021 рр. була у м. Луцьку (5,9 бали), найвищою – у м. Ковелі (7,1 бали). По місяцях року на шести станціях прослідковуються ті ж самі тенденції, що виявлені для всієї Волинської області (помітне зниження хмарності в теплий період та показники, близькі до норми або вищі за неї для зимових місяців). Найяснішим небо було над Луцьком. Найвища середня річна хмарність неба спостерігалася протягом 2010–2021 рр. у м. Ковелі та у с. Світязь.

Проте на окремих станціях річний хід хмарності може мати свої річні особливості. Так, на ст. Ковель спостерігалися показники хмарності, вищі від кліматичної норми, практично впродовж всього року. А на ст. Луцьк, навпаки, протягом усіх місяців року, крім січня, хмарність була нижчою від норми.

За показником середньої річної висоти нижньої основи хмар ст. Луцьк має найбільші значення (до 1 300 м за норми 1 200 м), а найнижчою висота основи хмар спостерігається для ст. Любешів – 1 191 м (за норми 1 200 м). Підвищення показника висоти нижньої основи хмар на протязі досліджуваного періоду 2010–2021 рр. показують усі станції, окрім Любешова. Напевно, це пов'язано з його північним розташуванням.

Таким чином, рід час аналізу показників хмарності за період 2010–2021 рр. для території Волинської області було виявлено: зменшення середньої річної та місячної

хмарності в межах досліджуваної території на 0,3–1,1 бали; зростання висоти нижньої основи хмар на 50–100 м; найвищу динаміку таких відхилень від кліматичної норми демонструють ст. Луцька та ст. Світязь.

На рис. 7 представлено інтегральний графік динаміки температури нижньої основи хмар упродовж 2021 р. у м. Луцьку та на приміській території.

Як показує аналіз одержаних результатів, різниця в температурі, виміряній одночасно в місті та за містом, спостерігалася завжди. У переважній більшості випадків (41 із 48 проведених вимірів) нижчою була температура хмар за містом. Над містом нижня основа хмари мала вищу температуру. Різниця температур становила від 0,1°C до 7,0°C. Найбільшою ця різниця була для хмар вертикального розвитку та хмар верхнього ярусу (Cb, Cc, Ci), з високою основою та від'ємною температурою, а найменшою різниця t° була для хмар нижнього ярусу (St, Ns), із низькою основою та додатною температурою.

Як показує аналіз графіка, представленого на рис. 7, на протязі року найбільшими контрастами температури нижньої основи хмар характеризуються зимовий та літній сезони року. Так, зокрема, максимальна різниця температури (7°C) спостерігалася влітку, у липні, для купчасто-дощових хмар. У перехідні сезони (весна, осінь) різниця температур хмар є меншою.

Річна амплітуда температури нижньої основи хмар становила 48,6°C за містом та 50,4°C у місті. Максимальні значення цієї температури спостерігалися наприкінці липня (до +18°C – +16°C, хмари Cb), а мінімальні – в кінці грудня (до –30–33°C, хмари Ci, Cs).

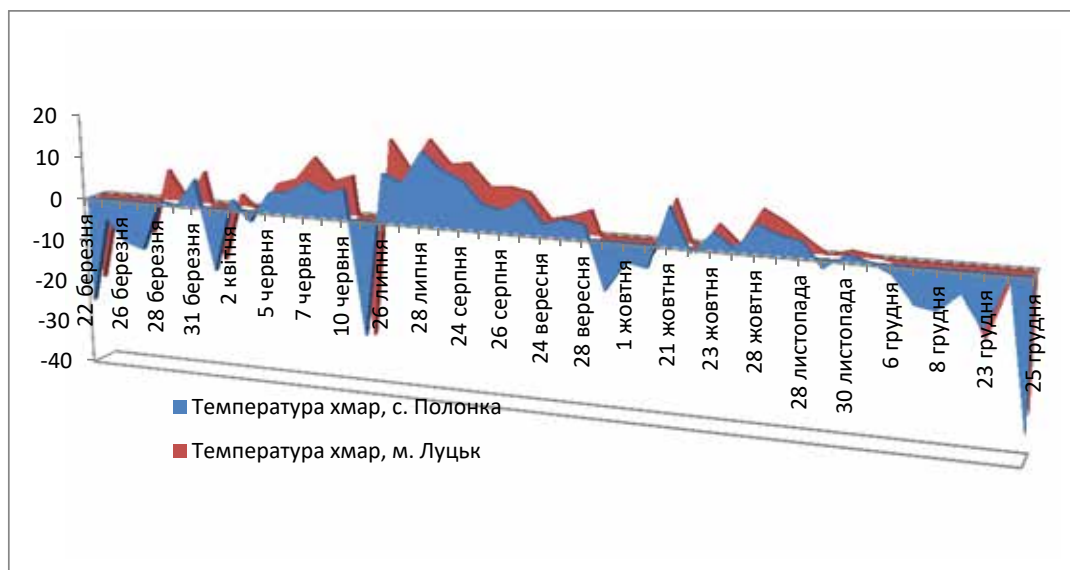


Рис. 7. Річна динаміка температури нижньої основи хмар у м. Луцьку та на приміській території на протязі 2021 р.

Було збудовано також окремі графіки температури нижньої основи для всіх 10 основних родів хмар, вибравши дні, у які спостерігалися хмари певного роду. Для перисто-купчастих та перисто-шаруватих хмар збудовано спільний графік, оскільки невеликою була кількість випадків вимірювання температури основи саме цих родів хмар. Аналіз отриманих результатів дає змогу відзначити, що найбільші контрасти температури нижньої основи спостерігаються для всіх різновидів купчастих хмар (купчасті, купчасто-дощові, шарувато-купчасті). Сезонну динаміку в різниці температур можна прослідкувати для тих родів хмар, виміри температури нижньої основи для яких проводилися регулярно в усі сезони впродовж значної кількості днів (наприклад, купчасті хмари). Річна динаміка для окремих родів хмар у цьому разі збігається з описаною вище динамікою температури нижньої основи хмар у цілому.

Варто відзначити, що на протязі року днями з найбільшим контрастом температури нижньої основи хмар за містом і над містом є безвітряні дні (штильова погода). Отже, на основі визначення різниці температур основи хмар у місті і за містом можна стверджувати, що місто Луцьк як «острів тепла» дійсно чинить суттєвий вплив на температуру нижнього шару хмарності. Найсуттєвішим цей вплив є тоді, коли різні типи діяльних поверхонь у місті максимально прогріваються, зростає вертикальна температурна нестійкість, тобто в теплу пору року, особливо влітку.

Таким чином, проведені дослідження одного з фізичних параметрів хмарності – температури нижньої основи хмар (яку не вимірюють стаціонарно на метеостанціях) дають змогу зробити висновок, що температура нижньої основи є стабільно вищою безпосередньо над містом порівняно з приміською зоною, це перевищення впродовж року може становити $0,1-7^{\circ}\text{C}$. Величина даної різниці температур залежить від роду хмар, пори року, напрямку і сили вітру. Найбільшою вона у Луцьку є для періодів зі штильовою погодою. Це підтверджує вплив міста як великого «острова тепла» на динаміку та переміщення хмарних систем, проте особливості такого впливу варто буде проаналізувати детальніше в майбутніх дослідженнях.

Висновки

Отже, після проведеного статистичного аналізу показників хмарності за період 2010–2021 рр. для території Волинської області та інструментальних спостережень за хмарами у м. Луцьку і на прилеглай території з'ясовано:

1. За 2010–2021 рр. середня річна загальна хмарність у межах Волинської області зменшилася на 0,3–1,1 бали. Найбільшим це зменшення є для Луцька, найменшим – для Ковеля. Висота нижньої основи хмар, навпаки, зростає. Найбільшим це зростання є в Луцьку (майже до 1 300 м).

2. Середні місячні значення хмарності в області були нижчими від норми з березня по жовтень (теплий період року). У період листопада – лютого показник хмарності був

дещо вищим від норми. Відхилення середньої місячної хмарності від показника кліматичної норми змінювалися в окремі місяці року в межах від + 10% до -35%. Найменшою хмарністю у всі місяці була в Луцьку.

3. Найменшою середня річна хмарність у 2010–2021 рр. була в Луцьку (5,9 бали), найвищою – у Ковелі (7,1 бали). За місяцями року на шести станціях і в межах області у цілому спостерігається зниження хмарності в теплий період. Узимку хмарність близька до кліматичної норми або вища. Найяснішим небо було над Луцьком. Найбільш «хмарні» станції Волині – це Ковель та Світязь.

4. Виявлено відмінності в температурі нижньої основи хмар над Луцьком та на приміській території (с. Полонка).

Температура нижньої основи була вищою над містом у 85% випадків, перевищення становило 0,1–7°C. Величина цієї різниці температур залежить від роду хмар, пори року, напрямку і сили вітру. Найбільшою вона є для періодів зі штильовою погодою, улітку і взимку, для купчастих, купчасто-дощових, перистих, висококупчастих хмар.

5. Виявлені зміни у ході показників хмарності неба в межах Волинської області, ймовірно, пов'язані з кліматичними змінами, які проявляються у загальному зростанні температури і підвищенні висоти рівня конденсації водяної пари та, відповідно, висоти утворення хмар. Припускаємо, що зменшення показників річної хмарності в теплий період пов'язане зі скороченням формування місцевих хмар через підвищення рівня конденсації.

Список використаної літератури

Гусар О. Н., Федонюк В. В. Динаміка хмарності в Луцьку у XXI ст. та її вплив на геліоенергетичний потенціал. *Відновлювальна енергетика та енергоефективність у XXI ст.*: матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції, 19–20 травня 2022 р. Київ: КПІ імені Горького Сікорського; Інтерсервіс, 2022. С. 305–307.

Заболоцька Т. М., Підгурська В. М., Шпиталь Т. М. Вертикальний і горизонтальний розподіл фазового стану в хмарах різних форм. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2011. Вип. 260. С. 80–94.

Затула В. І. Урахування режиму хмарності при оцінці природної освітленості земної поверхні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2013. Т. 30. Вип. 3. С. 105–111.

Затула В., Кихтенко Я., Олійник Р., Сніжко С. Статистичний аналіз параметрів прозорості та хмарності атмосфери на півдні України. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2021. № 55. С. 159–173. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-12>.

Клімат України: монографія / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

Корінна О. В., Борис В. Є. Аналіз повторюваності складних метеорологічних умов у межах Львівської області за 2014–2018 роки (Doctoral dissertation, Кропивницький: ЛА НАУ). 2019. 232 с.

Міщенко Н. М., Ламанова А. Є. Режим низької хмарності над ст. Івано-Франківськ за останні п'ять років. *In The 1 st International scientific and practical conference «Science and technology: problems, prospects and innovations»* (October 19–21, 2022). CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2022. 550 p. (p. 126).

Нетробчук І. М., Горбач В. В. Атлас хмар: наочний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2019. 70 с.

Офіційний сайт Держгідрометслужби України [Електронний ресурс]. URL: www.meteo.gov.ua (дата звернення: 04.12.2021).

Решетченко С., Чернова К. Сучасні метеорологічні спостереження для потреб авіації. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2018. № 27. С. 55–63. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2018-27-08>.

Рибченко А. С., Савчук С. В. Моніторинг геліоенергетичних ресурсів України. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. № 19. С. 65–71.

Савельєв О. Г. Атлас хмар : навчальний посібник. Запоріжжя, 2015. 20 с.

Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) / за ред. В. М. Ліпінського, В. І. Осадчого, В. М. Бабіченко. Київ: Ніка-Центр, 2006. 311 с.

Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області : колективна монографія / В. О. Фесюк та ін. ; за ред. В. О. Фесюка. Київ: Ві Ен Ей, 2016. 316 с.

Тарасюк Ф. П., Тарасюк Н. А. Режим зволоження і хмарності північного сходу Волинського Полісся. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2010. № 5. С. 39–46.

Федонюк В. В., Федонюк М. А., Павлуць А. М. Дослідження грозової діяльності на Волині та в Україні за даними онлайн-ресурсу Blitzortung. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. № 28. С. 16–28. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.02>.

Чернова К. В. Характеристика основних форм хмарності та їх повторюваності на досліджуваній території. *Інноваційний розвиток науки нового тисячоліття*: зб. матеріалів міжнарод. наук.-практ. конференції. Ужгород, 2017. Ч. 1. С. 165–179.

Fedoniuk V. V., Husar O. N., Fedoniuk M. A. Study of the cloudiness dynamics in Lutsk in the context of climate change. Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers. Source: Conference Proceedings, International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment», 15–18 Nov 2022, Volume 2022. P. 1–5. [Електронний ресурс]. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2022/11/Mon-22-125.pdf> (дата звернення: 05.02.2023).

Matuszko D., Bartoszek K., Soroka J. Long-term variability of cloud cover in Poland (1971–2020). *Atmospheric Research*, 2022. 268, 106028.

Szyga-Pluta K. Cloudiness and cloud genera variability at the turn of the 21st century in Poznań (Poland). *IDÓJÁRÁS / QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE*. 2022. 126 (1). P. 109–125.

Teuling A. J., Taylor C. M., Meirink J. F., Melsen L. A., Miralles D. G., Van Heerwaarden C. C. & de Arellano J. V. G. Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Nature communications*. 2017. № 8(1). P. 14065.

References (translated & transliterated)

Husar, O. N., & Fedoniuk, V. V. (2022). Dynamika khmarnosti v Lutsku u XXI st. ta yii vplyv na helioenerhetychnyi potentsial. [Dynamics of cloudiness in Lutsk in the 21st century. and its impact on solar energy potential]. *Vidnovliuvalna enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI st. Materialy XXIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*, 19–20 travnia 2022 r. [Renewable energy and energy efficiency in the 21st century. Materials of the XXIII International Scientific and Practical Conference, May 19–20, 2022.] Kyiv: KPI imeni Ihoria Sikorskoho. Interservis. 305–307 [in Ukrainian].

Zabolotska, T. M., Pidhurska, V. M., & Shpytal, T. M. (2011). Vertykalnyi i horyzontalni rozpodil fazovoho stanu v khmarakh riznykh form. [Vertical and horizontal distribution of the phase state in clouds of different shapes]. *Naukovi pratsi Ukrainського naukovo-doslidnogo hidrometeorologichnogo instytutu: Zb. nauk. pr. Vyp.* [Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute: Collection. of science Ave], 260, 80–94 [in Ukrainian].

Zatula, V. I. (2013). Vrakhuvannia rezhymu khmarnosti pry otsyntsi pryrodnoi osvitenosti zemnoi poverkhni. [Taking into account the cloudiness regime when assessing the natural illumination of the earth's surface]. *Hidrolohiiia, hidrokhimiiia i hidroekolohiiia [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology]*, 30, 3. 105–111 [in Ukrainian].

Zatula, V., Kykhtenko, Ya., Oliinyk, R., & Snizhko, S. (2021). Statystychnyi analiz parametriv prozorosti ta khmarnosti atmosfery na pivdni Ukrainy. [Statistical analysis of parameters of transparency and cloudiness of the atmosphere in the south of Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo universytetu imeni V. N. Karazina, seriiia «Heolohiiia. Heohrafiia. Ekolohiiia» [Bulletin of Kharkiv National University named after V. N. Karazin, series «Geology. Geography. Ecology»]*, 55, 159–173. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-1> [in Ukrainian].

Klimat Ukrainy (2003). [Climate of Ukraine]: monohrafiia / Za red. V. M. Lipinskoho, V. A. Diachuka, V. M. Babichenko. Kyiv: Vyd-vo Raievskoho. 343 [in Ukrainian].

Korinna, O. V., & Borys, V. I. (2019). Analiz povtoriuvanosti skladnykh meteorologichnykh umov u mezhakh Lvivskoi oblasti za 2014–2018 roky [Analysis of the recurrence of complex meteorological conditions within the Lviv region for 2014–2018]. (Doctoral dissertation, Kropyvnytskyi: LA NAU). 232. [in Ukrainian].

Mishchenko, N. M., & Lamanova, A. Ie. (2022). Rezhym nyzkoi khmarnosti nad st. Ivano-Frankivsk za ostanni piat rokiv [The regime of low cloudiness over St. Ivano-Frankivsk over the past five years]. In *The 1 st International scientific and practical conference «Science and technology: problems, prospects and innovations»* (October 19–21, 2022). CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 550 (126) [in Ukrainian].

Netrobchuk, I. M., & Horbach, V. V. (2019). Atlas khmar : naochnyi posibnyk [Cloud Atlas: A Visual Guide]. Skhidnoievropeiskyi natsionalnyi universytet imeni Lesi Ukrainky, Heohrafichnyi fakultet, Kafedra fizychnoi heohrafii. Lutsk: Vezha-Druk. 70. [in Ukrainian].

Ofitsiyni sait Derzhhidrometsluzhby Ukrainy [Official website of the State Hydrometeorological Service of Ukraine]. [Electronic resource]. URL: www.meteo.gov.ua (access date 04.12.2021) [in Ukrainian].

Reshetchenko, S., & Chernova (2018). Suchasni meteorolohichni sposterezhennia dlia potreb aviatsii [Modern meteorological observations for the needs of aviation]. *Problemy bezpererвної heohrafichnoi osvity i kartohrafiu [Problems of continuous geographical education and cartography]*, 27, S. 55–63. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2018-27-08> [in Ukrainian].

Rybchenko, L. S., & Savchuk S. V. (2017). Monitorynh helioenerhetychnykh resursiv Ukrainy [Monitoring of solar energy resources of Ukraine]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*. Kyiv: N 19, 65–71 [in Ukrainian].

Saveliev, O. H. (2015). Atlas khmar: Navchalnyi posibnyk. [Cloud Atlas: A Study Guide]. Zaporizhzhia, 2015. 20 [in Ukrainian].

Stykhiini meteorolohichni yavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsiatyrichchia (1986–2005 rr.). (2006). [Spontaneous meteorological phenomena on the territory of Ukraine during the last twenty years (1986–2005)]. / Za red. V. M. Lipinskoho, V. I. Osadchoho, & V. M. Babichenko. Kyiv : Nika-Tsentr. 311 [in Ukrainian].

Suchasnyi ekolohichnyi stan ta perspektyvy ekolohichno bezpechnoho stiikoho rozvytku Volynskoi oblasti: kol. monohr. (2016). [Current ecological condition and prospects for ecologically safe sustainable development of the Volyn region: col. monogr.]. V. O. Fesiuk, S. O. Puhach, & A. M. Slashchuk [ta in.]; za red. V. O. Fesiuka. Kyiv: TOV «Pidpriemstvo «Vi En Ei» [in Ukrainian].

Tarasiuk, F. P., & Tarasiuk, N. A. (2010). Rezhym zvolozhennia i khmarnosti pivnichnoho skhodu Volynskoho Polissia [Mode of moistening and cloudiness of the northeast of Volynskiy Polissia]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylyhlykh terytorii : nauk. Zb [Nature of Western Polissia and adjacent territories: science. coll.]*. Lutsk : Vezha, 5. 39–46 [in Ukrainian].

Fedoniuk, V. V., Fedoniuk, M. A., & Pavlus A. M. (2021). Doslidzhennia hrozovoi diialnosti na Volyni ta v Ukraini za danymy onlain-resursu Blitzortung. [Study of thunderstorm activity in Volyn and Ukraine according to the Blitzortung online resource]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal [Ukrainian hydrometeorological journal]*. Odesa. 28. 16–28. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.02> [in Ukrainian]

Chernova, K. V. (2017). Kharakterystyka osnovnykh form khmarnosti ta yikh povtoruvanosti na doslidzhuvanii terytorii [Characteristics of the main forms of cloud cover and their recurrence in the studied area]. *Innovatsiyni rozvytok nauky novoho tysiacholittia: zb. materialiv mizhnarod. nauk.-prakt. Konferentsii [Innovative development of science of the new millennium: coll. materials international. science and practice conferences]*. Uzhhorod. 1, 165–179 [in Ukrainian].

Fedoniuk, V. V., Husar, O. N., & Fedoniuk, M. A. (2022). Study of the cloudiness dynamics in Lutsk in the context of climate change. Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers. Source: Conference Proceedings, International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment», 15–18 Nov 2022. P. 1–5. [Electronic resource]. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2022/11/Mon-22-125.pdf> (access date 03.02.2023) [in English].

Matuszko, D., Bartoszek, K., & Soroka, J. (2022). Long-term variability of cloud cover in Poland (1971–2020). *Atmospheric Research*. 268, 106028 [in English].

Szyga-Pluta, K. Cloudiness and cloud genera variability at the turn of the 21st century in Poznań (Poland). (2022). *IDŐJÁRÁS / QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE*. 126 (1), 109–125 [in English].

Teuling, A. J., Taylor, C. M., Meirink, J. F., Melsen, L. A., Miralles, D. G., Van Heerwaarden, C. C., & de Arellano, J. V. G. (2017). Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Nature communications*. 8(1), 14065 [in English].

Отримано: 16.05.2023

Прийнято: 01.06.2023



ХІМІЯ

УДК 547.288.4:541.122:541.132

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.11>

ДИМЕРНІ ФУНКЦІОНАЛІЗОВАНІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ У ПРОЦЕСАХ ДЕСТРУКЦІЇ СКЛАДНИХ ЕСТЕРІВ ФОСФОРУ ТА СІРКИ

О. Є. Шумейко¹, М. І. Бураков²

Пошук та розроблення реагентів для ефективного розкладання фосфорорганічних екотоксичних субстратів є завданням безперечної важливості. Одними з таких реагентів є поверхнево-активні речовини, особливо у поєднанні з мицелярним каталізом. Безперечна перевага мицелярних систем порівняно з іншими організованими мікрогетерогенними середовищами полягає у тому, що кардинальна зміна властивостей середовища досягається під час уведення досить невеликих кількостей мицелотворюючих речовин. При цьому основним компонентом таких систем здебільшого є вода, що робить їх украй привабливими для практичного застосування з позиції «зеленої» хімії. Поверхнево-активні речовини (ПАР), функціоналізовані оксимними фрагментами, є одними з найбільш ефективних реагентів, що використовуються для розкладання ацильмісних екотоксикантів. Ці ПАР поєднують у собі переваги високореакційноздатних α -нуклеофілів та мицелярних систем, що забезпечує успішне нуклеофільне розщеплення та сольбілізацію малорозчинних у воді субстратів.

Експериментальні дані показали, що реакційна здатність соміцелярних систем на основі димерного функціоналізованого тетраалкіламонієвого ПАР у процесах перенесення фосфорильної та сульфонільної груп виявилася нижче, ніж у систем на основі аналогічного імідазолієвого ПАР. Аналіз отриманих результатів дав змогу зробити висновок, що спостережувана відмінність у кінетиці перенесення ацильної групи, яка промотована димерними ПАР, що різняться за природою катіонного центру, носить загальний характер і є наслідком різної нуклеофільності як їх оксиматних фрагментів, так і різних способів сольбілізації гідрофобних субстратів. Найбільш імовірними причинами останнього є відмінності у внутрішньомолекулярних кулонівських взаємодіях та упаковці молекул ПАР у соміцелах.

Ключові слова: поверхнево-активні речовини, мицелярний каталіз, α -нуклеофіли, фосфорта сірковмісні екотоксиканти.

¹ кандидат хімічних наук,
старший науковий співробітник відділу досліджень нуклеофільних реакцій
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії імені А. М. Литвиненка
Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: ashumeiko@ukr.net
ORCID: 0000-0001-5856-9871

² провідний інженер відділу досліджень нуклеофільних реакцій
(Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії імені А. М. Литвиненка
Національної академії наук України, м. Київ)
e-mail: n_burakov@ukr.net
ORCID: 0000-0002-0258-2476

DIMERIC FUNCTIONALIZED SURFACTANTS IN THE PROCESSES OF DESTRUCTION OF PHOSPHORUS AND SULFUR ESTERS

O. Ye. Shumeiko, M. I. Burakov

The search and development of reagents for effective decomposition of organophosphorus ecotoxic substrates is a task of indisputable importance. One of these reagents is surfactants, especially in combination with micellar catalysis. The indisputable advantage of micellar systems, in comparison with other organized microheterogeneous media, is that a radical change in the properties of the medium is achieved by the introduction of fairly small amounts of micelle-forming substances. At the same time, the main component of such systems, in most cases, is water, which makes them extremely attractive for practical use from the point of view of «green» chemistry.

Surfactants (surfactants) functionalized with oxime fragments are one of the most effective reagents used for the degradation of acyl-containing ecotoxicants. These surfactants combine the advantages of highly reactive α -nucleophiles and micellar systems that ensure successful nucleophilic cleavage and solubilization of poorly water-soluble substrates.

Experimental data showed that the reactivity of somicellar systems based on dimeric functionalized tetraalkylammonium surfactant in the processes of transferring phosphoryl and sulfonyl groups was lower than that of systems based on a similar imidazolium surfactant. The analysis of the obtained results made it possible to conclude that the observed difference in the kinetics of acyl group transfer, which is promoted by dimeric surfactants differing in the nature of the cationic center, has a general character and is a consequence of the different nucleophilicity of both their oximate fragments and different methods of solubilization of hydrophobic substrates. The most likely reasons for the latter are differences in intramolecular Coulomb interactions and packing of surfactant molecules in somicelles.

Key words: surfactants, micellar catalysis, α -nucleophiles, phosphorus- and sulfur-containing ecotoxicants.

Вступ

Поверхнево-активні речовини (ПАР), функціоналізовані оксимними фрагментами, є одними з найбільш ефективних реагентів, що використовуються для розкладання ацилвмісних екотоксикантів (Singh et. al., 2013; Singh et. al., 2015a; Popov, 2008). Ці ПАР поєднують у собі переваги високореакційноздатних α -нуклеофілів (оксимів) та міцелярних систем, що забезпечує успішне нуклеофільне розщеплення та солюбілізацію малорозчинних у воді субстратів, а також додаткове прискорення процесу за рахунок міцелярного каталізу (Mirgorodskaya et. al., 2021).

Безперечна перевага міцелярних систем порівняно з іншими організованими мікрогетерогенними середовищами полягає у тому, що кардинальна зміна властивостей середовища досягається під час уведення досить невеликих кількостей міцелоутворюючих речовин (у кількостях вище критичної концентрації міцелоутворення, яка коливається в межах $10^{-6} - 10^{-2}$ моль л^{-1}) (Zubareva et. al., 2012). При цьому основним компонентом таких систем здебільшого є вода, що робить їх у край привабливими для практичного застосування з позицій «зеленої» хімії (Bunton, 2006).

Застосування розчинів катіонних ПАР як середовища для проведення деструкції еко-

токсикантів нуклеофільними реагентами дає змогу ефективно їх солюбілізувати, оскільки більшість із них за відсутності детергентів важко розчиняються у воді, а також забезпечити змочування гідрофобних і високорозвинених поверхонь (Popov, 2008). При цьому реалізація ефектів міцелярного каталізу призводить до додаткового збільшення швидкості процесу їх розщеплення нуклеофільними реагентами (гідроксид-, оксимат-, гідроксимат-іонами та ін.) у $10-10^3$ разів (Pal et. al., 2012; Kapitanov et. al., 2011).

Одним із найбільш перспективних шляхів підвищення ефективності зв'язування нуклеофільних реагентів міцелами є створення функціональних детергентів – ПАР, які у своїй структурі мають реакційноздатні фрагменти. Під час реалізації такого підходу концентрація нуклеофільних груп на поверхні міцел завжди буде рівною концентрації ПАР (Kapitanov et. al., 2011). Найбільш перспективним тут є використання як функціональної групи фрагменту α -нуклеофілу, який забезпечує різке підвищення швидкості за рахунок реалізації α -ефекту (Popov et. al., 2020a). Сьогодні основними типами функціональних ПАР, що містять супернуклеофільний фрагмент, є детергенти на основі похідних гідроксиламіну, а також детергенти, до складу яких входять

перокси- та йодозокарбоксилатні групи (Porov et. al., 2020b).

Матеріал і методи

Методика кінетичних експериментів та методи синтезу сполук **1–3** та **5** описані раніше (Zubareva et al., 2012; Mirgorodskaya et al., 2021). Діетил-4-нітрофенілфосфат **4** ($\geq 90\%$, Aldrich), бромід цетил (триметил) амонію **6** ($\geq 99,5\%$, Aldrich) та неорганічні реактиви кваліфікації ч. д. а. або осч використовували без додаткового очищення. Розчини для кінетичних вимірів готували у двічі перегнаній воді. Будова та чистота сполук підтверджені даними ЯМР та елементного аналізу. Спектри ЯМР записували на приладі Bruker Avance II 400 (400 МГц, для ^1H). Спектрофотометричні дослідження та кінетичні вимірювання проводили на спектрофотометрі Thermo Electron Genesys 10 S UV-VIS. Кислотність контролювали за допомогою рН-метра Metrohm 744. Усі кінетичні експерименти проводили за температури 25°C .

Результати та обговорення

Основну увагу нами було приділено дослідженню реакційної здатності димерних

функціоналізованих ПАР – 1,1'-(2-гідроксиіміно)пропан-1,1'-біс-диметилдодецил діамоній дихлориду (**1**), 3,3'-[2-(гідроксиіміно)пропан-1,1'-біс-додецилімідазолій дихлориду (**2**) у реакціях розкладання імітаторів бойових отруйних речовин – 4-нітрофенілових естерів діетилфосфонової (**3**), діетилфосфорної (**4**) та толуолсульфонової (**5**) кислот.

Отримані нами експериментальні дані по реакційній здатності димерних функціоналізованих поверхнево-активних речовин **1** і **2** за розкладання етил 4-нітрофенілетилфосфонату (**3**) показали, що нуклеофільність ПАР **1** виявилася значно більш низкою, незважаючи на його вищу основність (Pal et al., 2012; Zubareva et al., 2012.). Як видно з рис. 1, точка для сполуки **1** на графіку Бренстеда для функціоналізованих поверхнево-активних речовин у реакції переносу фосфорильної групи помітно зміщена у бік негативних значень, тоді як точка для поверхнево-активної речовини **2** укладається на відповідну криву (Mirgorodskaya et al., 2014; Капитанов та ін., 2017а).

Метою цієї роботи було з'ясувати, чи є спостережена залежність загальною, чи вона

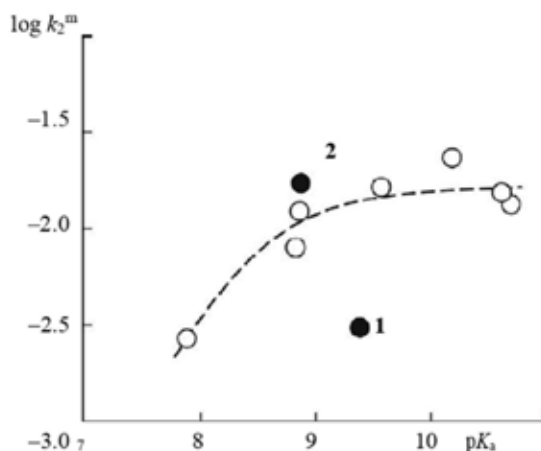
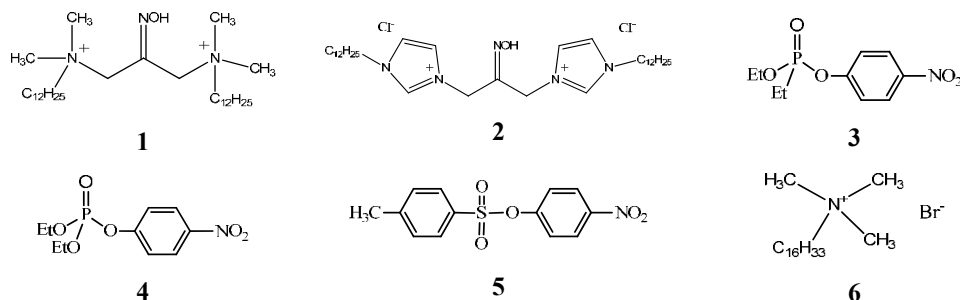


Рис. 1. Графік Бренстеда для розкладання складного естеру **4** функціоналізованими поверхнево-активними речовинами, що містять оксимну групу; точки для поверхнево-активних речовин **1** і **2** показано темними колами; інші дані взято з (Kapitanov et al., 2011; Singh et al., 2015 b)

специфічна для речовини **3**. Із цією метою ми дослідили реакційну здатність тетраалкіламонієвого ПАР **1** у процесах перенесення фосфорильної та сульфонільної груп (субстрати **4** і **5** відповідно). Указані субстрати характеризуються досить близькою реакційною здатністю, тоді як їхні гідрофобності відрізняються приблизно на порядок (Mirgorodskaya et al., 2021; Zakharova et al., 2016). Ця різниця повинна дати змогу оцінити роль локалізації субстрату у міцелі.

Ураховуючи важку розчинність ПАР **1** у воді, реакції з естерами **4** і **5** проводили у соміцелярній системі, утвореної **1** та бромідом цетил-(триметил)амонію **6**. Отримані кінетичні профілі типові для розкладання ацилвмісних субстратів у присутності функціоналізованих міцел ПАР (соміцел), а константи швидкості псевдопершого порядку, що спостерігаються, добре описуються в рамках моделі псевдофазового розподілу (Holmberg et al., 2002; Serdyuk et al., 2016).

$$K_{obs} = \frac{\chi k^m K_s C + k_{OH}^w - \alpha_{OH}}{1 + K_s C} \frac{K_{a,app}}{K_{a,app} + \alpha_{H+}} = \frac{\chi (k_2^m / V_m) K_s C + k_{OH}^w - \alpha_{OH}}{1 + K_s C} \frac{K_{a,app}}{K_{a,app} + \alpha_{H+}}, \quad (1)$$

де χ – мольна частка функціоналізованого ПАР у соміцелі; k^m (c^{-1}) – наведена нуклеофільна реакційна здатність функціо-

нального фрагменту у міцелярній псевдофазі; k_2^m і k_{OH}^w (Δ моль $^{-1}$ с $^{-1}$) – константи швидкості другого порядку, що характеризують нуклеофільність оксиматної групи у міцелях ПАР та гідроксид-іону у воді; $K_s = (P_s - 1) \cdot V_m \approx P_s V_m$ (Δ /моль) – рівноважна константа зв'язування субстрату; $P_s = [S]_m / [S]_w$ – коефіцієнт розподілу субстрату S між міцелярною псевдофазою (m) та водою (w); V_m (Δ /моль) – парціальний молярний об'єм ПАР; C (M) – концентрація ПАР в міцелярній фазі; $K_{a,app}$ – уявна константа кислотної іонізації оксимної групи (табл. 1).

а) Похибка визначення k_2^m / V_m , за кінетичними даними не перевищувала $\pm 10\%$; значення K_s і ККМ визначали з точністю $\pm 15\%$. Дані для ПАР **2** взято з (Bunton, 2006), а для естеру **3** – із (Pal, 2012).

б) Визначається спектрофотометричним методом.

с) Молярна частка функціоналізованої поверхнево-активної речовини – у співміцелях зі сполукою **6**.

д) Частка аніонної форми оксиматного фрагменту поверхнево-активної речовини.

е) Під час розрахунку k_2^m для $\chi = 1,0$ парціальний молярний об'єм приймався рівним $0,5 M$, а парціальний молярний об'єм соміцел ($\chi = 0,125-0,5$) – ПАР **6**, $\sim 0,4 M$ (Popov et al., 2020a).

ф) Визначається з кінетичних даних.

Таблиця 1
Фізико-хімічні властивості та нуклеофільна реакційна здатність ПАР **1** і **2** під час розкладання естерів **3-5**; $0,01 M$ боратний буфер, $25^\circ C$ а)

ПАР	pK_a б)	χ с)	pH	α д)	$k_2^m / V_m, c^{-1}$	k_2^m е) Δ .МОЛЬ $^{-1}$ С $^{-1}$	K_s Δ .МОЛЬ $^{-1}$	ККМ, ф) МОЛЬ
Етил-4-нітрофенілети́лфосфонат (3)								
1	9.44 ($\chi = 1.0$)	0.5	10.45	~ 0.9	0.19	0.076	72	0.0004
	9.49 ($\chi = 0.125$)	0.25	10.46	~ 0.9	0.20	0.080	74	0.0003
		0.125	10.46	~ 0.9	0.19	0.076	93	0.0003
2	8.9 ($\chi = 1.0$)	1.0	10.00	~ 0.9	0.40	0.20	155	0.00005
	8.9 ($\chi = 0.125$)	0.125	10.51	> 0.9	0.43	0.17	160	0.0001
Діетил-4-нітрофенілфосфат (4)								
1	9.4 ($\chi = 1.0$)	0.5	10.46	~ 0.9	0.0073	0.0029	90	0.0004
	9.5 ($\chi = 0.125$)	0.25	10.40	~ 0.9	0.0075	0.0030	90	0.0003
2	8.9 ($\chi = 1.0$) 8.9 ($\chi = 0.125$)	1.0	10.94	> 0.9	0.034	0.017	175	0.00007
4-нітрофеніл 4-толуолсульфонат (5)								
1	9.4 ($\chi = 1.0$)	0.5	10.65	> 0.9	0.018	0.0072	820	0.0003
	9.5 ($\chi = 0.125$)	0.25	10.46	~ 0.9	0.017	0.0068	520	0.0003
2	8.9 ($\chi = 1.0$)	0.125	10.40	~ 0.9	0.017	0.0068	570	0.0003
	8.9 ($\chi = 0.125$)	1.0	10.99	> 0.9	0.031	0.016	1700	0.00002

Параметри рівняння (1) отримано в результаті математичної обробки кінетичних профілів, які наведено в таблиці. Як і під час розкладання естеру **3** (Karitanov et al., 2017b), поведінка ПАР **1** і **2** істотно різниться. По-перше, нуклеофільність **1** нижче, ніж у **2**, у реакціях як із **4** [k_2^m (**2**) / k_2^m (**1**) \approx 5], так і з **5** [k_2^m (**2**) / k_2^m (**1**) \approx 2.5]; аналогічне співвідношення встановлено і в реакції з естером **3** [k_2^m (**2**) / k_2^m (**1**) \approx 2]. При цьому точки для ПАР **1** на Бренстедівських діаграмах розкладання естерів **4** і **5**, як і на відповідній діаграмі для естеру **3**, відхиляються у бік менших значень $\lg k_2^m$ (рис. 1, 2). По-друге, константи зв'язування субстрату (K_s) для соміцел, утворених ПАР **1**, нижче, ніж для систем на основі ПАР **2**, і різниця, що спостерігається, практично не залежить від природи субстрату (див. таблицю). Константа зв'язування субстрату **3** не змінюється під час переходу від міцел **2** до соміцелярної системи **2/6**, що пов'язано з однаковою ефективністю солюбілізації чистих ПАР **2** і **6** (пор. K_s для систем на основі **2** при $\chi = 1,0$ в табл. і K_s для **6**) (Pandya et al., 2022).

У разі ПАР **1** значення K_s змінюються досить незвично: константи зв'язування суб-

страту при $x = 0.5$ вдвічі менше, ніж у ПАР **2** (див. табл. 1) та катіонного ПАР **6** (Pal, 2012). Зниження мольної частки функціоналізованого ПАР **1** у соміцелах з **6** має зменшувати ефект **1**, отже, ефективність солюбілізації субстрату соміцелами **1/6** має наближатися до ефективності солюбілізації міцелами **6** (Karitanov et al., 2011), проте цього не спостерігається. Навіть коли мольна частка **1** становить $x = 0,125$, константи зв'язування субстрату виявляються аномально низькими. Хоча значення K_s для субстратів **3** і **4** незначно змінюються зі зменшенням x , константа зв'язування K_s для субстрату **5** зменшується паралельно з x . Відхилення нуклеофільності оксиматного фрагменту **1** у реакціях з естерами **4** і **5** (а також з **3**) можна пояснити зниженням електронної щільності на нуклеофільному центрі за рахунок ефективно кулонівської взаємодії з одним катіонним центром молекули (Pal et al., 2012), що для ПАР **2** утруднено через планарність імідазольних кілець та специфічної упаковки молекул ПАР у міцелах (Singh et al., 2015b; Zakharova et al., 2016). Проте різну поведінку констант зв'язування досить важко пояснити. Зниження K_s для соміцел **1/6** у 2–5 разів порівняно з аналогічними системами на основі ПАР **2** (див. табл. 1) незалежно від їхніх гідрофобних властивостей свідчить про зміну області локалізації обох менш гідрофобних естерів **3** і **4** (ближче до поверхні міцели) і значно більш гідрофобного естера **5** (розташованого ближче до ядра міцели). Цей факт незвичайний, оскільки утворення соміцел зазвичай пов'язане зі зміною поверхневого шару, а не ядра міцели (Holmberg et al., 2002; Zana, 2003).

Висновки

Таким чином, ми виявили, що відхилення в кінетичній поведінці соміцелярної системи **1/6** у реакціях перенесення ацильної групи мають загальний характер і пов'язані зі зміною не тільки нуклеофільності оксиматного фрагменту ПАР, а й солюбілізації гідрофобних субстратів.

Це дає перспективу подальшого дизайну міцелярних систем за участю функціональних детергентів для ефективного розкладання складних естерів фосфору, сірки та інших екотоксикантів.

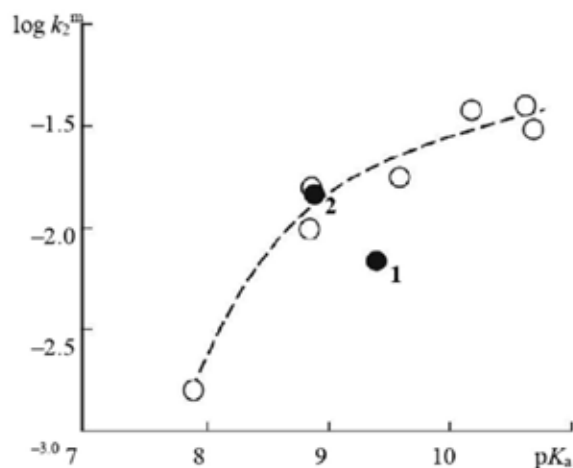


Рис. 2. Графік Бренстеда для розкладання складного естеру **5** функціоналізованими ПАР, що містять оксимну групу; точки для поверхнево-активних речовин **1** і **2** показані темними колами; інші дані взято з (Karitanov et al., 2011; Mirgorodskaya et al., 2014)

Список використаної літератури

Капитанов И. В., Сердюк А. А., Шумейко А. Е., Прокопьева Т. М., Попов А. Ф. Кислотно-основные свойства функционализированных ПАВ в мицелярных системах. *Украинский химический журнал*. 2017. Т. 83. № 8. С. 94–102.

- Bunton C.A. The dependence of micellar rate effects upon reaction mechanism. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2006. V. 123. P. 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.05.008>
- Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry. Volumes 1 and 2. Edited by K. Holmberg, J. Wiley. West Sussex. 2002. 1110 P. <https://doi.org/10.1021/ja025281k>
- Kapitanov I. V., Mirgorodskaya A. B., Valeeva F. G., Gathergood N., Kuca K., Zakharova L. Y., Karpichev Y. Physicochemical properties and esterolytic reactivity of oxime functionalized surfactants in pH-responsive mixed micellar system. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.* 2017. V. 24. P. 143–159. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.04.039>
- Kapitanov I. V. Nucleophilicity of micellar systems based on amphiphilic derivatives of 2-(oximinomethyl) imidazole in the decomposition of 4-nitrophenyl diethyl phosphate. *Theoretical and Experimental Chemistry.* 2011. V. 47. P. 317–323. <https://doi.org/10.1007/s11237-011-9221y>
- Mirgorodskaya A. B., Karpichev Y., Zakharova L., Yackevich E., Kapitanov I., Lukashenko, S., Popov A., Konovalov, A. Aggregation behavior and interface properties of mixed surfactant systems gemini 14-s-14/CTABr. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2014. V. 457, N 5. P. 435–432. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.06.026>
- Mirgorodskaya A. B., Valeeva F. G., Kushnazarova R. A., Lukashenko S. S., Zakharova L. Y. Catalytic Effect of Micellar Systems Based on Hydroxypiperidinium Surfactants in the Hydrolysis of a *p*-Nitrophenyl Phosphonate. *Kinetics and Catalysis.* 2021. V. 62. P. 82–88. <https://doi.org/10.1134/S0023158420060099>
- Pandya S. J., Kapitanov I. V., Banjare M. K., Behera K., Borovkov V., Ghosh K. K., Karpichev Y. E. Mixed Oxime-Functionalized IL/16-s-16 Gemini Surfactants System: Physicochemical Study and Structural Transitions in the Presence of Promethazine as a Potential Chiral Pollutant. *Chemosensors.* 2022. V. 10. P. 1–21. <https://doi.org/10.3390/chemosensors1002004>
- Pal A., Datta S., Aswal V. K., Bhattacharya S. Small-Angle Neutron-Scattering Studies of Mixed Micellar Structures Made of Dimeric Surfactants Having Imidazolium and Ammonium Headgroups. *J. Phys. Chem. B.* 2012, V. 116. P. 13239–13247. <https://doi.org/10.1021/jp304700t>
- Popov A., Kapitanov I., Serdyuk A., Shumeiko A. Reactivity of nucleophiles and α -effect in substitution processes at electron - deficiency centers (Part 1). *Ukrainian chemistry journal.* 2020. V. 86. N 7. P. 3–31. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.86.7.2020.3-31>
- Popov A., Kapitanov I., Serdyuk A., Shumeiko A. Reactivity of nucleophiles and α -effect in substitution processes at electron - deficiency centers (Part 2). *Ukrainian chemistry journal.* 2020. V. 86. N 8. P. 77–100. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.86.8.2020.77-100>
- Popov A. F. Design of green microorganized systems for decontamination of ecotoxicants. *Pure Appl. Chem.* 2008. V. 80. P. 1381–1397. <https://doi.org/10.1351/pac200880071381>
- Serdyuk A. A., Mirgorodskaya A. B., Kapitanov I. V., Gathergood N., Zakharova L. Y., Sinyashin O. G., Karpichev Y. A. Effect of structure of polycyclic aromatic substrates on solubilization capacity and size of cationic monomeric and gemini 14-s-14 surfactant aggregates. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.* 2016. V. 509. P. 613–622. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.09.068>
- Singh N., Karpichev Ye., Tiwari A. K., Kuca K., Ghosh K. K. Oxime functionality in surfactant self-assembly: An overview on combating toxicity of organophosphates. *J. Mol. Liq.* 2015. V. 208. P. 237–252. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.04.010>
- Singh N., Karpichev Y., Gupta B., Satnami M. L., Marek J., Kuca K., Ghosh K. K. Physicochemical Properties and Supernucleophilicity of Oxime-Functionalized Surfactants: Hydrolytic Catalysts toward Dephosphorylation of Di- and Triphosphate Esters. *J. Phys. Chem. B.* 2013. V. 117. P. 3806–3817. <https://doi.org/10.1021/jp310010q>
- Singh N., Karpichev Y., Sharma R., Gupta B., Sahu A., Manmohan L., Ghosh S. From α -nucleophiles to functionalized aggregates: exploring the reactivity of hydroxamate ion towards esterolytic reactions in micelles. *Org. Biomol. Chem.* 2015. V.13. P. 2827–2848. <https://doi.org/10.1039/C4OB2067G>
- Zakharova L. Y., Serdyuk A. A., Mirgorodskaya A. B., Kapitanov I. V., Gainanova G. A., Karpichev Y. A., Gavrilova E. L., Sinyashin O. G. Amino Acid-Functionalized Calix[4] Resorcinarene Solubilization by Mono- and Dicationic Surfactants. *Journal of Surfactants and Detergents.* 2016. V. 19. № 3. P. 493–499. <https://doi.org/10.1007/s11743-016-1792-0>
- Zana R., Xia J. Gemini Surfactant: Synthesis, Interfacial and Solution-Phase Behavior, and Applications. Eds., New York: Marcel Dekker, 2003. 385 P.
- Zubareva T. M., Anikeev A. V., Karpichev E. A., Red'ko A. N., Prokop'eva T. M., Popov A. F. Cleavable dicationic surfactant micellar system for the decomposition of organophosphorus compounds.

Theoretical and Experimental Chemistry. 2012. V. 47. P. 377–383. <https://doi.org/10.1007/s11237-012-9230-5>

References (translated & transliterated)

- Kapitanov, I. V., Serdyuk, A. A., Shumeiko, A. E., Prokopieva, T. M. & Popov, A. F. (2017). Kislotno-osnovnyye svoystva funktsionalizirovanykh PAV v mitselyarnykh sistemakh [Acid-base properties of functionalized surfactants in micellar systems]. *Ukrainian chemistry journal [Ukrainian Chemical Journal]*, 83 (8), 94–102 [in Russian].
- Bunton, C. A. (2006). The dependence of micellar rate effects upon reaction mechanism. *Adv. Colloid Interface Sci.* 123, 333–343. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2006.05.008> [in English].
- Handbook of Applied Surface and Colloid Chemistry. Volumes 1 and 2. Edited by K. Holmberg, J. Wiley. West Sussex. (2002). 1110. <https://doi.org/10.1021/ja025281k> [in English].
- Kapitanov, I. V., Mirgorodskaya, A. B., Valeeva, F. G., Gathergood, N., Kuca, K., Zakharova, L. Y. & Karpichev, Y. (2017). Physicochemical properties and esterolytic reactivity of oxime functionalized surfactants in pH-responsive mixed micellar system. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*. 24, 143–159. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.04.039> [in English].
- Kapitanov, I. V. (2011). Nucleophilicity of micellar systems based on amphiphilic derivatives of 2-(oximinomethyl) imidazole in the decomposition of 4-nitrophenyl diethyl phosphate. *Theoretical and Experimental Chemistry*. 47, 317–323. <https://doi.org/10.1007/s11237-011-9221y> [in English].
- Mirgorodskaya, A. B., Karpichev, Y., Zamkharova, L., Yackevich, E., Kapitanov, I., Lukashenko, S., Popov, A., & Konovalov, A. (2014). Aggregation behavior and interface properties of mixed surfactant systems gemini 14-s-14/CTABr. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 457 (5). 435–432. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.06.026> [in English].
- Mirgorodskaya, A. B., Valeeva, F. G., Kushnazarova, R. A., Lukashenko, S. S., & Zakharova, L. Y. (2021). Catalytic Effect of Micellar Systems Based on Hydroxypiperidinium Surfactants in the Hydrolysis of a *p*-Nitrophenyl Phosphonate. *Kinetics and Catalysis*. 62, 82–88. <https://doi.org/10.1134/S0023158420060099> [in English].
- Pandya, S. J., Kapitanov, I. V., Banjare, M. K., Behera, K., Borovkov, V., Ghosh, K. K., & Karpichev, Y. E. (2022). Mixed Oxime-Functionalized IL/16-s-16 Gemini Surfactants System: Physicochemical Study and Structural Transitions in the Presence of Promethazine as a Potential Chiral Pollutant. *Chemosensors*. 10, 1–21. <https://doi.org/10.3390/chemosensors1002004> [in English].
- Pal, A., Datta, S., Aswal, V. K., & Bhattacharya, S. (2012). Small-Angle Neutron-Scattering Studies of Mixed Micellar Structures Made of Dimeric Surfactants Having Imidazolium and Ammonium Headgroups. *J. Phys. Chem. B*. 116, 13239–13247. <https://doi.org/10.1021/jp304700t> [in English].
- Popov, A., Kapitanov, I., Serdyuk, A., & Shumeiko, A. (2020). Reactivity of nucleophiles and α -effect in substitution processes at electron - deficiency centers (Part 1). (2020). *Ukrainian chemistry journal*. 86 (7), 3–31. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.86.7.2020.3-31> [in English].
- Popov, A., Kapitanov, I., Serdyuk, A., & Shumeiko, A. Reactivity of nucleophiles and α -effect in substitution processes at electron - deficiency centers (Part 2). (2020). *Ukrainian chemistry journal*. 86 (8), 77–100. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.86.8.2020.77-100> [in English].
- Popov, A. F., (2008). Design of green microorganized systems for decontamination of ecotoxicants. *Pure Appl. Chem.* 80, 1381–1397. <https://doi.org/10.1351/pac200880071381> [in English].
- Serdyuk, A. A., Mirgorodskaya, A. B., Kapitanov, I. V., Gathergood, N., Zakharova, L.Y., Sinyashin, O. G., & Karpichev, Y. A. (2016). Effect of structure of polycyclic aromatic substrates on solubilization capacity and size of monomeric and gemini 14-s-14 surfactant aggregates. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 509, 613–622. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.09.068> [in English].
- Singh, N., Karpichev, Ye., Tiwari, A. K., Kuca, K., & Ghosh, K. K. (2015). Oxime functionality in surfactant self-assembly: An overview on combating toxicity of organophosphates. *J. Mol. Liq.* 208, 237–252. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.04.010> [in English].
- Singh, N., Karpichev, Y., Gupta, B., Satnami, M. L., Marek, J., Kuca, K., & Ghosh, K. K. (2013). Physicochemical Properties and Supernucleophilicity of Oxime-Functionalized Surfactants: Hydrolytic Catalysts toward Dephosphorylation of Di- and Triphosphate Esters. *J. Phys. Chem. B*. 117, 3806–3817. <https://doi.org/10.1021/jp310010q> [in English].

Singh, N., Karpichev, Y., Sharma, R., Gupta, B., Sahu, A., Manmohan, L., & Ghosh, S. (2015). From α -nucleophiles to functionalized aggregates: exploring the reactivity of hydroxamate ion towards esterolytic reactions in micelles. *Org. Biomol. Chem.* 13, 2827–2848. <https://doi.org/10.1039/C40B2067G> [in English].

Zakharova, L. Y., Serdyuk, A. A., Mirgorodskaya, A. B., Kapitanov, I. V., Gainanova, G. A., Karpichev, Y. A., Gavrilova, E. L., & Sinyashin, O. G. (2016). Amino Acid-Functionalized Calix [4] Resorcinarene Solubilization by Mono- and Dicationic Surfactants. *Journal of Surfactants and Detergents.* 19 (3), 493–499. <https://doi.org/10.1007/s11743-016-1792-0> [in English].

Zana, R., & Xia, J. (2003). Gemini Surfactant: Synthesis, Interfacial and Solution-Phase Behavior, and Applications. Eds., New York: Marcel Dekker. 385 [in English].

Zubareva, T. M., Anikeev, A. V., Karpichev, E. A., Red'ko, A. N., Prokop'eva, T. M., & Popov, A. F. (2012). Cleavable dicationic surfactant micellar system for the decomposition of organophosphorus compounds. *Theoretical and Experimental Chemistry.* 47, 377–383. <https://doi.org/10.1007/s11237-012-9230-5> [in English].

Отримано: 22.05.2023

Прийнято: 13.06.2023



АГРОНОМІЯ

УДК 911.2: 631.4

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.12>

МОНІТОРИНГ АГРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ ОКРЕМИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ

Г. Д. Крупко¹, А. В. Лисиця², І. Л. Толочик³, О. І. Портухай⁴

У роботі викладено результати обстежень ґрунтів Локницької і Зарічненської територіальних громад Вараського району Рівненської області. Найбільші площі сільськогосподарських угідь від обстежених площ займають заплавні дернові глеєві осушені – 9 074,7 га (33,4%), торф'яно-болотні і торф'яники мілкі осушені – 3 689,2 га (13,6%) та дерново-підзолисті глеєві осушені ґрунти – 2 668,3 га (9,8%). Визначено агроекологічні показники найпоширеніших ґрунтів. Переважають ґрунти з низькою якістю, переважно сьомого та восьмого класів. Середній показник оцінки ґрунтів становить 31 бал. Ґрунти дуже низької якості займають 5,5 тис га і відносяться до дев'ятого класу. Площі ґрунтів із низькою якістю становлять 19,4 тис га, із них сьомого та восьмого класів – відповідно 7,6 та 11,8 тис га. Ґрунти середньої якості займають 2,2 тис га, із них п'ятого класу – 0,1, шостого класу – 2,1 тис га. Площі непридатних земель становлять 0,03 тис га і відносяться до десятого класу якості. У розрізі сільських громад (сільських рад) його величина варіює від 26 до 38 балів. Найнижчий показник оцінки якості ґрунтів угідь у Новорічицькій громаді становить 26 балів, найвища – у Кухченській – 38 балів. Установлено, що за останні десятиліття значно зросли площі еродованих ґрунтів із незадовільним умістом лужногідролізованого азоту, рухомих форм фосфору та калію. Значно збільшилися площі ґрунтів із кислою реакцією

¹ кандидат сільськогосподарських наук,

в. о. директора

(Рівненська філія державної установи «Інститут охорони ґрунтів України», с. Шубків)

e-mail: krupko_gd@ukr.net

ORCID: 0000-0002-1506-1258

² доктор біологічних наук,

професор кафедри екології, географії та хімії

(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне)

e-mail: andriy.lysytsya@rshu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-9028-8412

³ кандидат біологічних наук,

доцент кафедри біології, здоров'я людини та фізичної терапії

(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне)

e-mail: inna.tolochyk@rshu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-7974-2346

⁴ кандидат сільськогосподарських наук,

професор кафедри екології, географії та хімії

(Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне)

e-mail: oksana.portukhai@rshu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9078-0658

середовища. За даними на 2015 р., середній уміст гумусу становив до 2,7%, лужногідролізованого азоту – 203 мг/кг, фосфору – 81 мг/кг, калію – 46 мг/кг ґрунту, середнє значення рН – 5,1. На 2020 р. середній уміст гумусу становив 2,8%, лужногідролізованого азоту – 193 мг/кг, фосфору – 111 мг/кг, калію – 80 мг/кг ґрунту, середнє значення рН – 5,1. Отримані дані дають змогу побачити загальну тенденцію змін стану ґрунтів ріллі в розрізі останніх трьох-п'яти десятиліть.

Ключові слова: ґрунт, агроекологічна оцінка, хімічні елементи, нітроген, моніторинг, Волинське Полісся.

MONITORING OF THE AGRO-ECOLOGICAL CONDITION OF THE SOILS OF INDIVIDUAL TERRITORIAL COMMUNITIES OF THE VOLYN POLISSYA

H. D. Krupko, A. V. Lysytsya, I. L. Tolochyk, O. I. Portukhay

The results refer to soil surveys of Loknytska and Zarichnenska territorial communities, Varas district, Rivne region. The largest areas of agricultural land out of the surveyed areas are occupied by drained floodplain turf muds – 9,074.7 ha (33.4%), drained peat bogs and shallow peat bogs – 3,689.2 (13.6%) and turf and podzolic muds drained soils – 2668.3 ha (9.8%). We determined the agroecological indicators of the most common soils. These soils are mainly of low quality, mostly seventh and eighth grades. The average indicator of soil evaluation is 31 points. Soils of very low quality occupy 5.5 thousand hectares and belong to the ninth class. Areas of soils with low quality are 19.4 thousand hectares, of which 7.6 and 11.8 thousand hectares are of the seventh and eighth grades, respectively. Soils of average quality occupy 2.2 thousand hectares, of which 0.1 are of the fifth class, and 2.1 thousand hectares are of the sixth class. Areas of unusable land amount to 0.03 thousand hectares and belong to the tenth quality class. The assessment of soils varies by village communities (village councils) from 26 to 38 points. The lowest indicator of land quality assessment is in Novorichytskyi hromada, it is 26 points, the highest indicator is in Kukhchensk hromada. We determined that the areas of eroded soils with unsatisfactory content of alkaline hydrolyzed nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium have significantly increased in recent decades. The areas of soils with an acidic reaction of the environment also increased significantly. According to the data of 2015, the average content of humus is 2.7%, alkaline hydrolyzed nitrogen is 203 mg/kg, phosphorus is 81 mg/kg, potassium is 46 mg/kg of soil, the average value of pH is 5.1. The average content of humus in 2020 was 2.8%, alkaline hydrolyzed nitrogen was 193 mg/kg, phosphorus was 111 mg/kg, potassium was 80 mg/kg of soil, the average pH value was 5.1. The obtained data allow us to see the general trend of changes in the condition of arable soils over the past three to five decades.

Key words: soil, agroecological assessment, chemical elements, nitrogen, monitoring, Volyn Polissia.

Вступ

Ґрунт – це головний засіб сільськогосподарського виробництва і місце поселення людей. Як багатокomпонентна і складно організована екосистема він виконує також низку різноманітних функцій стосовно живих організмів. Слід зазначити, що багато із цих функцій чітко не зв'язані з відповідними властивостями ґрунту, проте безпосередньо стосуються його родючості та продуктивності біоценозів (Лико і Портухай, 2015; Bashkin et al., 2002; Bashkin & Radojevic, 2003). Вирішальну роль у регулюванні поживного режиму відіграє використання добрив. Вони сприяють збільшенню вмісту елементів живлення у ґрунті, підвищують інтенсивність накопичення легкодоступних сполук, сприяють становленню у ґрунті оптимального співвідношення між елементами живлення, впливають на ефективність

їх використання рослинами в період росту та розвитку.

Сучасний кризовий стан земельних ресурсів України, погіршення екологічного стану земель інтенсивного сільськогосподарського використання, падіння родючості ґрунтів та масштабне поширення ґрунтових деградаційних процесів зумовляють потребу істотних змін у господарській діяльності людини та природокористуванні. У зв'язку із цим надзвичайно важливим та актуальним є застосування комплексного підходу до оцінки сучасного агроекологічного стану земель сільськогосподарського призначення як основи для надання науково обґрунтованих рекомендацій щодо раціонального, екологічно безпечного сільськогосподарського землекористування (Польовий, 2007; Тараріко та ін., 2008).

Визначення агрохімічних параметрів, у т. ч. вмісту хімічних елементів, забезпе-

чує здійснення моніторингу стану родючості ґрунтів, їх змін та дає змогу розробити агрозаходи щодо захисту ґрунтів від деградаційних процесів. За результатами агрохімічного обстеження ґрунтів розробляють і впроваджують технології високоефективного застосування мінеральних добрив, оптимізації доз, строків і способів їх унесення (Фурман та ін., 2018).

Ґрунти України досить добре вивчено, але це не стало на заваді інтенсивному розвитку їх деградації, зокрема дегуміфікації, підкисленню, ущільненню, водної та вітрової ерозій тощо, це повною мірою стосується і земель сільськогосподарського призначення Рівненської області (Долженчук і Крупко, 2015; Лико та ін., 2018; Skrypchuk et al., 2020).

Ґрунтовий покрив Волинського Полісся неоднорідний та відрізняється великою різноманітністю ґрунтоутворюючих порід, які сприяють утворенню значної кількості агро-виробничих груп ґрунтів. Значну частину ґрунтового покриву становлять дерново-підзолисті ґрунти різного гранулометричного складу, ступеня оглеєності й підзолистості. Розрахунки середніх утрат та надходжень органічних та поживних речовин під час вирощування сільськогосподарських культур на території Рівненської області за період 2000–2018 рр. доводять, що агроєкосистеми втрачають динамічну рівновагу (Собко і Вознюк, 2018).

Територія Локницької і Зарічненської територіальних громад (ТГ) знаходиться у крайній північно-західній частині Рівненської області, у Вараському районі. На заході межує з Волинською областю, на півдні і сході – з іншими ТГ Рівненської області, на півночі – з Республікою Білорусь. Цю територію відносять до регіону Волинського Полісся.

Локницька ТГ має загальну площу 362,88 км². Чисельність населення станом на 1 січня 2021 р. становить 5 505 осіб. ТГ включає у себе 20 населених пунктів, найбільший із них – с. Локниця з 1 076 мешканцями (Офіційна сторінка Локницької ТГ). Зарічненська ТГ має площу 1 102,6 км², населення – 28 790 осіб (2020 р.), у складі громади 31 населений пункт.

Територія розташована у Поліській низовині. Поверхня – плоска низовина, основним елементом рельєфу якої є долина верхньої течії р. Прип'яті з широкою заплавою та двома надзаплавними терасами, для яких характерні значна заболоченість,

розвиток еолових форм рельєфу (горби та пасма заввишки 5–15 м). Територія належить до вологої та помірно теплої агрокліматичної зони України і розміщена у Північному (Поліському) агрокліматичному районі. Клімат тут помірно континентальний, із теплим і достатньо вологим літом. Зима також порівняно тепла, мало-сніжна, з частими відлигами. Період із температурою понад +10°C у середньому становить 156 днів. Пересічна температура січня – -5,3°C, липня – +18,1°C. Опадів – 578 мм на рік. Висота снігового покриву – 20–25 см (Коротун і Коротун, 1996; Масовець і Адаменко, 2012).

Матеріал і методи

Агрохімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення проводили згідно з керівним нормативним документом «Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення» 2013 та 2019 рр. Відбір ґрунтових зразків проводили згідно з ДСТУ 4281:2004. Аналіз відібраних зразків ґрунту проводили в аналітичній лабораторії Рівненської філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» на автоматизованій лінії «АСВА-П(к)» за загальноприйнятими методиками (Методика ..., 2003, 2013). Частина досліджених зразків припадала на еродовані ґрунти. Агрохімічне обстеження еродованих ґрунтів порівняно з повнопрофільними має свої особливості. Площі еродованих ґрунтів характеризуються значною строкатістю за ступенем змитості чи дефляції, тому використали спеціальні підходи до визначення площ елементарних ділянок, відбору ґрунтових зразків та оцінювання якості земель (Вознюк та ін., 1998).

Результати та обговорення

Останнє повномасштабне обстеження ґрунтів (X тур) із метою агрохімічної паспортизації та агроєкологічної оцінки було проведено у 2015 р., ще до впровадження територіальної реформи. На той час землі Локницької і Зарічненської територіальних громад входили до складу Зарічненського району. Зараз це частина Вараського району Рівненської області.

У структурі земельного фонду Локницької і Зарічненської територіальних громад Вараського району сільськогосподарські угіддя становлять 35,4%, лісовкриті площі – 43,1%, забудовані землі – 1,5%, заболочені землі – 12,6%, відкриті землі без рослинного покриву – 2,0 %, водні ресурси – 3,7 %, інші землі – 1,7% (рис. 1).

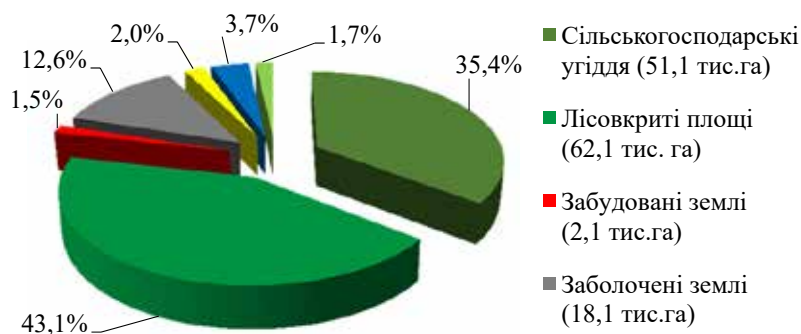


Рис. 1. Структура земельного фонду

У структурі сільськогосподарських угідь на рілля припадає 49,9%, пасовища становлять 22,1%, сіножаті – 26,6%, багаторічні насадження – 1,4% (рис. 2).

Найбільші площі сільськогосподарських угідь від обстежених площ займають заплавні дернові глеєві осушені – 9 074,7 га (33,4%), торф'яно-болотні і торф'яники мілкі осушені – 3 689,2 га (13,6%) та дерново-підзолисті глеєві осушені ґрунти – 2 668,3 га (9,8%).

У цілому обстежені ґрунти відповідають групі земель низької якості, середня оцінка становить 31 бал. Ґрунти дуже низької яко-

сті займають 5,5 тис га і відносяться до дев'ятого класу. Площі ґрунтів із низькою якістю становлять 19,4 тис га, із них сьомого та восьмого класів відповідно – 7,6 та 11,8 тис га. Ґрунти середньої якості займають 2,2 тис га, із них п'ятого класу – 0,1, шостого класу – 2,1 тис га. Площі непридатних земель становлять 0,03 тис га і відносяться до десятого класу якості. У розрізі сільських громад (сільських рад) його величина варіює від 26 до 38 балів. Найнижчий показник оцінки якості ґрунтів угідь у Новорічицькій громаді становить 26 балів, найвищий – у Кухченській – 38 балів (рис. 3).

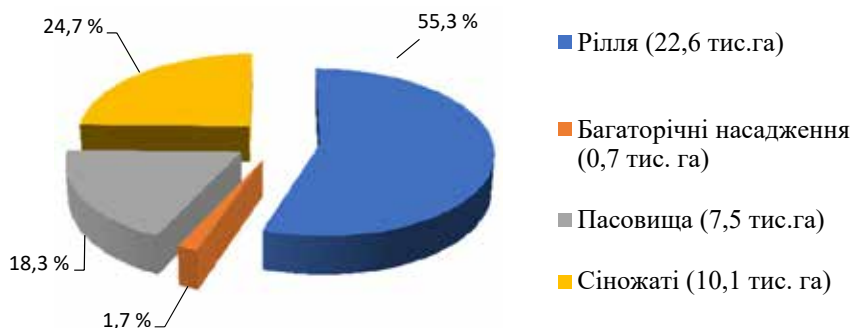


Рис. 2. Структура сільськогосподарських угідь району

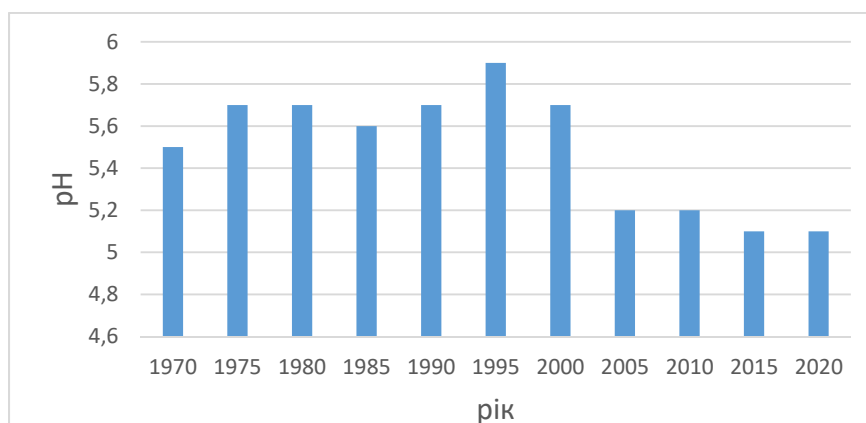


Рис. 3. Динаміка змін середньозважених показників кислотності pH_{KCF}

Реакція ґрунтового розчину. Реакція ґрунтового розчину відіграє важливу роль у розвитку рослин і ґрунтових мікроорганізмів, впливає на швидкість і напрям перебігу у ґрунті хімічних і біохімічних процесів. Відомо, що ґрунтовий розчин є основним джерелом надходження у рослину поживних речовин. Засвоєння рослинами елементів живлення, інтенсивність мікробіологічної життєдіяльності, мінералізація органічної речовини, розкладення ґрунтових мінералів і розчинення різноманітних важкорозчинних сполук, коагуляція і пептизація колоїдів та інші фізико-хімічні процеси великою мірою визначають реакцію ґрунту (Мельничук та ін., 2004).

Дослідження виявило, що за результатами ІХ туру агрохімічної паспортизації 2010 р. площа кислих ґрунтів з $pH_{KCl} < 5,6$ становила 19000,3 га (70,0%). У динаміці змін показників pH_{KCl} по роках видно їх варіацію від 5,2 до 5,9 із середньозваженим за 2010 р. – 5,2 (рис. 3). За результатами Х і ХІ турів агрохімічної паспортизації 2015 і 2020 рр. кислотність дещо збільшилася, середнє значення pH – 5,1. Середньозважені показники pH_{KCl} у розрізі сільських громад варіюють від сильнокислих із pH 4,2 для Омитської громади до нейтральних із pH 6,2 для Сенчицької.

Уміст гумусу. Основним джерелом елементів живлення (азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірка, мікроелементи) для отримання врожаїв є гумус, від запасів і якості якого залежать структура ґрунту, його водні і фізичні властивості, поглинальна здатність та ферментативна активність. Дослідженнями 2010 р. виявлено, що переважаючі площі займають ґрунти із середнім – 5 158,2 га (40,3%) та низьким –

4 631,6 га (36,2%) умістом гумусу. Значно менші площі займають ґрунти з підвищеним умістом гумусу – 2 101,5 га (16,4%). У розрізі окремих сільських громад його вміст варіює від 1,6% (Нобельська громада) до 3,3% (Серницька громада). У динаміці змін показників по роках видно їх варіацію від 2,2 до 4,3 із середньозваженим значенням у 2010 р. (ІХ тур) – 2,4% та деяким зростанням у 2015 р. (Х тур) до 2,7% і до 2,8% у 2020 р. (ХІ тур) (рис. 4).

Уміст лужногідролізованого азоту. Уміст у ґрунті азоту (нітрогену), що легко гідролізується, також є одним із найважливіших показників його родючості. Зазвичай уміст загального азоту в орному шарі різних ґрунтів коливається від 0,05% до 0,3% і знаходиться у прямій залежності від наявності у них органічних речовин. Основним джерелом азоту у ґрунті є відмерлі залишки рослин, тварин і мікроорганізмів. Забезпеченість сільськогосподарських культур азотом залежить не так від загального його вмісту у ґрунті, як від наявності мінеральних сполук – нітратів та обмінного амонію, уміст яких у ґрунті становить близько 1% від загальної кількості азоту. Цей показник указує на вміст потенційно легкодоступного нітрогену для рослин, вилучається ця форма за допомогою лужного гідролізу. У результаті виключаються обмінний азот, вільний і поглинений аміак, аміді, частково амінокислоти, аміноцукри та деякі органічні сполуки. Визначали лужногідролізований азот методом Корнфілда. Дослідженнями 2010 р. виявлено 7 505,8 га (27,6%) із дуже низьким та 6 361,0 га (23,4%) із низьким умістом лужногідролізованого азоту. Значні площі в районі із середнім – 4 409,6 га (16,2%) та підвищеним – 8 869,4 га (32,7%) умістом, що

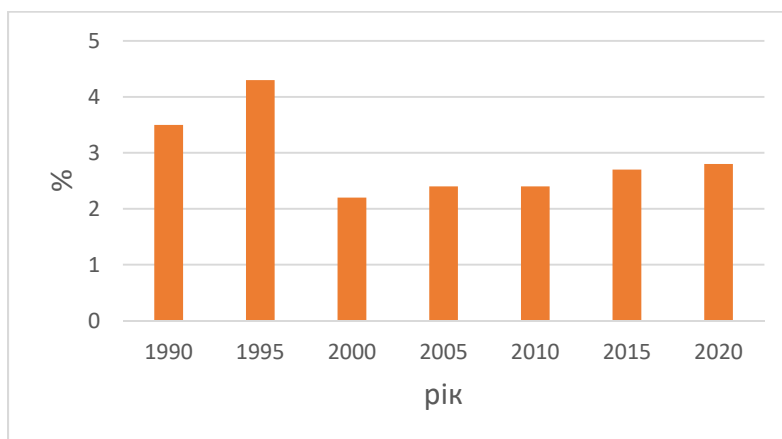


Рис. 4. Динаміка змін середньозважених показників гумусу

пояснюється наявністю у структурі ґрунтового покриву великої кількості дернових і торф'яно-болотних ґрунтів – 19 516,4 га (71,9%). У динаміці змін показників по роках видно їх варіацію від 154 до 237 мг/кг ґрунту, із середньозваженим за 2010 р. – 167 мг/кг, 203 мг/кг у 2015 р. і 193 мг/кг у 2020 р. (рис. 5). Середньозважені показники в розрізі окремих сільських громад у 2010 р. коливалися від 107 (Зарічненська) до 225 мг/кг (Перекальська). У 2015 р. в Перекальській громаді вміст азоту, навпаки, виявився одним із найнижчих – 141 мг/кг, а найвищий показник у Кухотсько-Вільській – 223 мг/кг.

Уміст фосфору. Уміст загального фосфору в орному шарі ґрунту коливається від 1,3 т/га у дерново-підзолистих до 5,4 т/га у чорноземі звичайному. Основна маса фосфору міститься у ґрунті у сполученні мінеральних і органічних сполук, недоступних для рослин. Органічні сполуки фосфору представлені переважно нуклеопротейдами, фітином, фосфоліпідами, фосфопротейдами та іншими органічними сполуками, що входять до складу тварин, рослин і мікроорганізмів. У гумусі фосфор знаходиться у складі гумінових і фульвокислот. Мінеральні сполуки знаходяться у ґрунті у вигляді солей кальцію, заліза та алюмінію, тобто їх склад значною мірою визначається складом катіонів у ґрунтового вбирного комплексу. Основна роль у живленні рослин фосфором належить його мінеральним сполукам, які представлені у ґрунті апатитами, фосфоритами, вторинними мінералами їх розкладання і солями фосфорних кислот (Господаренко, 2010).

Результатами досліджень 2010 р. встановлено, що переважаючі площі займають

ґрунти з дуже низьким – 5 968,5 га (22,0%), низьким – 6 692,6 га (24,7%) та середнім – 8 495,5 га (31,3%) умістом. Значно менші площі займають ґрунти з підвищеним вмістом – 3 574,6 га (13,2%). У динаміці змін показників за роками видно їх варіацію від 42 до 104 із середньозваженим за 2010 р. – 69, за 2015 р. – 81, за 2020 р. – 111 мг/кг ґрунту (рис. 6). Середньозважені показники в розрізі сільських громад у 2010 р. коливалися від 38 до 121 мг/кг, зокрема у 2015 р. – від 45 (Кухотсько-Вільська громада) до 101 мг/кг ґрунту (Вичівська громада).

Уміст калію. Загальний уміст калію в ґрунтах коливається від 0,5% до 3,0%, що у 10–15 разів перевищує запаси азоту і фосфору. У ґрунті калій знаходиться переважно у мінеральній частині: 1) у складі кристалічної гратки первинних і вторинних мінералів; 2) в обмінно і необмінно поглиненому стані у колоїдних часточках; 3) у складі поживно-коренових залишків і мікроорганізмів; 4) у вигляді мінеральних солей ґрунтового розчину. Найкращим джерелом живлення рослин є розчинні солі калію. Найближчим резервом живлення є гідрослюди, вермикуліти, вторинні хлорити, монтморилоніт, необмінні катіони. Найбільше калію міститься у глинистих чорноземних ґрунтах. У ґрунтах легкого гранулометричного складу (піщаних і супіщаних) уміст калію значно менший. Найбідніші на калій торфові ґрунти, де вміст цього елемента коливається від 0,03% до 0,15% (Господаренко, 2010).

Результатами досліджень 2010 р. визначено, що переважаючі площі займають ґрунти з дуже низьким – 15 727,0 га (57,9%) та низьким – 8 435,6 га (31,1%). Значно менші площі займають ґрунти із середнім

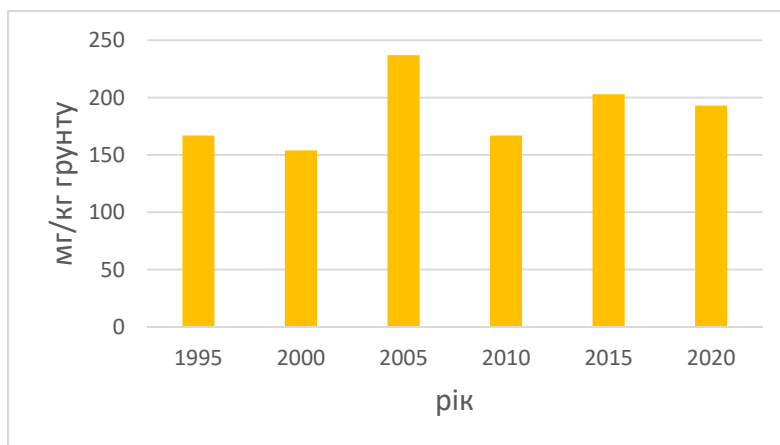


Рис. 5. Динаміка змін середньозважених показників лужногідролізованого азоту (нітрогену)

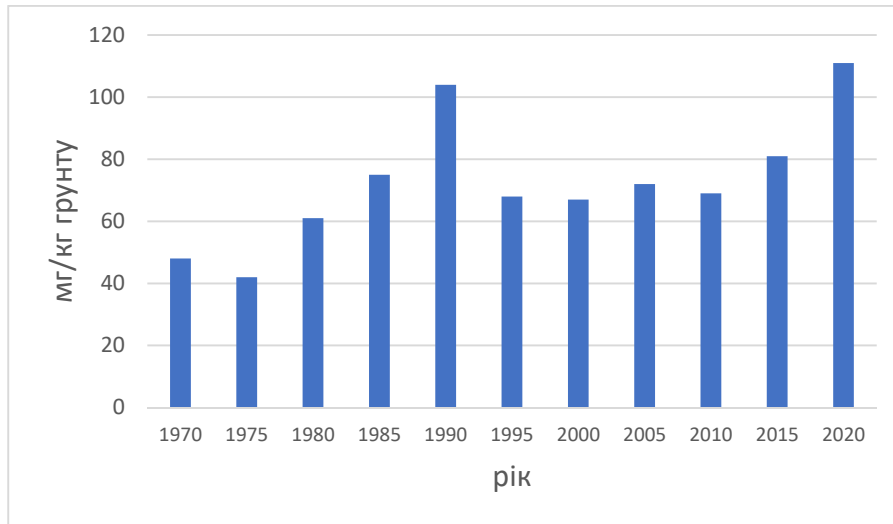


Рис. 6. Динаміка змін середньозважених показників рухомого фосфору

умістом – 1 907,8 га (7,0%). У динаміці змін показників по роках видно їх варіацію від 7 до 97, із середньозваженим за 2010 р. – 44, 46 у 2015 р. і 80 мг/кг ґрунту у 2020 р. (рис. 7). У розрізі сільських громад середньозважені показники у 2010 р. коливалися від 20 мг/кг (Омитська) до 70 мг/кг (Неньковицька), у 2015 р. – від 33 мг/кг (Перекальська громада) до 75 мг/кг ґрунту (Борівська громада).

Уміст мікроелементів. Мікроелементи поліпшують нормальний перебіг у рослинах фізіологічно-біологічних процесів, впливають на процес синтезу хлорофілу, унаслідок чого підвищується інтенсивність фотосинтезу. Під впливом мікроелементів підвищується стійкість рослин проти захворювання, різних несприятливих умов зовнішнього

середовища: нестачі вологи в ґрунті, пониження або підвищення температури (Мельничук та ін., 2004).

Уміст рухомого бору у ґрунтах сільськогосподарських угідь відповідав середньому рівню забезпеченості, він становив 0,75 мг/кг у 2010 р., 0,93 мг/кг у 2015 р. і 1,40 мг/кг ґрунту в 2020 р. Ґрунти угідь із низькою забезпеченістю бором займають 4,0 тис га, середньою – 12,0, високою – 11,2 тис га. Рухомі сполуки марганцю і міді визначалися за методом Пейве – Ринькіса. Уміст рухомого марганцю відповідав низькому рівню забезпеченості, він становив 3,3 у 2010 р., 1,19 у 2015 р. і 1,65 мг/100 г ґрунту в 2020 р. Площі ґрунтів із низьким умістом займають 16,1 тис га, середнім – 8,9, високим – 2,2 тис га. Уміст рухомої міді

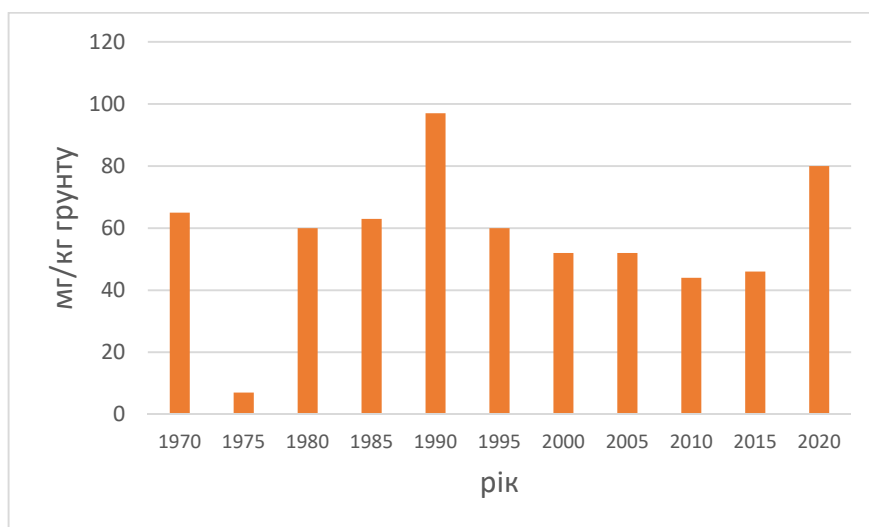


Рис. 7. Динаміка змін середньозважених показників обмінного калію

відповідав низькому рівню забезпеченості, він становив 1,5 мг/кг у 2010 р. і зменшився до 0,23 у 2015 р. та 0,22 мг/кг ґрунту у 2020 р. Площі угідь із низькою забезпеченістю міддю займають 20,5 тис га, середньою – 5,2, високою – 1,4 тис га.

Забруднення важкими металами та радіонуклідами. На особливості перерозподілу важких металів у ґрунтовому профілі впливає комплекс ґрунтових чинників: гранулометричний склад, реакція ґрунтового розчину, уміст органічної речовини, ємність поглинання катіонів, дренаж та ін. Рівень умісту металів, за якого починає проявлятися послаблення росту рослин та інші негативні прояви, може різнитися в декілька разів на піщаних і глинистих ґрунтах, окультурених і неокультурених. При цьому враховується не лише безпосередньо їхня дія на живі організми, а й на екосистему загалом з урахуванням органічних зв'язків між її компонентами і можливих окремих наслідків надходження забруднюючих речовин у біосферу (Мельничук та ін., 2004).

Уміст важких металів (свинцю, кадмію, міді, цинку) є однією з важливих характеристик якості ґрунтів. Рухомі форми важких металів вилучали 1 н розчином HNO_3 . Уміст рухомих форм свинцю не перевищує ГДК (6,0 мг/кг) та відповідає слабкому рівню забруднення. Середньозважений показник становив 1,1 мг/кг ґрунту у 2015 р. і 1,7 мг/кг ґрунту у 2020 р. Уміст рухомих форм кадмію також не перевищує ГДК (0,7 мг/кг) та відповідає помірному рівню забруднення. Середньозважений показник становив 0,28 мг/кг у 2010 р., 0,15 у 2015 р. і 0,20 мг/кг ґрунту в 2020 р. Ґрунти на рівні фонових значень займають 8,9% площ. Решту площ займають ґрунти зі слабким – 28,1%, помірним – 55,5% та середнім – 7,5% рівнем забруднення. Уміст рухомих форм міді не перевищує ГДК та відповідає фоновому рівню забруднення. Середньозважений показник становив 1,49 у 2010 р. і 1,2 мг/кг ґрунту в 2020 р. Ґрунти на рівні фонових значень займають 97,9% площ. Решту площ займають ґрунти зі слабким – 1,1% та помірним – 1,0% рівнем забруднення. Уміст рухомих форм цинку не перевищував ГДК та відповідав фоновому рівню забруднення. Ґрунти на рівні фонових значень займали 91,8% площ. Решту площ займали ґрунти зі слабким – 7,5%, помірним – 0,4% та середнім – 0,2% рівнем забруднення.

Критичність ландшафтів Полісся з погляду інтенсивності міграції радіонуклі-

дів у трофічних ланцюгах, насамперед, зумовлюється типом ґрунтів, до яких переважно належать торфові, торфово-глейові і торфово-болотні з високим умістом органічної речовини – від 20% до 60%, дуже низьким умістом глинистих мінералів і мулистої фракції, кислою реакцією середовища (pH_{KCl} 4,2–5,4) і високою зволоженістю. На таких ґрунтах коефіцієнти переходу ^{137}Cs в системі «ґрунт – рослина» можуть перевищувати відповідні значення на дерново-підзолистих у 4–30 разів (Прістер, 2007).

Радіоактивне забруднення обстежених ТГ нерівномірне. Середньозважений показник щільності забруднення цезієм-137 становив 0,61 у 2010 р. і 0,54 Ki/km^2 у 2015 р. Угіддя зі щільністю забруднення цезієм-137 до 0,6 Ki/km^2 займали площу 11,8 тис га, від 0,6 до 1,0 Ki/km^2 – 5,8 тис га, від 1,1 до 5,0 Ki/km^2 – 3,1 тис га. Середньозважений показник щільності забруднення стронцієм-90 у ґрунтах угідь становив 0,03 у 2010 р. і 0,02 Ki/km^2 у 2015 р. Угіддя зі щільністю забруднення стронцієм-90 менше 0,02 Ki/km^2 у 2010 р. займали площу 0,3 тис га, від 0,02 до 0,15 Ki/km^2 – 1,3 тис га.

Таким чином, у цілому показник оцінки обстежених ґрунтів відповідає групі земель низької якості та коливається від 27 балів для Омитської громади (VIII клас) до 38 балів – для Кухченської (VII клас). Аналіз умісту основних хімічних елементів у ґрунтах показує, що ситуація за нітрогеном, фосфором і калієм вимагає покращення. Динаміка балансу гумусу свідчить про посилення процесів дегуміфікації. Негативний баланс гумусу у землеробстві зони Полісся спостерігається протягом усіх періодів досліджень. Починаючи з 1981–1985 рр. відбувається подальше зростання від'ємного балансу гумусу, і його дефіцит зростає.

У цілому зростання темпів утрат гумусу пояснюється багатьма причинами, серед яких основними є посилення процесів розкладу гумусу внаслідок внесення малих доз мінеральних добрив на початковому етапі хімізації сільськогосподарського виробництва, поглиблення орного шару за рахунок застосування більш енергонасичених тракторів, зміна структури посівних площ.

Отже, запаси гумусу під час сільськогосподарського використання ґрунтів зменшуються, з одного боку, під впливом біологічного чинника (унаслідок переважання процесів мінералізації гумусу над його новоутворенням), з іншого – під впливом механічного чинника (за рахунок зменшення

потужності ґрунтового профілю під впливом ерозійних процесів).

Із 1995 р. спостерігається чітка тенденція до зростання кислотності ґрунтів. Це, імовірно, пов'язано зі зменшенням внесення в ґрунти кальцію (вапнування) як альтернативи радіоактивному стронцію. Щодо вмісту обмінного калію, то його максимум припадає на 1990 р., що може бути пов'язано з внесенням значних кількостей калійних добрив після аварії на ЧАЕС для зменшення поглинання рослинами радіоактивного цезію.

Висновки

Визначено агроекологічні показники найпоширеніших ґрунтів Локницької і Зарічненської територіальних громад Вараського району Рівненської області. Показник оцінки ґрунтів відповідає групі земель низької якості та в середньому становить 31 бал. У розрізі сільських громад його величина варіює від 26 (Новорічицька) до 38 (Кухченська) балів.

Площа кислих ґрунтів з $pH_{KCl} < 5,6$ станом на 2010 р. становила 19000,3 га (70,0%) із середньозваженим pH 5,2; у 2015 р. – 5,1. Середньозважені показники pH_{KCl} у розрізі сільських громад варіюють від сильнокислих із pH 4,2 для Омитської громади до нейтральних із pH 6,2 – для Сенчицької.

Уміст гумусу коливається від 2,2% до 4,3% із середньозваженим значенням у 2010 р. – 2,4% і незначним зростанням у 2015 р. до 2,7%.

Середньозважені показники вмісту лужногідролізованого азоту в розрізі окремих сільських громад у 2010 р. коливалися від 107 (Зарічненська) до 225 мг/кг (Перекальська). У 2015 р. у Перекальській громаді вміст азоту, навпаки, виявився одним із найнижчих – 141 мг/кг, а найвищий показник – у Кухотсько-Вільський – 223 мг/кг.

Визначення вмісту рухомих сполук фосфору у 2010 р. показало, що ґрунти з дуже низьким умістом фосфору становлять 5 968,5 га (22,0%), низьким – 6 692,6 га (24,7%), середнім – 8 495,5 га (31,3%), підвищеним – 3 574,6 га (13,2%). У динаміці змін показників по роках видно їх варіацію від 42 до 104 із середньозваженим за 2010 р. – 69, за 2015 р. – 81 мг/кг ґрунту. Уміст рухомих сполук калію у 2010 р. становив 44, у 2015 р. – 46 мг/кг ґрунту. Уміст рухомих сполук бору у ґрунтах сільськогосподарських угідь відповідав середньому рівню забезпеченості, він становив 0,75 у 2010 р. і 0,93 мг/кг ґрунту в 2015 р. Уміст рухомого марганцю відповідав низькому рівню забезпеченості, він становив 3,3 у 2010 р. і 1,26 мг/100 г ґрунту в 2015 р. Уміст рухомої міді відповідав низькому рівню забезпеченості, він становив 1,5 у 2010 р. і зменшився до 1,1 мг/кг ґрунту в 2015 р.

Уміст рухомих сполук свинцю, кадмію, міді та цинку не перевищує ГДК та відповідає слабкому, помірному та фоновому рівню забруднення відповідно. Середньозважений показник щільності забруднення цезієм-137 становив 0,61 у 2010 р. і 0,54 Ки/км² у 2015 р. Середньозважений показник щільності забруднення стронцієм-90 у ґрунтах угідь становив 0,03 у 2010 р. і 0,02 Ки/км² у 2015 р.

Узагальнення результатів агрохімічних досліджень ґрунтів XI туру обстеження (2016–2020 рр.) показали, що в ґрунтах спостерігається тенденція до стабілізації основних елементів живлення – фосфору і калію.

Отримані результати можна використати під час проведення моніторингу ґрунтового покриву ТГ Волинського Полісся і розроблення практичних рекомендацій.

Список використаної літератури

Вознюк С. Т., Клименко М. О., Веремеєнко І. Ґрунтові ресурси Західного Полісся України та проблеми їх використання. *Українське Полісся. Вчора, сьогодні, завтра* : збірник наукових праць. Луцьк, 1998. С. 30–34.

Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ, 2010. 400 с.

Долженчук В. І., Крупко Г. Д. Моніторинг процесів деградації та опустелювання земель Рівненської області. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 1. С. 67–73.

Коротун І. М., Коротун Л. К. Географія Рівненської області. Рівне, 1996. 274 с.

Агрохімічний стан дерново-підзолистих ґрунтів Західного Полісся в умовах антропогенезу / Д. В. Лико та ін. *Agrology*. 2018. № 1(3). С. 247–253. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.13003>.

Лико С. М., Портухай О. І. Вплив агрофізичного стану гігоморфних ґрунтів Полісся на міграцію радіонуклідів : монографія. Херсон, 2015. 220 с.

- Масовець Б. П., Адаменко Т. І. Агрокліматичний довідник по Рівненській області. Довідкове видання. Кам'янець-Подільський, 2012. 136 с.
- Мельничук Д., Хофман Дж., Городній М. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення. Київ, 2004. 488 с.
- Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. С. М. Рижука, М. В. Лісового, Д. М. Бенцаровського. Київ, 2003. 64 с.
- Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. Київ, 2013. 104 с.
- Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення. Київ, 2013 ; 2019. 104 с. ; 108 с.
- Офіційна сторінка Локницької територіальної громади. [Електронний ресурс]. URL: <https://loknyuska-gromada.gov.ua/> (дата звернення: 12.04.2023).
- Польовий В. М. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві: монографія. Рівне, 2007. 320 с.
- Прістер Б. С. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених унаслідок Чорнобильської катастрофи, у віддалений період. Методичні рекомендації. Київ, 2007. 196 с.
- Собко З. З., Вознюк Н. М. Моніторинг виробництва сільськогосподарських культур на території Рівненської області. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 100(2). С. 68–75.
- Тараріко Ю. О., Величко В. А., Личук Г. І. Шляхи підвищення ефективності та конкурентоспроможності агроєкосистеми. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 4. С. 63–69.
- Фурман В. М., Люсак Г. В., Солodka Т. М. Моніторинг агроєкологічного стану ґрунтів Рівненського району Рівненської області. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 103. С. 244–250.
- Якість ґрунту. Відбирання проб. ДСТУ 4287:2004. [Чинний від 2005-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
- Bashkin V. N., Park S. U., Choi M. S., Lee C. B. Nitrogen budgets for the Republic of Korea and the yellow sea region. *Biogeochemistry*. 2002. 57(1):387–403.
- Bashkin V. N., Radojevic M. Acid Rain and Its Mitigation in Asia. *International Journal of Environmental Studies*. 2003. 60(3):205–214.
- Skrypchuk P., Zhukovskyy V., Shpak H., Zhukovska N., Krupko H. Applied Aspects of Humus Balance Modelling in the Rivne Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. 21(6):42–52. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.jeeng.net/Autor-Halyna-Krupko/144420> (дата звернення: 14.04.2023)

References (translated & transliterated)

- Voznyuk, S. T., Klymenko, M. O., & Veremeyenko S. I. (1998). Gruntovi resursy Zakhidnoho Polissya Ukrayiny ta problemy yikh vykorystannya [Soil resources of the Western Polissia of Ukraine and problems of their use.]. *Ukrayins'ke Polissya. Vchora, s'ohodni, zavtra [Ukrainian Polissia. Yesterday, today, tomorrow]*. Lutsk. 30–34 [in Ukrainian].
- Gospodarenko, G. M. (2010). Ahrokhimiya: Pidruchnyk [Agrochemistry: Textbook]. Kyiv [in Ukrainian].
- Dolzhenchuk, V. I., & Krupko, G. D. (2015). Monitorynh protsesiv dehradatsiyi ta opustelyuvannya zemel' Rivnens'koyi oblasti [Monitoring the processes of land degradation and desertification of the Rivne region]. *Ahroekolohichniy zhurnal [Agroecological journal]*, 1, 67–73 [in Ukrainian].
- Korotun, I. M., & Korotun, L. K. (1996). Heohrafiya Rivnens'koyi oblasti [Geography of the Rivne region]. Rivne [in Ukrainian].
- Lyko, D. V., Lyko, S. M., Portukhay, O. I., Savchuk, R. I., & Krupko, H. D. (2018). Ahrokhimichnyy stan dernovo-podzolystykh gruntiv Zakhidnoho Polissya v umovakh antropohenezu [The agrochemical state of sod-podzolic soils of Western Polissya in the conditions of anthropogenesis]. *Agrology*. 1(3), 247–253. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.13003> [in Ukrainian].
- Lyko, S. M., & Portuhai, O. I. (2015). Vplyv ahrofizychnoho stanu hihromorfnykh gruntiv Polissya na mihratsiyu radionuklidiv: monohrafiya. [Influence of the agrophysical state of the hygromorphic soils of Polissya on the migration of radionuclides: monograph]. Kherson [in Ukrainian].
- Masovets, B. P., & Adamenko, T. I. (2012). Ahroklimatychnyy dovidnyk po Rivnens'kiy oblasti. Dovidkove vydannya [Agroclimatic guide for the Rivne region. Reference edition]. Kamianets-Podilskyi [in Ukrainian].

Melnychuk D., Hofman J., & Horodniy M. (2004). Yakist' gruntiv ta suchasni stratehiyi udobrennya [Soil quality and modern fertilization strategies]. Kyiv [in Ukrainian].

Metodyka ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands] / Ed. Ryzhuk, S. M., Lisovoy, M. V., Bentsarovskiy, D. M. Kyiv. 2003 [in Ukrainian].

Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya : kerivnyy normatyvnyy dokument [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands: a regulatory document] / Ed. I. P. Yatsuka, S. A. Balyuka. Kyiv. 2013 [in Ukrainian].

Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasportyzatsiyi zemel' sil's'kohospodars'koho pryznachennya [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands]. Kyiv. 2013 & 2019 [in Ukrainian].

Ofitsiina storinka Loknytskoi terytorialnoi hromady [The official page of the Loknytsia Territorial Community]. [Electronic resource]. URL: <https://loknytska-gromada.gov.ua/> (access date 14.04.2023) [in Ukrainian].

Pol'ovyy, V. M. (2007). Optyimizatsiya system udobrennya u suchasnomu zemlerobstvi: monohrafiya [Optimization of fertilizer systems in modern agriculture: monograph]. Rivne [in Ukrainian].

Prister, B. S. (2007). Vedennya sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva na terytoriyakh, zabrudnenykh vnaslidok Chornobyl's'koyi katastrofy, u viddalenyi period. Metodychni rekomendatsiyi [Agricultural production in the territories contaminated by the Chernobyl disaster in the remote period. Guidelines]. Kyiv [in Ukrainian].

Sobko, Z. Z., & Voznyuk, N. M. (2018). Monitorynh vyrobnytstva sil's'kohospodars'kykh kul'tur na terytoriyi Rivnens'koyi oblasti [Monitoring of production of agricultural crops in the territory of the Rivne region]. *Tavriiskyi naukovi visnyk [Taurian scientific bulletin]*, 100(2), 68–75 [in Ukrainian].

Tarariko, Yu. O., Velychko, V. A., & Lychuk, H. I. (2008). Shlyakhy pidvyshchennya efektyvnosti ta konkurentospromozhnosti ahroekosystemy [Ways to improve the efficiency and competitiveness of the agroecosystem]. *Visnyk ahraryi nauky [Herald of Agrarian Science]*, 4. 63–69 [in Ukrainian].

Furman, V. M., Lyusak, H. V., & Solodka, T. M. (2018). Monitorynh ahroekologichnoho stanu gruntiv Rivnens'koho rayonu Rivnens'koyi oblasti [Monitoring of the agro-ecological state of the soils of the Rivne district of the Rivne region]. *Tavriiskyi naukovi visnyk [Taurian scientific bulletin]*, 103, 244–250 [in Ukrainian].

Yakist' gruntu. Vidbyrannya prob [Soil quality. Sampling of samples]. DSTU 4287:2004. [Effective from 2005-07-01]. Kyiv. Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2005. [National Standard of Ukraine] [in Ukrainian].

Bashkin, V. N., Park, S. U., Choi, M. S., & Lee, C. B. (2002). Nitrogen budgets for the Republic of Korea and the yellow sea region. *Biogeochemistry*. 57(1):387–403 [in English].

Bashkin, V. N., & Radojevic, M. (2003). Acid Rain and Its Mitigation in Asia. *International Journal of Environmental Studies*. 60(3):205–214 [in English].

Skrypchuk, P., Zhukovskyy, V., Shpak, H., Zhukovska, N., & Krupko, H. (2020). Applied Aspects of Humus Balance Modelling in the Rivne Region of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 21(6). 42–52. [Electronic resource]. URL: <http://www.jeeng.net/Autor-Halyna-Krupko/144420> (access date 14.04.2023) [in English].

Отримано: 10.05.2023
Прийнято: 12.06.2023



АГРОНОМІЯ

УДК 577.2:577.112

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.13>

БІОХІМІЧНА ОЦІНКА ІНТРОГРЕСИВНИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У СЕЛЕКЦІЇ

І. І. Моцний¹, В. І. Файт²

Важливими показниками якості зерна пшениці є співвідношення окремих білкових фракцій зерна пшениці, особливо фракцій клейковинних білків (глутенінів та гліадінів). Доведено, що гліадини є мономерними білками і впливають на такі показники тіста, як його в'язкість та розтяжність. Глутеніни здатні формувати високополімерні макромолекулярні агрегати та впливають на такі важливі показники тіста, як пружність та еластичність. Показано, що протейновий профіль білків зерна пшениці за молекулярною масою є специфічним для кожного сорту пшениці та його технологічного класу. Одним із найпотужніших інструментів розширення генетичної мінливості пшениці, зокрема стосовно показників якості, є віддалена гібридизація з дикими співродичами, які несуть невичерпний резерв господарсько цінних ознак. Відомо, що дикорослі види за низького рівня зернової продуктивності спроможні накопичувати гіпертрофовано багато білка в зерні. Метою даного дослідження було визначити селекційну цінність похідних віддаленої гібридизації пшениці за агрономічними та біохімічними показниками, пов'язаними з якістю зерна. Для отримання результатів досліджень використовувалися польові, лабораторні та статистичні методи. Проаналізовано вдосконалені інтрогресивні лінії пшениці м'якої озимої, отримані в результаті гібридизації первинних інтрогресивних ліній і амфілоїдів за участю *Aegilops tauschii* і *Elymus sibiricus* із сучасними сортами селекції Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення за біохімічними показниками, пов'язаними з формуванням якості зерна. Розроблено метод кількісного визначення окремих фракцій білка зерна з різною молекулярною масою з використанням вискоефективної рідинної хроматографії. Дослідження вмісту білка та його фракційного складу дало змогу виявити генотипні особливості досліджених ліній за цими показниками. Проведені дослідження дали змогу рекомендувати для оцінки нового генетичного матеріалу пшениці на якість зерна такі біохімічні показники: уміст білка, абсолютний уміст білка на 1 000 зернин, уміст клейковини, седиментація та вміст

¹ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу загальної та молекулярної генетики (Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення Національної академії аграрних наук України)
e-mail: motsnyyii@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1812-9481

² доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, завідувач відділу загальної та молекулярної генетики (Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення Національної академії аграрних наук України)
e-mail: faygen@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9994-341X

індивідуальних фракцій глютенінів і гліадинів та їх співвідношення. На основі дослідження виділено інтрогресивні лінії, які можуть становити інтерес для подальшої селекційної роботи на Півдні України за умови збереження чужинних генних комплексів, а використані під час дослідження лінії біохімічні показники – для добору цінних за якістю зерна генотипів.

Ключові слова: урожайність пшениці, білковість зерна, седиментація, фракції білка.

BIOCHEMICAL EVALUATION OF INTROGRESSIVE WINTER WHEAT LINES AND PROSPECTS FOR THEIR USE IN BREEDING

I. I. Motsnyi, V. I. Fait

An important indicator of wheat grain quality is the ratio of individual protein fractions of wheat grain, especially the fractions of gluten proteins (glutenins and gliadins). Gliadins have been shown to be monomeric proteins that affect dough properties such as viscosity and extensibility. Glutenins are capable of forming high-polymer macromolecular aggregates and affect such important dough parameters as elasticity and elasticity. It has been shown that the protein profile of wheat grain proteins by molecular weight is specific to each wheat variety and its technological class. One of the most powerful tools for expanding the genetic diversity of wheat, in particular with regard to quality traits, is remote hybridization with wild relatives, which carry an inexhaustible reserve of economically valuable traits. It is known that wild species with low grain productivity are able to accumulate a hypertrophied amount of protein in the grain. The aim of this study was to determine the breeding value of wheat distant hybridization derivatives by agronomic and biochemical parameters related to grain quality. Field, laboratory and statistical methods were used to obtain the results of the research described in the article. The improved introgressive lines of winter bread wheat obtained as a result of hybridization of primary introgressive lines and amphiploids with *Aegilops tauschii* and *Elymus sibiricus* with modern varieties of PBGI-NCSCI selection were analyzed for biochemical parameters related to the formation of grain quality. A method for the quantitative determination of individual grain protein fractions with different molecular weights using high-performance liquid chromatography was developed. The study of protein content and its fractional composition allowed to reveal the genotypic features of the studied lines according to these indicators. The conducted studies allowed us to recommend the following biochemical parameters for the evaluation of new wheat genetic material for grain quality: protein content, absolute protein content per 1000 grains, gluten content, sedimentation and content of individual fractions of glutenins and gliadins and their ratio. Based on the study, introgressive lines were identified that may be of interest for further breeding work in southern Ukraine, provided that alien gene complexes are preserved, and the biochemical parameters used in the study of the lines can be used to select genotypes valuable for grain quality.

Key words: wheat yield, grain protein content, sedimentation, protein fractions.

Вступ

В аграрному секторі України пшениця *Triticum aestivum* L. займає посівні площі близько 6–7 млн га, з яких близько 2,5–3,0 млн га займають сорти Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення. Значення цієї культури для народного господарства нашої держави важко переоцінити. Однією з вимог, що постає перед селекціонером, є створення високопродуктивних сортів пшениці з високою якістю зерна, яка, перш за все, оцінюється за вмістом білка в ньому (Солодушко і Серєда, 2014). Методом внутрішньовидової гібридизації вдалося значно збільшити потенційну врожайність культури (Литвиненко, 2016), але разом зі зростанням продуктивності загострилася проблема генетичного

підвищення білковості, яка відноситься до розряду найзначніших науково-практичних завдань селекції. У світі давно відомі зразки пшениці м'якої озимої з підвищеним вмістом білка (на 2–3%), проте за посіву в інших умовах вони далеко не завжди підтверджують ці переваги (Mikulikova et al., 2009) і часто формують дрібне і щупле зерно (Моцний та ін., 2021). Наявність зворотного зв'язку між вмістом білка і продуктивністю рослин, а також високий внесок екологічної дисперсії ознаки створюють значні труднощі для селекції на підвищений вміст білка (Mikulikova et al., 2009).

Важливими показниками якості зерна пшениці є співвідношення окремих білкових фракцій зерна пшениці, особливо фракцій клейковинних білків (глютенінів та гліадинів). Доведено, що гліадини є моно-

мерними білками і впливають на такі показники тіста, як його в'язкість та розтяжність. Глютеніни здатні формувати високополімерні макромолекулярні агрегати та впливають на такі важливі показники тіста, як пружність та еластичність. Показано, що протеїновий профіль білків зерна пшениці за молекулярною масою є специфічним для кожного сорту пшениці та його технологічного класу (Mogel et al., 2000).

Одним із найпотужніших інструментів розширення генетичної мінливості пшениці, зокрема стосовно показників якості, є віддалена гібридизація з дикими співродичами, які несуть невичерпний резерв господарсько цінних ознак (Лифенко та ін. 2014). Відомо (Моргун та ін., 2016), що дикорослі види за низького рівня зернової продуктивності спроможні накопичувати гіпертрофовано багато білка в зерні (до 30–35%). Схрещуванням їх із високопродуктивними сортами пшениці вдається підвищити вміст білка в одержаних ліній до 21,8–22,5% (Похилько та ін., 2017), але, як правило, виділені форми поступаються районованим сортам за комплексом агрономічних ознак і в першу чергу за продуктивністю та МТЗ (Нарган та ін., 2016), з якими вміст білка часто пов'язаний небажаними кореляціями (Кульбіда та ін., 2016). Перспективними у цьому відношенні видаються схрещування з видами, що мають спільні з пшеницею геноми (Моргун та ін., 2021), особливо з донором генома D – *Aegilops tauschii* Coss. Застосування 42-хромосомних амфіплоїдів за участю *Ae. tauschii* дає змогу шляхом гомологічної кон'югації перенести в геном пшениці не лише гени якісних ознак егілопса (Doneva et al., 2018), а й цілі полігенні системи, що контролюють кількісні ознаки, зокрема крупнозерність і вміст білка (Mujeeb-Kazi et al., 2004).

Метою дослідження було визначити селекційну цінність похідних віддаленої гібридизації пшениці за агрономічними та біохімічними показниками, пов'язаними з якістю зерна.

Матеріал і методи

Рослинний генетичний матеріал включав 736 інтрогресивних ліній м'якої пшениці різних поколінь, ступенів насичення та походження, а також три сорти стандарту для аридного кліматичного поясу (Мудрість, Антонівка та Куяльник). Лінії були отримані шляхом віддаленої гібридизації кількох сортів пшениці м'якої озимої селекції СГІ-НЦНС (Одеська 267, Альбатрос,

Селянка, Куяльник, Гурт та ін.) з одним колекційним зразком (H74/90-245), трьома оригінальними первинними інтрогресивними лініями (E200/97-2, 592PH16 та E214/09-1), а також п'ятьма амфіплоїдами (АД Жирова, ES4, ES17, ES20 та ES25), отриманими за участі *Ae. tauschii*. Окрім того, кілька вдосконалених ліній було отримано за участі сорту Віген, створеного шляхом гібридизації з неповним октоплоїдним пшенично-еліпусним амфіплоїдом *Elytricum fertile* (Моцний та ін., 2017), або після заключного схрещування бекросованих гібридів з лінією MA1, яка має модифіковану транслокацію 1BL.1RS_m на генетичному тлі ярого сорту Pavon 76 (Lukaszewski et al., 2000). При цьому зразок H74/90-245 був створений у Добруджанському сільськогосподарському інституті-Генерал Тошево (колишній Інститут пшениці та соняшнику, Болгарія) від схрещування Tom Pouce Blanc / AD(*T. timopheevii* Zhuk./*Ae. tauschii* ssp. *strangulata*) // Аврора /3/ Rusalka (Spetsov & Savov, 1992). У Національному центрі генетичних ресурсів рослин України (НЦГРПУ) Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (Харків, Україна) він був інтродукований під номером IU029995.

АД Жирова (геномна формула A^uGD) був створений шляхом схрещування *T. militinae* Zhuk. et Migusch./*Ae. tauschii*, як і *T. miguschovae* Zhir. Обидві лінії однакові за морфологічними ознаками та параметрами стійкості до хвороб. Однак *T. miguschovae* колосилась на 4–5 днів пізніше АД Жирова, була трохи нижчою і мала крупніші зерна. У НЦГРПУ вони відрізняються каталожними номерами (№ UA0500015 та UA0500016 відповідно). Окрім того, нам не вдалося отримати гібриди Одеська 267 / *T. miguschovae* на відміну від Одеської 267/АД Жирова, а гібриди від обернених схрещувань загинули після декількох бекросів від цитоплазматичної чоловічої стерильності. Елітні синтетичні (ES) лінії (*T. durum* Desf. Altar 84/ зразки *Ae. tauschii*, ABD) були створені в СИММУТ (Мексика) (Mujeeb-Kazi & Hettel, 1995; Mujeeb-Kazi et al., 2008) й отримані за допомогою д-ра О.І. Рибалки (Рибалка, 2011).

Увесь експериментальний матеріал був отриманий методом *Pedigree* унаслідок численних безперервних індивідуальних доборів починаючи з першого покоління, що розщеплюється. Гібридні популяції пройшли скринінг на природному та штучному фоні досліджених захворювань. Елітні рослини

відбирали за наявністю стійкості до хвороб та чужинних морфологічних ознак як під час бекросування, так і після кожного самозапилення. Під час виділення ліній особлива увага приділялася їх константності як за окремими ознаками, зокрема чужинними, так і за їх комплексом. Тому деякі чужинні ознаки були виявлені в їхньому потомстві.

Полюві експерименти проводилися на дослідних полях СГІ-НЦНС по чорному пару без поливу, а також на дослідних полях ДП «ДГ» Покровське» СГІ-НЦНС у 2016–2018 рр. Посів проводився селекційною тракторною сівалкою ССФК-7 без повторності, облікова площа ділянки становила 10 м² із розрахунку 5 млн схожих зернин/га. Стандартні сорти висівали у двох реплікаціях через кожні 20 номерів. Добрива вносили так: 1) 150 кг/га нітроамофоски – під передпосівну культивуацію; 2) ранньовесняне підкореневе підживлення – аміачною селітрою в дозі 150 кг/га; 3) позакореневе підживлення проводили обприскуванням бакової суміші із застосуванням карбаміду з розрахунку 7,7 кг/га діючої речовини азоту. Урожай збирали селекційним комбайном Samro-130.

Уміст білка визначали методом Кельдаля (Kjeldahl, 1983). Масу тисячі зернин (МТЗ) вимірювали стандартною методикою (ДСТУ 4138-2002) (ДСТУ 4138-2002), двома наважками по 500 зернин. Натуру визначали на тих самих зразках 1 000 зернин. Щільність борошна визначали у тих зразках борошна, які готували для визначення вмісту білка. Для добору ліній із високим умістом білка були розраховані додаткові критерії білковості: «Збір білка з одиниці площі» (ц/га) = («Урожайність сухого зерна», ц/га × «Загальний вміст білка в зерні», %) / 100% і «Абсолютний вміст білка в перерахунку на 1000 зернин» (г) = («МТЗ», г × «Загальний вміст білка», %) / 100%, як у (Моцний та ін., 2019; Szulc et al., 2020). Їх використання дасть змогу усунути дисперсію за ознакою вмісту білка внаслідок коливань в анатомічній структурі зернівки або продуктивності рослин під впливом чинників зовнішнього середовища.

Кількісне визначення білків зерна пшениці проводили за допомогою метода високоефективної рідинної хроматографії. Екстракцію білків із розмеленого зерна пшениці проводили у 0,05 М фосфатному буферному розчині (рН 6,9), що містив 1,5% SDS (200 мг борошна/10 мл), у комбінації з ультразвуком при 20 кГц, 1-15W 2-3 хв.

Розділення білків проводили методом високоефективної рідинної хроматографії на хроматографі для ВЕРХ «Gilson» із використанням колонки Zorbax GF-250. Як елюент білків використовували ацетонітріл і воду (50/50 ацетонітріл/Н₂О та 0,1% трифлуороцтової кислоти). Хроматографію проводили за умови 0,5 мл/хв, UV детектор LCD 254 нм, насос HPP 5001. Площа піків була обрахована на інтеграторі C-R3A (Shimadzu). Як стандарти використовували суміш чистих білків із відомими молекулярними масами фірми Sigma: феритин (330 кДа), фосфорилазу В (97 кДа), бичачий сироватковий альбумін (67 кДа), овальбумін (45 кДа), хімотрипсиноген (25 кДа), рибонуклеазу (13,7 кДа). Визначення окремих показників якості зерна (умісту клейковини та седиментації) проводили методом БЧС на скануючому спектрометрі NIRSystems 5000 (США) в діапазоні довжини хвиль 1100–2500 нм.

Статистичний аналіз даних проводили за допомогою пакета прикладних програм STATISTICA.

Результати та обговорення

Із 736 досліджених інтрогресивних ліній були виділені кращі лінії, які мали значення загального вмісту білка, абсолютного вмісту білка на 1 000 зернин та збору білка на одиницю площі вище або на рівні стандартів (табл. 1, 2).

Визначення середніх показників умісту сирової клейковини та седиментації у досліджених ліній показало, що варіювання середніх значень цих показників не було значним (табл. 3). При цьому була відзначена сильна позитивна кореляція вмісту білка з умістом сирової клейковини (від 0,87*** до 0,96***) та седиментацією (від 0,58*** до 0,90***), які є показниками хлібопекарської якості борошна пшениці.

Установлено, що для характеристики борошна пшениці за якістю важливо знати не лише вміст білка, а й уміст та співвідношення індивідуальних фракцій глютенінів та гліадинів. Показано, що для характеристики зерна пшениці за якістю важливо враховувати співвідношення вмісту високомолекулярних та низькомолекулярних глютенінів та вмісту гліадинів та високомолекулярних глютенінів (Morel et al., 2000). Співвідношення вмісту високомолекулярних та низькомолекулярних глютенінів є важливим індикатором еластичності тіста. Якщо воно вище за 0,6, еластичність тіста підвищується. Співвідношення вмісту гліадинів до високомолекулярних агляти-

Таблиця 1

Найкращі селекційні лінії за комплексом ознак (2016 р.)

Назва сорту чи лінії	Урожайність, ц/га			Білок, %			ЗБ, г	МТЗ, г			АВБ, г	SDS
	\bar{x}	2016 СГІ	2016 П	\bar{x}	2016 СГІ	2016 П		\bar{x}	2016 СГІ	2016 П		
Антонівка (St)	73,8	85,1	52,1	10,1	9,5	12,4	7,4	41,5	44,2	37,7	4,1	54
Куяльник (St)	76,8	90,4	56,7	11,0	10,7	13,2	8,4	40,5	42,1	39,8	4,5	65
Мудрість (St)	75,7	88,9	52,1	11,1	10,7	13,9	8,3	41,7	42,8	40,5	4,6	60
Щедрість (St)	74,7	88,7	53,2	10,2	9,6	12,5	7,6	37,6	40,0	34,3	3,8	43
Од.267 (rec)	66,9	77,0	48,5	10,8	10,9	12,9	7,2	40,2	41,4	37,7	4,3	58
E2363/14	65,2	74,0	49,3	11,5	10,9	14,1	7,4	43,5	44,3	43,5	5,0	64
E2368/14	68,8	76,5	51,8	11,5	11,6	14,1	7,8	42,9	42,9	43,2	4,9	58
E2369/14	66,4	76,0	54,2	11,7	11,0	14,5	7,7	43,1	42,6	41,4	5,0	69
H764/13	69,8	75,0	52,2	11,2	11,2	13,5	7,8	39,8	41,0	36,8	4,4	42
E1089/13	57,5	65,0	50,7	11,7	10,8	14,6	6,7	41,0	40,5	41,8	4,8	33
B2669/14	68,9	75,5	45,3	10,6	10,1	13,1	7,3	39,3	40,9	35,8	4,1	44
F2681/14	59,7	81,0	39,5	11,8	11,2	13,6	6,9	46,7	46,2	44,5	5,5	55
F2682/14	65,3	72,5	45,2	11,6	11,1	13,6	7,5	47,1	50,7	42,3	5,4	55
E1091/13	58,4	63,0	48,0	11,9	11,5	13,8	6,9	41,6	42,1	40,1	4,9	76
E2776/14	71,6	78,0	55,0	10,8	10,3	13,5	7,7	40,5	40,7	39,0	4,3	59
E2792/14	72,4	87,5	57,2	10,8	10,7	13,0	7,8	39,8	40,8	37,1	4,3	53
E1598/12	61,7	82,0	44,7	11,3	11,0	13,7	7,0	37,0	39,8	33,4	4,2	50
E175/09	57,2	73,5	45,0	11,6	11,3	14,5	6,6	38,2	39,0	34,5	4,4	55
F239/09	73,3	84,7	48,0	11,3	10,2	14,3	8,3	40,8	40,9	37,6	4,6	67
B241/09	76,7	90,5	57,1	11,9	10,8	14,3	9,1	41,2	42,4	38,6	4,9	80
Од.267b	73,2	85,4	47,8	11,1	10,4	13,6	8,1	41,9	44,2	36,2	4,7	63
HP _{0,05}	5,2	14,1	6,3	0,3	1,0	0,4	0,5	1,8	1,9	3,0	0,3	-

Примітки: X – середні значення по всіх умовах дослідів; СГІ – дані отримано в умовах СГІ – НЦНС; П – дані отримано в с. Покровське Одеської обл. АВБ – абсолютний уміст білка на 1 000 зерен; МТЗ – маса 1 000 зерен; ЗБ – збір білка; SDS – седиментація SDS30°K

Таблиця 2

Інтрогресивні лінії з підвищеним абсолютним умістом білка та найкращі за врожайністю і білковістю (у середньому за 2017–2018 рр.)

Назва сорту чи лінії	АВБ, г	Б, %	Ур, ц/га	ЗБ, ц/га
1	2	3	4	5
Од. 267 (рекурент)	4,4	11,0	56,1	6,6
Антонівка (стандарт)	4,1	10,3	51,1	5,2
Куяльник (стандарт)	3,9	10,1	65,2	7,1
Мудрість (стандарт)	4,5	10,6	62,6	6,6
Панна (індикатор)	5,6	13,6	54,0	7,4
Лінії з підвищеним абсолютним умістом білка на 1 000 зерен				
IL50PH15	5,3	12,2	49,7	6,0
IL849/16	5,4	12,4	36,8	4,6
IL900/16	5,2	11,9	38,1	4,5
IL909/16	5,2	11,6	26,5	3,1
IL910/16	5,7	12,3	30,8	3,8
IL911/16	5,8	212,9	43,7	5,6
IL914/16	6,2	12,8	39,5	5,1
IL940/16	6,1	13,0	23,1	3,0
IL953/16	5,7	12,3	38,4	4,7
IL956/16	5,4	12,6	40,5	5,1

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
IL1023/16	5,1	11,3	62,2	7,1
IL1100/16	5,4	12,6	20,5	2,6
IL480/17	5,4	12,1	57,0	6,9
IL481/17	4,8	10,8	58,5	6,3
IL485/17	5,3	11,7	59,8	7,0
Лінії, найкращі за врожайністю і білковістю				
IL299/16	4,6	12,8	60,5	7,7
IL939/16	4,8	12,6	57,1	7,2
IL997/16	4,8	12,6	61,0	7,7
IL1039/16	4,6	11,4	62,2	7,1
E2792/14	4,2	12,0	60,9	7,3
IL1073/16	4,8	11,9	64,1	7,6
IL1161/16	4,5	12,6	75,4	9,5
IL1047/16	5,0	11,8	60,3	7,1
IL1050/16	4,8	11,7	59,0	6,9
IL665/18	4,3	11,1	62,9	7,0
E196/09	5,1	12,3	59,8	7,4
IL334/17	4,2	10,9	57,4	6,3
SD	0,5	1,1	4,1	1,4

Примітки: АВБ – абсолютний уміст білка на 1 000 зерен; Б – загальний уміст білка; Ур – урожайність; ЗБ – збір білка на одиницю площі

Таблиця 3

Середні значення показників умісту білка, сирової клейковини та седиментації у інтрогресивних ліній пшениці, $\bar{x} \pm s_x$

Рік урожаю	N	Ознака ²⁾				Умови сезону	Спосіб посіву
		Уміст білка, %	Δ Б, %	Уміст клейковини, %	Седиментація, мл		
2017	88	12,0±1,07 (9,2-14,2)	5,0	24,9±2,95 (16,4-31,4)	44,8±15,50 (36,0-62,0)	Естр.	БП
2018	56	10,9±0,67 (9,7-12,5)	2,8	-	42,3±11,87 (31,0-58,0)	Пос.	БП

Примітки: N – обсяг вибірки; Δ Б – розмах варіації за вмістом білка (max-min); Естр. – екстремальні, Пос – посушливі; БП – безперервний (міжряддя 15 см)

нінів є важливим показником рівноваги між показниками еластичності та розтяжності тіста (найкращим є співвідношення, близьке до 3).

Ураховуючи вищевикладене, нами було розроблено метод визначення кількісного вмісту окремих фракцій білків зерна пшениці з використанням вискоелективної рідинної хроматографії.

Під час відпрацювання методу для екстракції було використано 0,05 М фосфатний буфер з рН 6,9-7,2, що містив SDS від 0,1% до 2% з обробитком ультразвуком та без нього. Як елюенти було використано етанол : вода (7:3, v/v), ізопропанол : вода (1:1, v/v), ацетонітрил : вода (1:1, v/v), що містили трифлюорооцтову кислоту в концентрації від 0,05% до 0,1% як стабіліза-

тор. Найкраще розділення окремих фракцій білків зерна пшениці було отримано за екстракції борошна 0,1 М фосфатним буфером з 1,5% SDS, рН 6,9 з обробитком ультразвуком та використанням як елюента ацетонітрил : вода (1:1, v/v) з 0,05% трифлюорооцтовою кислотою (рис. 1). Таким чином, було проведено дослідження окремих зразків зерна пшениці на вміст індивідуальних фракцій глютенінів та гліадинів та їх співвідношення. Отримані результати показали, що найбільшим умістом високомолекулярних глютенінів відрізнялися інтрогресивні лінії 'F2681/14' (14%) та 'E2369/14' (14,9%), а також сорт 'Мудрість' (13,5%). Співвідношення високомолекулярних та низькомолекулярних глютенінів, близьке до 0,6, виявлено у сор-

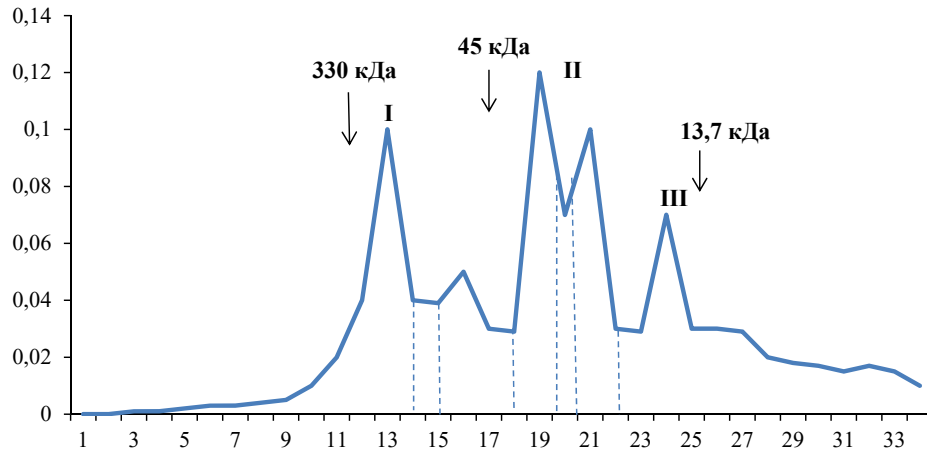


Рис. 1. Профіль елюції білків зерна пшениці лінії F2681/14 (Селянка / ES25 F₂ // Селянка F₆) Колонка Zorbax GF-250, швидкість 0,5 мл/хв, елюція ацетонітріл/вода (50/50 з 0,05% трифтороцтовою кислотою): I (а-с) – глютеніни, II (а-с) – гліадіни, III – альбуміни+глобуліни

тів 'Мудрість' (0,62), 'Антонівка' (0,57) та інтрогресивних ліній 'F2681/14' (0,61), 'E2369/14' (0,61) (табл. 4). Співвідношення вмісту гліадинів до високомолекулярних глютенінів, близьке до 3, було виявлено у інтрогресивних ліній 'K27' (3,68), 'F2681/14'(3,05) та 'F2682/14'(3,0). Відомо, що сорти 'Мудрість' та 'Антонівка' відносяться до «сильних пшениць», а лінії

'F2681/14', 'F2682/14' та 'E2369/14' характеризуються високими показниками седиментації та МТЗ.

Як маркери молекулярної маси використовували феритин (330 кДа), фосфорилазу Б (97 кДа), бичачий сировотковий альбумін (67 кДа), овальбумін (45 кДа), хімотрипсिनоген (25,6 кДа), рибонуклеазу (13,7 кДа).

Таблиця 4

Уміст індивідуальних фракцій білків зерна пшениці та їх співвідношення, %

Сорт, лінія	Уміст білка, %	Уміст ВМГ, (I-a)	Загальний уміст глютенінів, I (а-с)	Уміст гліадинів II (а-с)	Співвідношення I-a/I-бс	Співвідношення II/Ia
Мудрість	11,12	13,5	35,1	33,8	0,62	2,50
Антонівка	9,55	12,8	34,9	33,7	0,57	2,63
Одеська 267	12,84	11,8	34,2	35,3	0,52	2,99
Обрій (чиста лінія)	12,36	13,0	33,3	35,7	0,64	2,74
K27 (Обрій / <i>Elytricum fertile</i> // Обрій ¹² F ⁶)	12,23	10,6	34,8	39,1	0,43	3,68
<i>Elytricum fertile</i> (<i>Triticum aestivum</i> L. <i>Elymus sibiricus</i> L.)	16,98	9,8	34,6	36,5	0,29	3,72
F2681/14 (Селянка / ES25 F ₂ // Селянка F ₆)	11,43	14,0	36,7	42,8	0,61	3,05
F2682/14 (Селянка / ES25 F ₂ // Селянка F ₆)	11,24	12,7	36,8	38,1	0,52	3,00
E2369/14 (Од.267 / ПЕАГ // Од.267 ¹⁰ F ₅)	14,50	14,9	39,4	43,2	0,61	2,89
max	16,98	14,90	39,4	43,2	0,64	3,72
min	9,55	9,80	33,3	33,7	0,29	2,50
Δ	12,4 ± 0,72	12,5 ± 0,54	35,5 ± 0,61	37,6 ± 1,18	0,53 ± 0,037	3,02 ± 0,14
CV,%	17,38	12,81	5,14	9,44	21,15	14,07

Висновки

Отже, проведені дослідження дали змогу рекомендувати для оцінки нового генетичного матеріалу пшениці на якість зерна такі біохімічні показники, як: уміст білка, абсолютний уміст білка на 1 000 зернин, уміст клейковини, седиментація та вміст індивідуальних фракцій глютенінів і гліадинів та

їх співвідношення. На основі дослідження виділено інтрогресивні лінії, які можуть становити інтерес для подальшої селекційної роботи на Півдні України за умови збереження чужинних генних комплексів, а використані під час дослідження ліній біохімічні показники – для добору цінних за якістю зерна генотипів.

Список використаної літератури

- ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Кіндрок М. О. та ін., Держспоживстандарт України, К., 2003 : 17–18.
- Кульбіда М. П., Моцний І. І., Коваль Т. М. Аналіз розподілу гібридів м'якої пшениці з амфіплоїдами за показниками якості зерна при оптимальному рівні азотного живлення. *Зб. наук. праць СГГ-НАЦ НАІС*. 2003. Вип. 4 (44). С. 27–41.
- Литвиненко М. А. 100 років розвитку селекційних програм пшениці м'якої озимої. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. № 2 (31). С. 75–82.
- Лифенко С. П., Нарган Т. П., Наконечний М. Ю. Інтрогресії в геном пшениці м'якої від різних донорів – проблемний, але перспективний напрям селекції. *Селекція і насінництво*. 2014. 105. С. 39–50 <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42043>
- Моргун В. В., Дубровна О. В., Моргун Б. В. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. 48 (3). 196–214.
- Моргун В. В., Рибалка О. І., Дубровна О. В. Генетичне поліпшення рослин: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики: матеріали Міжнародної наукової конференції*. 2021. С. 246–248.
- Моцний І., Нарган Т., Єриняк М., Лифенко С. Застосування похідних неповного пшенично-елімусного амфіплоїда (НПЕА) *elytricum fertile* в селекції пшениці м'якої озимої. *Вісник аграрної науки*. 2017. Т. 95. № 8. С. 45–50. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-08>
- Моцний І. І., Литвиненко М. А., Молодченкова О. О., Соколов В. М., Файт В. І., Сечняк В. Ю. Створення вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої із застосуванням міжвидових схрещувань для селекції на підвищений вміст білка. *Цитологія і генетика*. 2019. №53(2). С. 21–33. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020075>.
- Моцний І. І., Нарган Т. П., Наконечний М. Ю., Лифенко С. П., Молодченкова О. О., Міщенко Л. Т. Різноманіття похідних віддаленої гібридизації озимої пшениці за стійкістю до хвороб та іншими чужинними ознаками. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2021. 26 (2 (49)), 51–72.
- Нарган Т. П., Моцний І. І., Сечняк В. Ю., Лифенко С. П. Оцінка ліній пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) від віддаленої гібридизації за господарсько корисними ознаками. *Зб. наук. праць СГГ-НЦНС*. 2016. 28 (68). С. 15–32.
- Похилько С. Ю., Швартау В. В., Починок В. М., Михальська Л. М., Дуган О. М., Моргун Б. В. Комплексний аналіз вмісту загального білка в зерні м'якої пшениці, яка містить ген *Grs-B1* від *Triticum turgidum* ssp. *dicocoides*. *Вісник УТГіС*. 2017. Т. 15, № 1 С. 52–57.
- Рибалка О. І. Якість зерна пшениці та її поліпшення: монографія. Київ, 2011. 496 с.
- Солодушко М., Середа І. Особливості вирощування пшениці озимої в умовах північного Степу України. Роль науки у підвищенні технологічного рівня і ефективності АПК України: матеріали IV всеукр. наук.-практ. конф., Тернопіль, 15-16 травня 2014 р. Тернопіль: Крок. 2014. С. 169–171.
- Doneva S., Daskalova N., Spetsov P. Transfer of novel storage proteins from a synthetic hexaploid line into bread wheat. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2018. V. 105 (2). P. 113–122. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.015>.
- Kjeldahl J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*. 1983. V. 22. N. 1. P. 366–383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
- Lukaszewski A. Manipulation of the 1BL.1RS translocation in wheat by induced homoelogenous recombination. *Crop Sci*. 2000. V.40. N. 1 P. 216–225. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401216x>

Mikulikova D., Masar S., Horvathova V., Kraic J. Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech J. Food Sci.* 2009. V. 27 (6). P. 403–417.

Morel M. Y., Dehlon P., Autran J.-C., Leygue J. P., L'Helgouac'h Ch. B. Effects of temperature, sonication time and power setting on size distribution and extractability of total wheat proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*. 2000.V.77. N 226. P. 20–25.

Mujeeb-Kazi A., Hettel G. P. Utilizing wild grass biodiversity in wheat improvement: 15 years of wide cross research at CIMMYT. *Research Report*. N. 2. Mexico.D. F. CIMMYT. 1995.

Mujeeb-Kazi A, Deldago R, Cortes A, Cano S, Rosas V, Sanchez J. Progress in exploiting *Aegilops tauschii* for wheat improvement. *Ann. Wheat Newsletter*. 2004. 50: 79–88.

Mujeeb-Kazi A., Gul A., Farooq M., Rizwan S., Ahmad I. Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. *Aust. J. Agric. Res.* 2008. V. 59. N.10. P. 391–398. <https://doi.org/10.1071/AR07226>

Spetsov P., Savov M. A review on amphiploids in the *Triticeae*, obtained in Bulgaria during 1950–1990. *Wheat Inf. Serv.* 1992. V. 75. P. 1–6.

Szulc P., Ambrozy-Deregowska K., Mejza I., Kobus-Cisowska J., Ligaj M. The role of agrotechnical factors in shaping the protein yield of maize (*Zea mays* L.). *Sustainability*. 2020. V.12. N. 6833. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12176833>

References (translated & transliterated)

DSTU 4138-2002. (2003). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachannia yakosti. Kindruk M.O. ta in. [Seeds of agricultural crops. Methods of determining quality]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, K., 17–18 [in Ukrainian].

Kulbida, M. P., Motsnyi, I. I., & Koval, T. M. (2003). Analiz rozpodilu hibrydiv miakoi pshenytsi z amfiploidamy za pokaznykamy yakosti zerna pry optimalnomu rivni azotnoho zhyvlennia [Analysis of the distribution of soft wheat hybrids with amphiploids according to grain quality indicators at the optimal level of nitrogen nutrition]. *Zb. nauk. prats SHI-NATs NAIS [Collection of scientific works of SGI-NAS NAIS]*, 4 (44). 27–41 [in Ukrainian].

Lytvynenko, M. A. (2016). 100 rokiv rozvytku selektsiinykh prohram pshenytsi miakoi ozymoi [100 years of development of soft winter wheat breeding programs]. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn [Varietal research and protection of rights to plant varieties]*, 2 (31), 75–82 [in Ukrainian].

Lyfenko, S. P., Narhan, T. P., & Nakonechnyi, M. Iu. (2014). Introhresii v henom pshenytsi miakoi vid riznykh donoriv – problemnyi, ale perspektyvnyi napriam selektsii [Introgression into the common wheat genome from different donors is a problematic but promising direction of breeding]. *Selektsiia i nasinnystvo [Breeding and seed production]*, 105, 39–50. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42043> [in Ukrainian].

Morhun, V. V., Dubrovna, O. V., & Morhun, B. V. (2016) Suchasni biotek-hnolohii otrymannia stiikykh do stresiv roslyn pshenytsi. [Modern biotechnologies for producing stress-resistant wheat plants]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka [Physiology of plants and genetics]*, 48 (3), 196–214 [in Ukrainian].

Morhun, V. V., Rybalka, O. I., & Dubrovna, O. V. (2021). Henetychne polipshennia roslyn: osnovni naukovy dosiahnennia ta innovatsiini rozrobky. [Genetic improvement of plants: main scientific achievements and innovative developments]. *Aktualni problemy fiziolohii roslyn i henetyky: materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii [Actual problems of plant physiology and genetics: materials of the International scientific conference]*. 246–248 [in Ukrainian].

Motsnyi, I., Narhan, T., Yeryniak, M., & Lyfenko S. (2017). Zastosuvannia pokhidnykh nepovnoho pshenychno-elimusnoho amfiploida (NPEA) elytricum fertile v selektsii pshenytsi miakoi ozymoi. [The use of derivatives of the incomplete wheat-elymus amphiploid (NPEA) elytricum fertile in the selection of soft winter wheat]. *Visnyk aharnoi nauky [Herald of Agrarian Science]*. 95, 8, 45–50. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-08> [in Ukrainian].

Motsnyi, I. I., Lytvynenko, M. A., Molodchenkova, O. O., Sokolov, V. M., Fait, V. I., & Siechniak, V. Iu. (2019). Stvorennia vykhidnoho materialu pshenytsi miakoi ozymoi iz zastosuvanniam mizhvydovykh skhreshchuvan dlia selektsii na pidvyshcheni vmist bilka [Creation of raw material of soft winter wheat with the use of interspecies crosses for selection for increased protein content]. *Tsytolohiia i henetyka [Cytology and genetics]*, 53(2). 21–33. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020075> [in Ukrainian].

Motsnyi, I. I., Narhan, T. P., Nakonechnyi, M. Yu., Lyfenko, S. P., Molodchenkova, O. O., & Mishchenko, L. T. (2021). Riznomanittia pokhidnykh viddalenoj hibrydzatsii ozymoi pshenytsi za stiikistiu do khvorob ta inshymy chuzhynnymy oznakamy [Diversity of derivatives of distant hybridisation of winter wheat for disease resistance and other alien traits]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Biolohiia [Bulletin of Odessa National University. Biology]*, 26 (2 (49)), 51–72 [in Ukrainian].

Narhan, T. P., Motsnyi, I. I., Siechniak, V. Iu., & Lyfenko, S. P. (2016). Otsinka linii pshenytsi miakoi ozymoi (*Triticum aestivum* L.) vid viddalenoj hibrydzatsii za hospodarsko korysnymy oznakamy [Evaluation of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) lines from distant hybridization for economically useful traits]. *Zb. nauk. prats SHI-NTsNS [Coll. of science Proceedings of the SGI-NCNS]*, 28 (68). 15–32 [in Ukrainian].

Pokhylko, S. Iu., Shvartau, V. V., Pochynok, V. M., Mykhalska, L. M., Duhan, O. M., & Morhun B. V. (2017). Kompleksnyi analiz vmistu zahalnoho bilka v zerni miakoi pshenytsi, yaka mistyt hen Gpc-B1 vid *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* [Comprehensive analysis of total protein content in soft wheat grains containing the Gpc-B1 gene from *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides*]. *Visnyk UTHiS [Herald of UTHiS]*, 15(1), 52–57 [in Ukrainian].

Rybalka, O. I. (2011). Yakist zerna pshenytsi ta yii polipshennia [Wheat grain quality and its improvement]. Kyiv [in Ukrainian].

Solodushko, M., & Sereda I. (2014). Osoblyvosti vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi v umovakh pivnichnoho Stepu Ukrainy. Rol nauky u pidvyshchenni tekhnolohichnoho rivnia i efektyvnosti APK Ukrainy [Peculiarities of growing winter wheat in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. The role of science in increasing the technological level and efficiency of the agricultural industry of Ukraine]. *Materialy IV vseukr. nauk.-prakt. konf. [materials IV all-Ukrainian science and practice conf.]*. Ternopil, 15-16 travnia r. Ternopil: Krok [in Ukrainian].

Doneva, S., Daskalova, N., & Spetsov, P. (2018) Transfer of novel storage proteins from a synthetic hexaploid line into bread wheat. *Zemdirbyste-Agriculture*. 105 (2). 113–122. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.015> [in English].

Kjeldahl, J. (1983). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern» (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*. 22. 1. 366-383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151> [in English].

Lukaszewski, A. (2000). Manipulation of the 1BL.1RS translocation in wheat by induced homoologous recombination. *Crop Sci*. 40. 1 216–225. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401216x> [in English].

Mikulikova, D., Masar, S., Horvathova, V., & Kraic, J. (2009). Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech J. Food Sci*. 27 (6). 403–417 [in English].

Morel, M. Y., Dehlon, P., Autran, J.-C., Leygue, J. P., & LHelgouach, Ch. B. (2000). Effects of temperature, sonication time and power setting on size distribution and extractability of total wheat proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*. 77(226). 20–25 [in English].

Mujeeb-Kazi, A., & Hettel, G. P. (1995). Utilizing wild grass biodiversity in wheat improvement: 15 years of wide cross research at CIMMYT. *Research Report*. 2. Mexico.D. F. CIMMYT [in English].

Mujeeb-Kazi, A., Deldago, R., Cortes, A., Cano, S., Rosas, V., & Sanchez J. (2004). Progress in exploiting *Aegilops* tauschii for wheat improvement. *Ann. Wheat Newsletter*. 50, 79–88 [in English].

Mujeeb-Kazi, A., Gul, A., Farooq, M., Rizwan, S., & Ahmad I. (2008). Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. *Aust. J. Agric. Res*. 59. 10. 391–398. <https://doi.org/10.1071/AR07226> [in English].

Spetsov, P., & Savov, M.A. (1992). Review on amphiploids in the Triticeae, obtained in Bulgaria during 1950–1990. *Wheat Inf. Serv*. 75. 1–6 [in English].

Szulc, P., Ambrozy-Deregowska, K., Mejza, I., Kobus-Cisowska, J., & Ligaj, M. (2020). The role of agrotechnical factors in shaping the protein yield of maize (*Zea mays* L.). *Sustainability*. 12. N. 6833.1–18. <https://doi.org/10.3390/su12176833> [in English].

Отримано: 03.05.2023

Прийнято: 16.05.2023



УДК 631.4:635.151:635.18

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.14>

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ НА ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЬ ҐРУНТУ В ПРОЦЕСІ ВИРОЩУВАННЯ БУРЯКІВ

Ю. М. Сиромятников¹

Підвищення продуктивності цукрових буряків з урахуванням екологічної безпеки та збалансованого природокористування під час удосконалення агротехнології є актуальним. Метою дослідження є оцінка мінливості показників запасів продуктивної вологи у чорноземі типовому Лісостепу України під час вирощування цукрових буряків. 16 варіантів багатofакторного польового дослідження включали контроль без добрив, мінеральну систему живлення (170NPK), органічну (70 т/га гною) та органо-мінеральну в плодозмінній зернопрорасній сівозміні на тлі оранки й обробки ґрунту стратифікатором. Щоденний облік температури повітря, відносної вологості повітря, кількості та інтенсивності опадів, температури поверхні ґрунту здійснювали за допомогою автономної онлайн-метеостанції DAVIS Instruments Vantage Pro2 6162EU + додатковий датчик для вимірювання температури поверхні ґрунту 6470 Stainless Steel Temperature Probe. За технології вирощування цукрових буряків без застосування добрив коефіцієнт водоспоживання становить 156–182 м³/т під час оранки та 194–219 м³/т – під час обробки ґрунту стратифікатором.

Мінеральні добрива в дозі N₁₇₀ P₁₇₀ K₁₇₀ знизили коефіцієнт водоспоживання за оранкою у два рази, а за стратифікацією – більше ніж у 2,5 рази, досягнувши величин 75–92 м³/т. Внесення 70 т/га гною вимагає додаткового забезпечення вологого ґрунту за коефіцієнта водоспоживання понад 100 м³/т. Отримали суттєву залежність раціонального водоспоживання у посівах цукрових буряків від таких елементів агротехнології, як внесення мінеральних добрив та гною у поєднанні зі стратифікацією. Уперше з урахуванням екологічної безпеки та збалансованого природокористування визначено, проаналізовано раціональні параметри елементів агротехнології вирощування цукрових буряків для ефективного агровиробництва за умови відновлення родючості чорноземів Лісостепу.

Ключові слова: стратифікація ґрунту, розпушувально-сепаруюча машина, органічні добрива, сівозміна, технологія, екологія, глобальне потепління, збереження вологи, абіотичний чинник.

¹ кандидат технічних наук,
докторант

(Інститут овочівництва та баштанництва Національної академії аграрних наук України,
Харківська обл.)

e-mail: gara176@btu.kharkov.ua

ORCID: 0000-0001-9502-626X

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL MEASURES ON SOIL MOISTURE SATURATION IN SUGAR BEET GROWING

Yu. M. Syromyatnikov

Increasing the productivity of sugar beet, taking into account environmental safety and balanced nature management while improving agricultural technology, is relevant. Purpose of the study was to assess the variability of productive moisture reserves in the typical chernozem of the Forest-Steppe of Ukraine during the cultivation of sugar beet. Daily recording of air temperature, relative air humidity, amount and intensity of precipitation, soil surface temperature was carried out using an autonomous online weather station DAVIS Instruments Vantage Pro2 6162EU + an additional sensor for measuring soil surface temperature 6470 Stainless Steel Temperature Probe. With sugar beet cultivation technologies without the use of fertilizers, the water consumption coefficient is 156-182 m³ / t during plowing and 194-219 m³ / t when tilling the soil with a stratifier.

Mineral fertilizers at a dose of N₁₇₀P₁₇₀K₁₇₀ reduced the water consumption coefficient for plowing by 2 times, and for stratification by more than 2.5 times, bringing it to 75-92 m³/t. The introduction of 70 t/ha of manure required additional provision of soil moisture with a water consumption coefficient of more than 100 m³/t. We obtained a significant dependence of rational water consumption in sugar beet crops on such elements of agricultural technology as the application of mineral fertilizers and manure in combination with stratification. For the first time, taking into account environmental safety and balanced nature management, the rational parameters of the elements of agricultural technology for growing sugar beet for efficient agricultural production were determined and analyzed, subject to the restoration of the fertility of the chernozems of the Forest-Steppe.

Key words: soil stratification, loosening-separating machine, organic fertilizers, crop rotation, technology, ecology, global warming, moisture conservation, abiotic factor.

Вступ

Глобальне потепління, що спостерігається останнім століттям у різних регіонах Земної кулі, і щорічне збільшення населення до 122 млн осіб змушують нас шукати нові джерела їжі та інтенсивно освоювати нові сільськогосподарські угіддя (Spinoni et al., 2021; He et al., 2022). Поряд із необхідністю розвитку аграрного виробництва виникає питання про раціональне використання невідновлюваних джерел енергії (Mahalik et al., 2021; Yu et al., 2023).

Сучасні технології механічної та хімічної обробки ґрунту змінюють його агрофізичні властивості ґрунту (Smirnov et al., 2019; Buragienė et al., 2019). Найзначимішими є зміна структури та зниження водопроникності ґрунту.

Під час полицевої оранки відбувається порушення ґрунтових агрегатів, спостерігається цементация ґрунтових частинок залежно від опадів, а структура стабілізується за рахунок діяльності ґрунтової макро-, мезо- та мікрофауни (Giannitsopoulos et al., 2020; Reicosky, 2020).

Традиційна обробка ґрунту оранням з обертаням скиби призводить до його ерозії, дефляції, дегуміфікації, аридизації (Luetzenburg et al., 2020; Martínez-Mena et al., 2020).

У зв'язку з нестійким зволоженням у Лісостеповій зоні України рівень воло-

гозабезпеченості ґрунту та сільськогосподарських культур є одним із вирішальних чинників формування продуктивності у сучасних агрофітоценозах (Demydenko et al., 2021). Ресурсозберігаючі системи землеробства засновані на виконанні комплексу агробіологічних та агротехнічних заходів, спрямованих на максимальну фіксацію атмосферних опадів, раціональне використання ґрунтової вологи для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур у сівозмінах (Hanhur et al., 2021; Hanhur et al., 2021; Hanhur et al., 2021).

Сівозміна у поєднанні з ресурсозберігаючими та ґрунтозахисними системами обробки ґрунту та внесення добрив забезпечує підвищення ефективності накопичення вологи в ґрунті та ефективніше її використання сільськогосподарськими культурами, що є одним з основних способів пом'якшення негативних наслідків посухи (Kuts et al., 2022; Kuts et al., 2022; Kuts et al., 2022). Вивчення закономірностей руху ґрунтової вологи за фізичного випаровування необхідне для обґрунтування та розроблення раціональних сівозмін і систем обробки ґрунту, спрямованих на її зниження, що полегшить оцінку стану ґрунту (Singh et al., 2019; Li et al., 2023).

Погіршення водно-фізичних властивостей чорнозему типового безпосередньо

пов'язане з утратою гумусу і, як наслідок, аридизацією ґрунтових умов для зростання польових культур та ґрунтоутворення в агроценозах (Fomenko et al., 2022; Mamatov et al., 2023). Одним із найважливіших чинників формування та підвищення врожайності сільськогосподарських культур в умовах нестабільного зволоження в Лісостепу України є накопичення та ефективне використання вологи атмосферних опадів, яка є актуальним абіотичним чинником, що лімітує продуктивність польових культур (Polyakov et al., 2021).

Дефіцит вологи в ґрунті в період вегетації польових культур призводить до зниження ефективності застосування мінеральних добрив, систем захисту рослин від шкідників та ін. (Richard et al., 2022). Ураховуючи кліматичні умови та біологічні особливості культур щодо водоспоживання та режиму зволоження ґрунту під посівами, можна визначити напрями найефективнішого використання ґрунтової вологи та атмосферних опадів польовими культурами у процесі їх обробітку у сівозмінах різної тривалості (Kong et al., 2019).

Умови вегетаційного періоду щодо забезпечення достатніми опадами й оптимальним температурним режимом впливають на ефективність добрив і доступність рослинам поживних речовин. Дефіцит вологи в ґрунті обмежує засвоєння фосфору зерновими культурами більшою мірою, ніж азоту, через що порушується нормальне співвідношення між цими елементами в рослинах, загострюється потреба у фосфорних добривах. В умовах достатнього зволоження сильніше виражене азотне голодування посівів, і зростає позитивна дія азотних добрив (Oyetunji et al., 2022).

У зоні нестійкого зволоження управління надходженням та втратами вологи в ґрунті має здійснюватися за рахунок оптимального підбору та чергування культур у сівозмінах, що забезпечують найефективніше використання вологи (Zhou et al., 2020). Елементи мінерального живлення, агрохімічні, фізико-хімічні, фізико-механічні та біологічні властивості ґрунту, а також здатність забезпечувати рослини вологою визначають рівень її родючості (Biswas et al., 2019). Агротехнологічні прийоми, такі як сівозмінна, обробіток ґрунту та внесення добрив, є пріоритетними у формуванні врожайності (Zhang et al., 2022).

Підвищення продуктивності цукрових буряків з урахуванням екологічної без-

пеки та збалансованого природокористування під час удосконалення агротехнології є актуальним.

Метою дослідження є оцінка мінливості показників запасів продуктивної вологи у чорноземі типовому Лісостепу України під час вирощування цукрових буряків. Завдання: визначити показники накопичення та використання запасів продуктивної вологи в чорноземі типовому.

Наукова новизна роботи. Уперше з урахуванням екологічної безпеки та збалансованого природокористування визначено, проаналізовано, експериментально обґрунтовано та науково узагальнено раціональні параметри елементів агротехнології вирощування цукрових буряків для ефективного агровиробництва за умови відновлення родючості чорноземів Лісостепу.

На основі результатів польового стаціонарного багатофакторного досвіду в різних видах сівозмін раціоналізовано систему внесення добрив чорноземних ґрунтів під час вирощування цукрових буряків.

Матеріал і методи

Місце проведення досліджень: Україна, Харківська область, Харківський район, Навчально-дослідне господарство ХНТУСГ ім. Петра Василенка, дослідне поле «Центральне» загальною площею 280 га. Природно-кліматична зона – Лісостеп; агроґрунтова провінція – Лісостеп лівобережний високий. Географічні координати: широта – 49°51'24"N, довгота – 36°05'01"E.

16 варіантів багатофакторного польового досвіду включали контроль без добрив, мінеральну систему живлення (170NPK), органічну (70 т /га гною) й органомінеральну в п'ятипільній плодозмінній і зернопросапній сівозмінах на тлі оранки та обробки ґрунту стратифікатором. Ґрунт дослідного поля на початку закладання стаціонарного досвіду представлений чорноземом типовим мало гумусним важкосуглинковим на лесовидному суглинку, із умістом гумусу в орному шарі 3,89%, нітратного азоту – 23,5 мг/кг, легкогідролізованого азоту – 135 мг/кг, рухомого фосфору – 47–56 мг та обмінного калію – 90–120 мг/кг ґрунту, pH_{KCl} – 5,6–6,5.

Повторюваність варіантів досвіду потрійна. Розмір дослідної ділянки – 40 м², облікової – 28 м². Добрива вносили вручну під усі культури перед основним обробітком ґрунту. У досліді застосовували дві сівозміни з таким чергуванням культур:

1) зернопросапну – горох, озима пшениця, цукрові буряки, ячмінь, кукурудза на зерно;

2) плодозмінну – люцерна 1-го року, люцерна 2-го року, озима пшениця, цукрові буряки, ячмінь + багаторічні трави.

(Чинник А) – два способи основного обробітку ґрунту:

1) оранка на глибину 30–35 см плугом ПАН-5-35;

2) обробіток ґрунтообробною розпушувально-сепаруючою машиною «Докучаєвська» ПРСМ-5 (стратифікатор) на глибину 12–15 см, без обертання скиби ґрунту (рис. 1). Машина працює в такий спосіб: під час руху по полю лемеші піднімають скибу ґрунту, далі за його переміщення вздовж поверхні лемеша і прутів сепаруючої решітки відбувається її кришення, при цьому дрібно-грудкувата фракція проходить крізь решітку, формуючи насінневій підшар ґрунту. Далі формування насінневого шару відбувається за впливу на скибу розпушувачів ротора, які кришать і розпушують ґрунт, переміщуючи його вздовж сепаруючої решітки. Окрім цього, розпушу-

вачі ротора в процесі взаємодії з ґрунтом вичісують із нього бур'яни, не порушуючи їх цілісності, і транспортують їх на поверхню ґрунту. У результаті відбувається сепарація оброблюваного шару ґрунту, розшарування його за структурним складом, знищення бур'янів шляхом їх механічного вичісування з оброблюваного шару, а на поверхні утворюється мульчований шар (Syromyatnikov et al., 2017; Pashchenko et al., 2019; Syromyatnikov et al., 2019; Syromyatnikov et al., 2021).

Схема досліду із цукровим буряком (табл. 1) включає варіанти з мінеральними та органічними добривами.

(Чинник В) – контроль (без добрив), $N_{170} P_{170} K_{170}$, гній 70 т/га, $N_{170} P_{170} K_{170}$ + гній 70 т/га. У досліді використовували напівперепрілий гній.

Відбір проб ґрунту для визначення запасу продуктивної вологи здійснювали вручну за допомогою спеціального бура довжиною 1 м через кожні 10 см глибини ґрунту (Li et al., 2020). Кожна проба відбиралася окремо до попередньо зважених металевих ємностей (бюкси). Аналіз проб проводили в лаборато-



Рис. 1. Обробка ґрунту розпушувально-сепаруючою машиною «Докучаєвська» ПРСМ-5 (стратифікатор)

Таблиця 1

План польового багатофакторного дослідю

Чинник	Сівозміна			
	Плодозмінна		Зернопросапна	
А	ПРСМ-5	ПАН-5-35	ПРСМ-5	ПАН-5-35
В	без добрив	без добрив	без добрив	без добрив
	$N_{170} P_{170} K_{170}$	$N_{170} P_{170} K_{170}$	$N_{170} P_{170} K_{170}$	$N_{170} P_{170} K_{170}$
	Гній 70 т/га	Гній 70 т/га	Гній 70 т/га	Гній 70 т/га
	$N_{170} P_{170} K_{170}$ + гній 70 т/га	$N_{170} P_{170} K_{170}$ + гній 70 т/га	$N_{170} P_{170} K_{170}$ + гній 70 т/га	$N_{170} P_{170} K_{170}$ + гній 70 т/га

рії. Визначення запасу продуктивної вологи здійснювали термостатно-ваговим методом. Бюкси з пробами зважували на технічних терезах, після чого ґрунт висушувався до постійної маси в термостаті за температури 100–105°C і повторно зважувався. Після повторного зважування проводили розрахунки, які показують, скільки міліметрів вологи міститься у кожному шарі. Для інтерпретації отриманих показників використали традиційний метод визначення запасів продуктивної вологи у ґрунті. Обчислювали вологість в'янення, повну і найменшу вологоємність, вологість розриву капілярів і т. д. За різницею між реальною вологістю ґрунту та вологістю в'янення оцінювали запаси доступної вологи, порівнюючи з нормативними показниками згідно з табличними та графічними моделями. Як правило, оптимальна вологість ґрунту для більшості культур становить 80% від найменшої вологоємності, з відхиленнями для певних культур. Запас продуктивної вологи визначали два рази на рік: восени та навесні.

Сумарне водоспоживання (E) нами визначалося за методом водного балансу, розробленим О.М. Костяковим (Buber et al., 2020):

$$E = P \pm \Delta W + W_{zp},$$

де E – сумарне водоспоживання, м³/га;

P – сума опадів, що випали за розрахунковий період, мм;

ΔW – зміни запасів ґрунтової вологи за період часу, м³/га;

W_{zp} – підживлення активного шару ґрунту ґрунтовими водами, м³/га.

Під час розрахунку сумарного водоспоживання урахувалася вся сума атмосферних опадів у період вегетації рослин.

Формула для розрахунку коефіцієнта вологоспоживання (K_w):

$$K_w = W/Y,$$

де W – сумарне водоспоживання (продуктивна волога з ґрунту + опади), мм;

Y – урожайність, т/га.

Щоденний облік температури повітря, атмосферного тиску, відносної вологості повітря, швидкості та напрямку вітру, температури точки роси, кількості та інтенсивності опадів, температури поверхні ґрунту здійснювали за допомогою автономної онлайн-метеостанції DAVIS Instruments Vantage Pro2 6162EU + додатковий датчик для вимірювання температури поверхні ґрунту 6470 Stainless Steel Temperature Probe (рис. 2).

Роздільну здатність вимірювань кількості опадів та температури повітря навколишнього середовища автономної онлайн-метеостанції DAVIS Instruments Vantage Pro2 6162EU описано в табл. 2.

У метеостанції Davis Vantage Pro2 Plus використовується метод стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS) для бездротової передачі, що дає можливість зберігати всі найвищі та найнижчі значення (і/або загальні чи середні значення) майже для всіх змінних погоди за останні дні, місяці та роки і свій власний прогноз погоди без використання ПК. Метеостанція оснащена вбудованим сенсорним блоком, який поєднує колектор опадів, датчики температури і вологості, а також вимірювач вітру в одному пристрої. Датчики температури Vantage мають точність $\pm 0,5^\circ\text{C}$, а точність датчиків зовнішньої вологості становить $\pm 3\%$. Активна вентиляція служить для більшої точності, особливо в теплі, сонячні дні з меншим вітром або без нього. Вентилятор всмоктує повітря через камеру датчика і знову видуває його на екран. Цей покращений потік повітря допомагає досягти більш точних вимірювань температури та вологості. Вплив теплового випромінювання



Рис. 2. Метеостанція DAVIS Instruments Vantage Pro2

Таблиця 2

Роздільна здатність вимірювань кількості опадів та температури повітря навколишнього середовища автономної онлайн-метеостанції DAVIS Instruments Vantage Pro2 6162EU

Функція	Роздільна здатність	Діапазон значень	Точність (±)
Кількість опадів			
За добу	0,2 мм	0 – 999,8 мм	4%
За місяць та за рік	0,2 – 2000 мм: 1 мм	0 – 6553 мм	4%
Інтенсивність	0,1 мм	0 – 2438 мм/год	5%
Температура			
Зовнішня	0,1°C	-40 – +65 ° C	0,3°C
Додатковий датчик	0,1°C	-40 – +65 ° C	0,5°C

та відбитого тепла зведено до мінімуму, а умови всередині укриття від негоди значною мірою відповідають навколишньому повітрю.

6470 Stainless Steel Temperature Probe (датчик температури з 64 мм сенсором із нержавіючої сталі) використовується для вимірювання температури повітря, ґрунту або води; приєднується до станції за допомогою 46 м кабелю; можливе підключення не більше чотирьох датчиків.

Результати та обговорення

Метеорологічні умови в роки проведення досліджень відрізнялися широкою різноманітністю як щодо температурних режимів, так і кількості та періодичності опадів. Спостерігалися деякі аномалії, що не мають характеру принципових факторів, які лімітують отримання біологічно можливого врожаю цукрових буряків.

За даними табл. 3, температурний режим упродовж років проведення досліджень був екстремальним. Відхилення від середніх значень за багаторічними даними не перевищувало 1,4 градуса з деяким розкидом за окремими місяцями.

За даними табл. 4, кількість опадів за середнього значення 549 мм у перший рік досліджень випало 417 мм, що характеризує вегетаційний період як гостро посушливий, а в сезоні 2020–2021 р. сума опадів становила 664 мм.

Ці обставини, які призвели, зрештою, до різного рівня врожайності цукрових буряків, відображають усе різноманіття природних кліматичних умов, що підвищує цінність і достовірність отриманих під час досліджень експериментальних даних.

Головним постачальником життєво необхідної як сільськогосподарським культурам,

Таблиця 3

Середньомісячна температура за період 2018–2021 рр., °C

Місяці	2018/19 рік		2019/20 рік		2020/21 рік		2021/22 рік		Середні багаторічні значення
	За місяць	Відр. від норми	За місяць	Відр. від норми	За місяць	Відр. від норми	За місяць	Відр. від норми	
08	+21,4	+3,5	+19,2	+1,3	+18,4	+0,5	+19,7	+1,8	+17,8
09	+13,8	+0,9	+14,7	+1,8	+13,2	+0,3	+14,4	+1,5	+12,8
10	+6,6	+0,4	+5,7	-0,3	+6,9	+0,7	+7,4	+1,2	+6,1
11	+1,9	+1,8	+1,6	+1,7	+1,3	+1,4	+0,3	+0,4	0
12	-9,3	-3,6	-11,2	-5,5	-2,3	+3,2	-2,7	+2,8	-5,6
01	-7,4	0	-6,4	+1,0	-3,8	+3,6	-1,5	+5,9	-7,5
02	+0,9	+8,5	-9,3	-1,9	-4,4	+2,8	-6,9	+0,3	-7,3
03	+4,3	+6,5	-1,6	+0,4	-1,7	+0,3	-2,5	-0,3	-2,1
04	+9,4	+2,6	+5,5	-1,1	+7,2	+0,4	+9,6	+2,8	+6,7
05	+14,9	+0,7	+17,8	+3,5	+12,5	-1,5	+16,8	+2,6	+4,2
06	+18,2	+0,3	+15,7	-2,0	+15,8	-1,9	+15,7	-1,0	+17,8
07	+23,4	+4,0	+20,3	+0,9	+18,8	-0,4	+19,7	+0,3	+19,3
Рік	+8,1	+2,1	+5,9	-0,1	+6,7	+0,7	+7,5	+1,5	+5,9

Таблиця 4

Середньомісячне випадання опадів за період 2018–2022 рр., мм

Місяці	2018/19рік		2019/20рік		2020/21рік		2021/22		Середнє багатолітнє
	За місяць	% до середнього багатолітнього	За місяць	% до середнього багатолітнього	За місяць	% до середнього багатолітнього	За місяць	% до середнього багатолітнього	
08	12,2	21,9	27,4	48,9	57,6	102,9	28,9	55,2	48,7
09	29,1	57,9	113,7	223,9	21,9	43,6	52,6	104,4	50,3
10	26,5	60,9	41,0	93,5	66,9	152,5	20,9	47,7	43,8
11	39,3	95,9	33,4	80,9	34,6	95,7	27,8	77,0	36,1
12	31,5	76,9	10,1	23,9	52,9	122,9	39,5	96,5	40,9
01	9,0	23,1	41,1	108,9	50,0	132,1	41,0	108,3	37,8
02	28,7	84,9	19,0	55,8	44,1	129,9	19,3	56,9	33,9
03	23,5	72,9	25,6	79,5	55,6	172,3	28,0	86,9	32,2
04	26,3	53,9	3,1	6,5	32,7	67,5	16,0	33,1	48,4
05	62,1	124,9	31,7	64,0	115,2	232,3	53,9	108,7	49,5
06	60,5	95,9	39,4	62,6	24,9	45,1	108,6	196,4	55,2
07	67,5	98,9	122,6	179,5	106,9	156,5	92,5	135,4	68,2
рік	417,3	76,3	509,2	93,1	664,4	121,6	528,1	96,6	546,1

так і мікроорганізмам та іншим представникам живого світу вологи є ґрунт. Важко переоцінити роль води у житті всього живого на Землі. Її роль величезна та багатогранна. Насичені вологою ґрунти забезпечують рослинам безперешкодне надходження розчинених поживних речовин, за участю води відбуваються всі біохімічні процеси, здійснюється дихання рослин, розвиток мікроорганізмів, відбувається фотосинтез. Таким чином, для отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур неодмінною умовою є оптимальне забезпечення ґрунту вологою, особливо в критичний період споживання поживних речовин. Цукрові буряки мають високі вимоги до наявності вологи в ґрунті, особливо в перші фази вегетації. Разом із тим за рахунок розвинутої кореневої системи, що глибоко проникає у ґрунт, ця культура відрізняється високим рівнем посухостійкості.

Відмінною особливістю цукрових буряків водночас є їхня здатність ефективно використовувати вологу у другій половині літа для формування маси коренеплоду.

Виходячи з вищесказаного, ми у своїх дослідженнях визначали запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту у два терміни протягом вегетації цукрових буряків: відразу після посіву і перед збиранням для ефективнішого аналізу впливу чинників, що вивчаються, на цей важливий агрофізичний показник.

Узагальнивши отриманий експериментальний матеріал, можемо констатувати, що запаси продуктивної вологи у ґрунті навесні знаходилися на рівні 134–147 мм у пробі без внесення добрив та від 144 до 169 мм – на удобрених пробах (табл. 5).

Між способами обробки ґрунту можемо констатувати відсутність відмінності за абсолютного контролю навіть у межах однієї сівозміни. Із внесенням добрив ситуація дещо змінюється. Під час внесення мінеральних добрив у дозі $N_{170} P_{170} K_{170}$ запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту значно підвищувалися – до 154–155 мм за оранки і 136–144 мм – за стратифікації. Ґрунт, удобрений з осені мінеральними добривами, затримував більше вологи порівняно з контролем, а глибока полицева обробка сприяла кращому проникненню вологи в нижні шари ґрунту, що враховується під час аналізу. Ця тенденція зберігається і під час уведення в агротехнологію вирощування цукрових буряків гною як окремо, так і за спільного застосування з мінеральними добривами. На цих ділянках початкова кількість вологи у ґрунті становила 159–169 мм, що, безумовно, створює передумови для повноцінного розвитку рослин цукрових буряків на ранніх етапах вегетації.

За видами сівозміни не виявлено істотної відмінності в початкових запасах вологи, найімовірніше, через однакового попере-

Таблиця 5

Запаси продуктивної вологи у ґрунті під посівами цукрових буряків залежно від елементів агротехнології (мм), середні дані за 2019–2021 рр.

Варіант	Плодозмінна сівозміна				Зернопропашна сівозміна			
	Оранка		Стратифікація		Оранка		Стратифікація	
	Посів	Прибирання	Посів	Прибирання	Посів	Прибирання	Посів	Прибирання
Без добрив	142	34	144	38	139	38	138	35
N ₁₇₀ P ₁₇₀ K ₁₇₀	155	42	144	48	154	39	138	47
70 т/га гною	169	48	155	55	165	41	159	50
70 т/га + N ₁₇₀ P ₁₇₀ K ₁₇₀	167	54	159	58	161	46	158	53
НСР ₀₅ (А)	5,1	4,8	4,5	4,5	–	–	–	–
НСР ₀₅ (Б)	9,8		8,6		–	–	–	–

дника для цукрових буряків в обох сівозмінах, яким була озима пшениця. Цей факт створив приблизно рівні умови вологонакопичення за видимої відсутності яскраво вираженої диференціації абсолютних значень за цим показником.

Показник вологозабезпеченості ґрунту на завершальному етапі онтогенезу служить чинником інтенсивності засвоєння води рослинами, а також ступенем утримання вологи в ґрунтовому шарі залежно від факторів, що вивчаються у досліді. Результати дослідження цього показника виявили характерні закономірності щодо запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту перед збиранням залежно від рівня добрив й особливо від способу основного обробітку ґрунту.

Так, за відсутності фактору добрив запаси вологи в ґрунті восени становили приблизно рівну величину незалежно від факторів досліді – 34–38 мм.

Під час внесення мінеральних добрив виразно проявляється позитивна роль у вологоутриманні у процесі обробітку ґрунту стратифікатором проти орання. Відмінності за сівозмінами між стратифікацією ґрунту й оранням становили 5–7 мм, що перевищує найменшу суттєву різницю по фактору, а отже, достовірні.

За органо-мінеральної й особливо органічної системи живлення цукрових буряків дана тенденція зберігається за збільшення значень в абсолютному вираженні.

Дану обставину, на нашу думку, необхідно пояснити меншою пористістю ґрунту у верхніх горизонтах ґрунтового шару під час обробки стратифікатором та, відпо-

відно, обмеженою можливістю інтенсивного випаровування ґрунтової вологи в атмосфері. За глибокої оранки, навпаки, пухкий верхній шар слабо утримує вологу, краще прогривається на велику глибину і провокує непродуктивне витрачання ґрунтової вологи.

У табл. 6 представлено дані щодо впливу видів сівозмін, способів обробітку ґрунту та застосування гною і мінеральних добрив, сумарне водоспоживання за період вегетації на коефіцієнт водоспоживання цукрових буряків, що показує кількість витрат води на формування одиниці товарної продукції.

Загальні значення сумарного водоспоживання рослинами цукрових буряків показують, що ця величина знаходиться в межах 3900–4700 м³/га, це говорить про інтенсивний метаболізм цієї культури, що витрачає в процесі життєдіяльності значну кількість вологи на формування вегетативних та генеративних органів (табл. 6).

Даний показник, за даними наших досліджень, багато в чому залежить як від виду сівозміни, так і від способу обробітку ґрунту та рівня добрив.

Мінімальна кількість вологи витрачається на контролі без використання добрив та виражається величиною 3864–4057 м³/га, що пояснюється невисокими показниками врожайності коренеплодів у цих випадках. Великі значення водоспоживання на невдобрених ділянках відзначені під час оранки.

За умови внесення мінеральних добрив сумарне водоспоживання на одиницю площі значно зростає, сягаючи 4469 м³/га за глибокого відвального спо-

Таблиця 6

Водоспоживання цукрових буряків залежно від елементів агротехнології, середні дані за 2019–2021 рр.

Варіант	Сумарне водоспоживання, м ³ /га				Коефіцієнт водоспоживання, м ³ /т			
	Плодозмінна сівозміна		Зернопросапна сівозміна		Плодозмінна сівозміна		Зернопросапна сівозміна	
	Оранка	Стратифікація	Оранка	Стратифікація	Оранка	Стратифікація	Оранка	Стратифікація
Без добрив	3979	3864	4057	3895	156	194	182	219
N ₁₇₀ P ₁₇₀ K ₁₇₀	4291	3903	4469	4116	86	75	92	82
70 т/га гною	4511	4254	4721	4398	115	100	118	106
70 т/га + N ₁₇₀ P ₁₇₀ K ₁₇₀	4005	3810	4116	4044	74	66	78	75
НСР ₀₅ (А)	155	148	161	152	-	-	-	-
НСР ₀₅ (Б)	181		200		-		-	

собу обробітку ґрунту. Зменшення глибини впливу на ґрунт сприяло більш економному витрачання ґрунтової вологи.

Слід зазначити, що по всіх варіантах удобрення та способах обробітку ґрунту сумарне водоспоживання більше на 200–300 м³/га у зернопросапній сівозміні порівняно з плодозмінною.

Внесення гною сприяло додатковому витрачання вологи під час формування врожаю цукрових буряків до значних величин лише на рівні 4500–4700 м³/га за полицевої обробки.

Оптимальним варіантом із позиції вологозбереження є спільне внесення гною та мінеральних добрив. І тут навіть за значно збільшеної продуктивності цукрових буряків сумарне водоспоживання залишалося лише на рівні контрольного варіанта.

Висновки

Аналізуючи отримані дані щодо коефіцієнта водоспоживання, встановлено, що під час формування 1 т коренеплодів цукрових буряків витрачається різна кількість вологи. Так, найбільших значень цей індекс досягає у контрольних варіантах. За технологій обробітку цукрових буряків без застосування добрив коефіцієнт водоспоживання становить 156–182 м³/т за оранки та 194–219 м³/т – за обробітку ґрунту стратифікатором. Ці цифри свідчать про вкрай

нераціональне використання вологи за екстенсивного способу вирощування

Мінеральні добрива в дозі N₁₇₀ P₁₇₀ K₁₇₀ знизили коефіцієнт водоспоживання за оранкою у два рази, а за стратифікацією – більше ніж у 2,5 рази, досягнувши величин 75–92 м³/т.

Внесення 70 т/га гною вимагає додаткового забезпечення вологою ґрунту за коефіцієнта водоспоживання понад 100 м³/т зі збереженням вищеписаних тенденцій.

Органо-мінеральна система удобрення цукрових буряків показала найбільш раціональне використання вологи для формування врожаю, показавши величини коефіцієнта водоспоживання 66–78 м³/т. У цьому разі зафіксовані значення знаходяться на рівні мінеральної системи добрива зі зниженням аналізованого значення на 6–13 м³/т залежно від чинників, що вивчалися.

Отриманий експериментальний матеріал довів суттєву залежність раціонального водоспоживання у посівах цукрових буряків від таких елементів агротехнології, як внесення мінеральних добрив та гною у поєднанні з енергозберігаючим поверхневим способом обробітку ґрунту (стратифікацією).

Подяки. Висловлюємо подяку наставнику, доктору технічних наук, професору Володимиру Філімоновичу Пащенко за допомогу у проведенні досліджень.

Список використаної літератури

Buragienė S., Šarauskis E., Romanekas K., Adamavičienė A., Kriaučiūnienė Z., Avižienytė D., Marozas V., Naujokienė V. Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of the Total Environment* 662. 2019. P. 786–795.

Biswas B., Nirola R., Biswas J. K., Pereg L., Willett I. R., Naidu, R. Environmental microbial health under changing climates: state, implication and initiatives for high-performance soils. *Sustainable Agriculture Reviews 29: Sustainable Soil Management: Preventive and Ameliorative Strategies*, 2019. P. 1–32.

- Buber A. L., Bondarik I. G., Buber A. A. Development of approaches to water resources management in the lower kuban to ensure water user requirements in low-water years. *Irrigation and drainage*, 2020. 69(1), P. 3–10.
- Demydenko O., Bulygin S., Velychko V., Kaminsky V., Tkachenko M. Soil moisture potential of agrocenoses in the Forest-Steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*, 2021. 8(2), P. 49–61.
- Fomenko T. G., Popova V. P., Chernikov E. A., Makarova A. A., Yaroshenko O. V. Effect of Long-Term Drip Irrigation of Fruit Orchard on the Transformation of Properties of Chernozems. *Eurasian Soil Science*, 2022. 55(9), P. 1266–1277.
- Giannitsopoulos M. L., Burgess P. J., Rickson R. J. Effects of conservation tillage drills on soil quality indicators in a wheat–oilseed rape rotation: organic carbon, earthworms and water-stable aggregates. *Soil Use and Management*, 2020. 36(1), P. 139–152.
- Hanhur V. V., Len O. I., Hanhur N. V. Effect of minimizing soil tillage on moisture supply and spring barley productivity in the zone of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 2021. 1, P. 128–134.
- Hanhur V. V., Kosminskyi O. O., Mishchenko O. V. Influence of mineral fertilizers on the content of nutrients in the soil and the yield of sunflower hybrids of different maturity groups. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 2021. 1, P. 116–121.
- Hanhur V. V., Kotliar Y. O. (2021). Influence of predecessors on water consumption and productivity of winter wheat in the zone of the left-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, P. 122–127.
- He Y., Manful D., Warren R., Forstehäusler N., Osborn T.J., Price J., Jenkins R., Wallace C., Yamazaki D. Quantification of impacts between 1.5 and 4 C of global warming on flooding risks in six countries. *Climatic Change*, 2022. 170(1–2), P. 15.
- Kuts O., Dukhin Y., Rudym Y., Yarokhno N., Shapko M., Korsun S., Bilivets I., Voloshchuk N. Effect of mycohelpbiofungicide on sowing qualities of vegetable plant seeds. *Vegetable and Melon Growing*, 2022. (71), P. 67–75.
- Kuts O., Yakovchenko A., Semenenko S., Semenenko I., Yakovchenko O., Kokoyko V., Hulyak N., Suchkova V. Investigation of allelopathic influence on sweet potato plants of main weeds and agricultural plants. *Vegetable and Melon Growing*, 2022. (71), P. 49–58.
- Kuts O., Kokoiko V., Paramonova T., Mykhailyn V., Syromiatnykov Y. Influence of the fertiliser system on the soil nutrient regime and onion productivity. *Plant & Soil Science*, 2022. 13(4), P. 16–26.
- Kong D., Liu N., Wang W., Akhtar K., Li N., Ren G., Feng Y., Yang G. Soil respiration from fields under three crop rotation treatments and three straw retention treatments. *PLoS One*, 2019. 14(9), P. 0219253.
- Li J., Wang Y.K., Guo Z., Li J.B., Tian C., Hua D.W., Shi C.D., Wang H.Y., Han J.C., Xu, Y. Effects of conservation tillage on soil physicochemical properties and crop yield in an arid Loess Plateau, China. *Scientific Reports*, 2020. 10(1), P. 4716.
- Luetzenburg G., Bittner M.J., Calsamiglia A., Renschler C.S., Estrany J., Poepl R. Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz–Austria, Can Revull–Spain. *Science of the Total Environment*, 2020. 704, P. 135389.
- Li H., Zhang Y., Sun Y., Liu P., Zhang Q., Wang X., Wang R., Li J. Long-term effects of optimized fertilization, tillage and crop rotation on soil fertility, crop yield and economic profit on the Loess Plateau. *European Journal of Agronomy*, 2023. 143, P. 126731.
- Mahalik M. K., Mallick H., Padhan H. Do educational levels influence the environmental quality? The role of renewable and non-renewable energy demand in selected BRICS countries with a new policy perspective. *Renewable Energy*, 2021. 164, P. 419–432.
- Martinez-Mena M., Carrillo-López E., Boix-Fayos C., Almagro M., Franco N.G., Díaz-Pereira E., Montoya I., De Vente J. Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. *Catena*, 2020. 187, P. 104352.
- Mamatov F. M., Karimov A. A. Potato digger with latticed plowshares and oscillating rods. *E3S Web of Conferences*, 2023. 401, P. 04029.
- Oyetunji O., Bolan N., Hancock G. A comprehensive review on enhancing nutrient use efficiency and productivity of broadacre (arable) crops with the combined utilization of compost and fertilizers. *Journal of environmental management*, 2022. 317, P. 115395.
- Polyakov V. I., Karpuk L. M., Prymak I. D., Pavlichenko A. A., Karaulna, V. M., Yezerkovksa, L. V., Kulyk, R. M., Shokh, S. S. Influence of seeding density and fertilizing on water consumption, growth and development of maize hybrids. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2021. 11(1), P. 32–37.

- Pashchenko V. F., Syromyatnikov Y. N. The transporting ability of the rotor of the soil-cultivating loosening and separating vehicle. *Tractors And Agricultural Machinery*, 2019. 86(2), P. 67–74.
- Reicosky D. Conservation agriculture systems: Soil health and landscape management. *In Advances in Conservation Agriculture*, 2020. P. 87–154.
- Richard B., Qi A., Fitt B. D. Control of crop diseases through Integrated Crop Management to deliver climate-smart farming systems for low- and high-input crop production. *Plant Pathology*, 2022. 71(1), P. 187–206.
- Spinoni J., Barbosa P., Cherlet M., Forzieri G., McCormick N., Naumann G., Vogt J.V., Dosio A. How will the progressive global increase of arid areas affect population and land-use in the 21st century? *Global and Planetary Change*, 2021. 205, P. 103597.
- Smirnov M., Smirnov P., Alexeev E., Maksimov I., Kazakov Y., Prokopeva E. Influence of soil-protective technologies on the characteristics of the soils of hop plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. 346 (1), P. 012018.
- Singh R. J., Deshwal J. S., Sharma N. K., Ghosh B. N., Bhattacharyya R. Effects of conservation tillage based agro-geo-textiles on resource conservation in sloping croplands of Indian Himalayan Region. *Soil and Tillage Research*, 2019. 191, P. 37–47.
- Syromyatnikov Y. N. Substantiation of the parameters of a soil tillage machine ripper. *Engineering Technologies and Systems*, 2021. 31(2), P. 257–273.
- Syromyatnikov Y. N., Khramov N. S. The process of trimming and raising the soil by the working bodies of the soil treatment and separation installation. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 2021. 1(33), P. 86–96.
- Syromyatnikov, Y. N. Ways to Reduce the Specific Pressure of Wheeled Thrusters on the Soil. *Agriculture*, 2017. (4), P. 95–103.
- Yu C., Moslehpour M., Tran T. K., Trung L. M., Ou J. P., Tien N. H. Impact of non-renewable energy and natural resources on economic recovery: Empirical evidence from selected developing economies. *Resources Policy*, 2023. 80, P. 103221.
- Zhou Z., Shi H., Fu Q., Li T., Gan T.Y., Liu S. Assessing spatiotemporal characteristics of drought and its effects on climate-induced yield of maize in Northeast China. *Journal of Hydrology*, 2020. 588, P. 125097.
- Zhang T., Xiong W., Sapkota T. B., Jat M. L., Montes C., Krupnik T. J., Jat R. K., Karki S., Nayak H., Faisal A. A., Jat H. S. The optimization of conservation agriculture practices requires attention to location-specific performance: evidence from large scale gridded simulations across South Asia. *Field Crops Research*, 2022. 282, P. 108508.

References (translated & transliterated)

- Buragienė, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Adamavičienė, A., Kriaučiūnienė, Z., Avizienytė, D., Marozas, V., & Naujokienė, V. (2019). Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of the Total Environment*, 662, 786–795. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.236> [in English].
- Biswas, B., Nirola, R., Biswas, J. K., Pereg, L., Willett, I. R., & Naidu, R. (2019). Environmental microbial health under changing climates: state, implication and initiatives for high-performance soils. *Sustainable Agriculture Reviews 29: Sustainable Soil Management: Preventive and Ameliorative Strategies*, 1–32. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26265-5_1 [in English].
- Buber, A. L., Bondarik, I. G., & Buber, A. A. (2020). Development of approaches to water resources management in the lower kuban to ensure water user requirements in low-water years. *Irrigation and drainage*, 69(1), 3–10. <https://doi.org/10.1002/ird.2387> [in English].
- Demydenko, O., Bulygin, S., Velychko, V., Kaminsky, V., & Tkachenko, M. (2021). Soil moisture potential of agrocenoses in the Forest-Steppe of Ukraine. *Agricultural Science and Practice*, 8(2), 49–61. <https://doi.org/10.15407/agrisp8.02.049> [in English].
- Fomenko, T. G., Popova, V. P., Chernikov, E. A., Makarova, A. A., & Yaroshenko, O. V. (2022). Effect of Long-Term Drip Irrigation of Fruit Orchard on the Transformation of Properties of Chernozems. *Eurasian Soil Science*, 55(9), 1266–1277. <https://doi.org/10.1134/S1064229322090058> [in English].
- Giannitsopoulos, M. L., Burgess, P. J., & Rickson, R. J. (2020). Effects of conservation tillage drills on soil quality indicators in a wheat–oilseed rape rotation: organic carbon, earthworms and water-stable aggregates. *Soil Use and Management*, 36(1), 139–152. <https://doi.org/10.1111/sum.12536> [in English].

Hanhur, V. V., Len, O. I., & Hanhur, N. V. (2021). Effect of minimizing soil tillage on moisture supply and spring barley productivity in the zone of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 128–134. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.15> [in English].

Hanhur, V. V., Kosminskyi, O. O., & Mishchenko, O. V. (2021). Influence of mineral fertilizers on the content of nutrients in the soil and the yield of sunflower hybrids of different maturity groups. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 116–121. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.13> [in English].

Hanhur, V. V., & Kotliar, Y. O. (2021). Influence of predecessors on water consumption and productivity of winter wheat in the zone of the left-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 122–127. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.14> [in English].

He, Y., Manful, D., Warren, R., Forstehäusler, N., Osborn, T. J., Price, J., Jenkins, R., Wallace, C., & Yamazaki, D. (2022). Quantification of impacts between 1.5 and 4 C of global warming on flooding risks in six countries. *Climatic Change*, 170(1–2), 15. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03289-5> [in English].

Kuts, O., Dukhin, Y., Rudym, Y., Yarokhno, N., Shapko, M., Korsun, S., Bilivets, I., & Voloshchuk, N. (2022). Effect of mycohelpbiofungicide on sowing qualities of vegetable plant seeds. *Vegetable and Melon Growing*, (71), 67–75. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-71-67-75> [in English].

Kuts, O., Yakovchenko, A., Semenenko, S., Semenenko, I., Yakovchenko, O., Kokoyko, V., Hulyak, N., & Suchkova, V. (2022). Investigation of allelopathic influence on sweet potato plants of main weeds and agricultural plants. *Vegetable and Melon Growing*, (71), 49–58. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-71-49-58> [in English].

Kuts, O., Kokoiko, V., Paramonova, T., Mykhailyn, V., & Syromiatnykov, Y. (2022). Influence of the fertiliser system on the soil nutrient regime and onion productivity. *Plant & Soil Science*, 13(4), 16–26. [https://doi.org/10.31548/agr.13\(4\).2022.17-26](https://doi.org/10.31548/agr.13(4).2022.17-26) [in English].

Kong, D., Liu, N., Wang, W., Akhtar, K., Li, N., Ren, G., Feng, Y., & Yang, G. (2019). Soil respiration from fields under three crop rotation treatments and three straw retention treatments. *PLoS One*, 14(9), e0219253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219253> [in English].

Li, J., Wang, Y. K., Guo, Z., Li, J. B., Tian, C., Hua, D. W., Shi, C. D., Wang, H. Y., Han, J. C., & Xu, Y. (2020). Effects of conservation tillage on soil physicochemical properties and crop yield in an arid Loess Plateau, China. *Scientific Reports*, 10(1), 4716. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61650-7> [in English].

Luetzenburg, G., Bittner, M. J., Calsamiglia, A., Renschler, C. S., Estrany, J., & Poepl, R. (2020). Climate and land use change effects on soil erosion in two small agricultural catchment systems Fugnitz–Austria, Can Revull–Spain. *Science of the Total Environment*, 704, 135389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135389> [in English].

Li, H., Zhang, Y., Sun, Y., Liu, P., Zhang, Q., Wang, X., Wang, R., & Li, J. (2023). Long-term effects of optimized fertilization, tillage and crop rotation on soil fertility, crop yield and economic profit on the Loess Plateau. *European Journal of Agronomy*, 143, 126731. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126731> [in English].

Mahalik, M. K., Mallick, H., & Padhan, H. (2021). Do educational levels influence the environmental quality? The role of renewable and non-renewable energy demand in selected BRICS countries with a new policy perspective. *Renewable Energy*, 164, 419–432. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.090> [in English].

Martinez-Mena, M., Carrillo-López, E., Boix-Fayos, C., Almagro, M., Franco, N. G., Diaz-Pereira, E., Montoya, I., & De Vente, J. (2020). Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. *Catena*, 187, 104352. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104352> [in English].

Mamatov, F.M., & Karimov, A.A. (2023). Potato digger with latticed plowshares and oscillating rods. *In E3S Web of Conferences*, 401, 04029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340104029> [in English].

Oyetunji, O., Bolan, N., & Hancock, G. (2022). A comprehensive review on enhancing nutrient use efficiency and productivity of broadacre (arable) crops with the combined utilization of compost and fertilizers. *Journal of environmental management*, 317, 115395. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115395> [in English].

- Polyakov, V. I., Karpuk, L. M., Prymak, I. D., Pavlichenko, A. A., Karaulna, V. M., Yezerkovksa, L. V., Kulyk, R. M., & Shokh, S. S. (2021). Influence of seeding density and fertilizing on water consumption, growth and development of maize hybrids. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 32–37. https://doi.org/10.15421/2020_305 [in English].
- Pashchenko, V. F., & Syromyatnikov, Y. N. (2019). The transporting ability of the rotor of the soil-cultivating loosening and separating vehicle. *Tractors And Agricultural Machinery*, 86(2), 67–74. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-2-67-74> [in English].
- Reicosky, D. (2020). Conservation agriculture systems: Soil health and landscape management. *In Advances in Conservation Agriculture*, 87–154 [in English].
- Richard, B., Qi, A., & Fitt, B. D. (2022). Control of crop diseases through Integrated Crop Management to deliver climate-smart farming systems for low- and high-input crop production. *Plant Pathology*, 71(1), 187–206. <https://doi.org/10.1111/ppa.13493> [in English].
- Spinoni, J., Barbosa, P., Cherlet, M., Forzieri, G., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J. V., & Dosio, A. (2021). How will the progressive global increase of arid areas affect population and land-use in the 21st century?. *Global and Planetary Change*, 205, 103597. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103597> [in English].
- Smirnov, M., Smirnov, P., Alexeev, E., Maksimov, I., Kazakov, Y., & Prokopeva, E. (2019). Influence of soil-protective technologies on the characteristics of the soils of hop plants. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 346 (1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/346/1/012018> [in English].
- Singh, R. J., Deshwal, J. S., Sharma, N. K., Ghosh, B. N., & Bhattacharyya, R. (2019). Effects of conservation tillage based agro-geo-textiles on resource conservation in sloping croplands of Indian Himalayan Region. *Soil and Tillage Research*, 191, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.012> [in English].
- Syromyatnikov, Y. N. (2021). Substantiation of the parameters of a soil tillage machine ripper. *Engineering Technologies and Systems*, 31(2), 257–273. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202102.257-273> [in English].
- Syromyatnikov, Y. N., & Khramov, N. S. (2021). The process of trimming and raising the soil by the working bodies of the soil treatment and separation installation. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 1(33), 86–96. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2020-2-10> [in English].
- Syromyatnikov, Y. N. (2017). Ways to Reduce the Specific Pressure of Wheeled Thrusters on the Soil. *Agriculture*, (4), 95–103. <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2017.4.26797> [in English].
- Yu, C., Moslehpour, M., Tran, T. K., Trung, L. M., Ou, J. P., & Tien, N. H. (2023). Impact of non-renewable energy and natural resources on economic recovery: Empirical evidence from selected developing economies. *Resources Policy*, 80, 103221. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103221> [in English].
- Zhou, Z., Shi, H., Fu, Q., Li, T., Gan, T. Y., & Liu, S. (2020). Assessing spatiotemporal characteristics of drought and its effects on climate-induced yield of maize in Northeast China. *Journal of Hydrology*, 588, 125097. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125097> [in English].
- Zhang, T., Xiong, W., Sapkota, T. B., Jat, M. L., Montes, C., Krupnik, T. J., Jat, R. K., Karki, S., Nayak, H., Faisal, A. A., & Jat, H. S. (2022). The optimization of conservation agriculture practices requires attention to location-specific performance: evidence from large scale gridded simulations across South Asia. *Field Crops Research*, 282, 108508. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108508> [in English].

Отримано: 29.05.2023
Прийнято: 12.06.2023



ЕКОЛОГІЯ

УДК 504

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.15>

САНІТАРНО-ЗАХИСНА ЗОНА ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ БАГАТОПОВЕРХОВОЇ ЗАБУДОВИ

В. Є. Бекетов¹, Ю. А. Коваленко²

Роботу присвячено аналізу питань, пов'язаних із визначенням санітарно-захисної зони підприємства – джерела забруднення атмосфери, розташованого на території м. Харків. Метою дослідження є визначення розмірів санітарно-захисної зони в умовах багатоповерхової забудови для підприємства комунального хазяйства – котельні по вул. Артема Веделя, 4 (КП «ХТМ») у м. Харків. Для досягнення мети поставлено такі завдання: оцінити забруднення атмосферного повітря прилеглої території шляхом розрахунку приземних концентрацій, виконати розрахунки розсіювання забруднюючих речовин на різних висотах з урахуванням поверховості забудови житлової зони, визначити розміри санітарно-захисної зони підприємства для житлової зони різної поверховості забудови.

Котельня була збудована в 1969 р. і вважається найпотужнішою серед котелень у м. Харків, знаходиться у східній частині міста. Територія котельні має форму багатогранника і межує з південного заходу зі школою-інтернатом (відстань від найближчого джерела викидів – 80 м), із заходу – із будинками приватного сектору (відстань від найближчого джерела викидів – 60 м).

У інших напрямках до меж котельної примикають ділянки нежитлової зони.

За результатами розрахунків концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі від викидів котельної визначено, що якість атмосферного повітря відповідає санітарним нормам. Санітарно-захисна зона встановлена у межах території підприємства. Розрахунки розсіювання забруднюючих речовин на різних висотах прилеглої території показують необхідність коригування встановленої санітарно-захисної зони з урахуванням поверховості житлової забудови прилеглої території.

Ключові слова: санітарно-захисна зона, забруднення атмосфери, розрахунок забруднення атмосфери.

¹ кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної екології міст
(Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків)
e-mail: wlbek17@gmail.com
ORCID: 0009-0000-9453-6137

² кандидат технічних наук,
доцент кафедри інженерної екології міст
(Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків)
e-mail: kovalenkoy55@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2491-2309

SANITARY AND PROTECTIVE ZONE OF THE ENTERPRISE IN THE CONDITIONS OF A HIGH-STORY BUILDING

V. Ye. Biekietov, Yu. L. Kovalenko

The paper is devoted to the analysis of issues related to the determination of the sanitary protection zone of an enterprise - a source of air pollution located in the city of Kharkiv. The purpose of the study is to determine the size of the sanitary protection zone in the conditions of multi-storey buildings for a municipal utility enterprise – a boiler house at 4 Artema Vedel Street (KP «KhTM») in Kharkiv. To achieve this goal, the following tasks were set: to assess the air pollution of the adjacent territory by calculating ground concentrations, to perform calculations of the dispersion of pollutants at different heights, taking into account the number of storeys of the residential area, to determine the size of the sanitary protection zone of the enterprise for the residential area of different

The boiler house was built in 1969 and is considered the most powerful among the boiler houses in Kharkiv, located in the eastern part of the city. The territory of the boiler house has a polyhedron shape and is bordered by a boarding school to the southwest (distance from the nearest emission source is 80 m), and by private sector houses to the west (distance from the nearest emission source is 60 m). In other directions, non-residential areas are adjacent to the boiler house boundaries.

Based on the results of calculations of the concentration of pollutants in the surface layer from the boiler house emissions, it was determined that the quality of the air meets sanitary standards. The sanitary protection zone is established within the territory of the enterprise. Calculations of pollutant dispersion at different heights of the adjacent territory

Key words: sanitary protection zone, atmospheric pollution, calculation of atmospheric pollution.

Вступ

Санітарно-захисна зона – спеціальна територія з особливим режимом використання, яка встановлюється навколо об'єктів, що є джерелами шкідливої дії на місця існування й здоров'я людини. Вона створюється з метою мінімізації негативного впливу, яке проявляється в утворенні забруднювачів, що надходять у навколишнє середовище в процесі діяльності підприємств. Під забрудненнями, які надходять в атмосферу, мають на увазі: ультразвукові хвилі й електромагнітні поля, гарячі гази; інтенсивні запахи, токсичні випари, шум, радіацію, бруд, пил тощо. Значення несприятливих виробничих чинників на межі санітарно-захисної зони не повинно перевищувати гігієнічних нормативів, установлених для населених місць. Розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ) залежать від технологічних процесів, потужності виробництва, кліматичних чинників, ефективності газоочисного обладнання й інших чинників.

Політика України в галузі забезпечення безпеки базується на національних законах і нормативних документах, спрямованих на захист здоров'я і життя людей, охорону навколишнього середовища, зокрема це закон України «Про охорону атмосферного повітря» та Накази Міністерства охорони здоров'я України: Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 01.10.2023 р. (Закон..., 2023), Наказ Міністерства охорони

здоров'я України «Гігієнічні регламенти орієнтовно безпечних рівнів впливу хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» від 08.10.2021 р. (Наказ ..., 2021), Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)» від 07.08.2014 р. (Наказ ..., 2014), Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» від 07.03.2019 р. (Наказ ..., 2019).

Згідно з нормативними актами санітарного законодавства України, розроблення проекту обґрунтування орієнтовною (попередньою) СЗЗ є обов'язковою умовою для всіх об'єктів, що проєктуються, будуються, реконструюються, та діючих об'єктів, що є джерелами впливу на довкілля й здоров'я людини. При цьому, згідно з Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» від 07.03.2019 р., надійність орієнтовного розміру СЗЗ об'єктів, розробленого на підставі розрахункових методів, повинна підтверджуватися результатами спостережень із метою обґрунтування кордонів остаточної (встановленої) СЗЗ.

Одним з основних чинників негативного впливу на довкілля є забруднення атмос-

ферного повітря викидами підприємств. Межі санітарно-захисної зони у цьому разі визначаються з урахуванням концентрацій забруднюючих речовин в атмосфері приземного шару. Проте під час установаження санітарно-захисної зони підприємств, які розташовуються в межі міста з багатопверховою забудовою і межують із житловою зоною, актуальним є визначення концентрації забруднювачів не лише в приземному шарі, а й по вертикалі з урахуванням висоти житлових будівель.

Метою статті є дослідження умов формування меж розрахункової санітарно-захисної зони на різних висотах від джерел викидів в атмосферу котельні по вул. Артема Веделя, 4 (КП «ХТМ») у м. Харків.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- виконати оцінку забруднення атмосферного повітря для умов визначення існуючої санітарно-захисної зони;
- виконати розрахунки розсіювання забруднюючих речовин на різних висотах з урахуванням поверховості забудови житлової зони;
- визначити розміри санітарно-захисної зони підприємства для житлової зони різної поверховості забудови.

Матеріал і методи

Початковий матеріал для дослідження – «Звіт з інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферу», проведеної для досліджуваної котельні. Котельня була збудована в 1969 р. і вважається найпотужнішою серед котельнь м. Харків, розташована у східній частині міста. Територія котельні має форму багатогранника й межує з такими об'єктами і територіями:

- із півночі – транспортна філія КП «ХТМ»;
- із північного сходу – склади, землі Харківського технічного центру «Берізка»;
- зі сходу – СТО ВО «Комунар»;
- із південного сходу – хлібокомбінат «Слобожанський»;
- із півдня – КП «ВТП «Вода»;
- із південного заходу – школа-інтернат № 14 (відстань від найближчого джерела викидів становить 80 м);
- із заходу – вул. Артема Веделя, за якою знаходяться будинки приватного сектору.

Найближчий житловий будинок розташований на заході у 60 м від найближчого джерела викидів.

Котельня по вул. Артема Веделя, 4 обладнана шістьма водогрійними котлами ПТВМ-100 (номінальна потужність кожного – 106

МВт) і одним водогрійним котлом ПТВМ-180 (номінальна потужність – 209 МВт) й здійснює виробництво теплоносія для потреб населення (опалення та гаряче водопостачання). П'ять котлів ПТВМ-100 природним шляхом виділяють в атмосферне повітря продукти згорання природного газу через п'ять труб заввишки 53 м. Викиди від шостого котла ПТВМ-100 і котла ПТВМ-180 здійснюються через загальну трубу заввишки 150 м.

Основні забруднюючі речовини, які утворюються під час спалювання природного газу – оксиди азоту й вуглецю, їх сумарний річний викид становить понад 413 т.

Сьогодні існують різні моделі поширення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі: моделі Гаусова факела, моделі Лагранжової хмари, модель дифузійних частинок Лагранжа та ін. (Бондаренко, 2009; Воробець і Скрипський, 2013; Татарченко, 2022).

Модель Гаусова факела є одним із найпоширеніших нині методів моделювання процесів забруднення атмосферного повітря. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств ОНД 86, базується на модифікованій моделі Гаусова факела та має статус затвердженої законом методики в Україні.

Розрахунки розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері виконані за програмою «Eol2000h» (Сайт ...), яка дає змогу кількісно оцінити вплив викидів забруднюючих речовин від підприємств на забруднення приземного шару атмосфери і на різній висоті. Розрахункові модулі програми реалізують методику ОНД 86. Згідно із цією методикою, рівень забруднення атмосферного повітря характеризується найбільшим розрахованим значенням концентрації, відповідним несприятливим метеорологічним умовам, у тому числі небезпечній швидкості вітру. Розрахунками визначаються разові концентрації, що відносяться до 20÷30 хвилинного інтервалу усереднювання.

У розрахунках забруднення прилеглої території викидами забруднюючих речовин котельні враховувалася одночасність роботи джерел викидів. У роботі задіяно чотири джерела з шести.

Результати та обговорення

На початковому етапі досліджень була виконана оцінка впливу викидів забруднюючих речовин від котельні на якість атмосферного повітря прилеглої території. Радіус

зони впливу підприємства відповідно до чинних нормативно-методичних документів визначається максимальною відстанню до ізоліній 0,05 ГДК. Розрахунки показали, що ізолінія 0,05 ГДК визначається за двоокисом азоту, радіус зони впливу підприємства становить 9 500 м (рис. 1). Контрольні точки під час оцінки забруднення атмосферного повітря були вибрані в найближчій житловій забудові навколо котельні. Карта-схема території котельної, схема розташування контрольних точок показана на рис. 2.

Координати точок, назву об'єктів, поверховість забудови представлено в табл. 1.

Результати розрахунку приземних концентрацій забруднюючих речовин показали, що основним забруднювачем є двоокис азоту, найбільші концентрації ($0,6752 \div 0,6854$ ГДК) розташовані в радіусі 400–500 м (табл. 2). Розрахункові концентрації двоокису азоту в контрольних точках житлової забудови не перевищують 1 ГДК, максимальне значення дорівнює 0,8475 ГДК (табл. 3). Замкнуті ізолінії при-

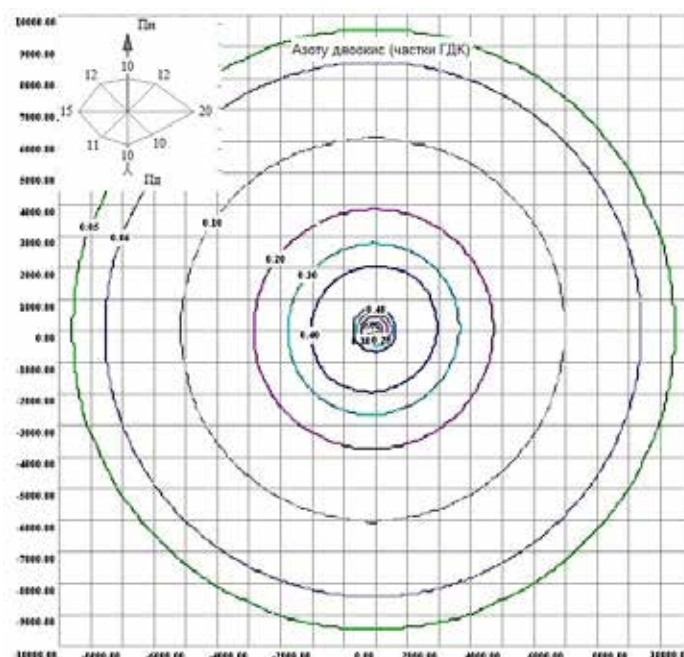


Рис. 1. Радіус зони впливу (0,05 ГДК) котельні

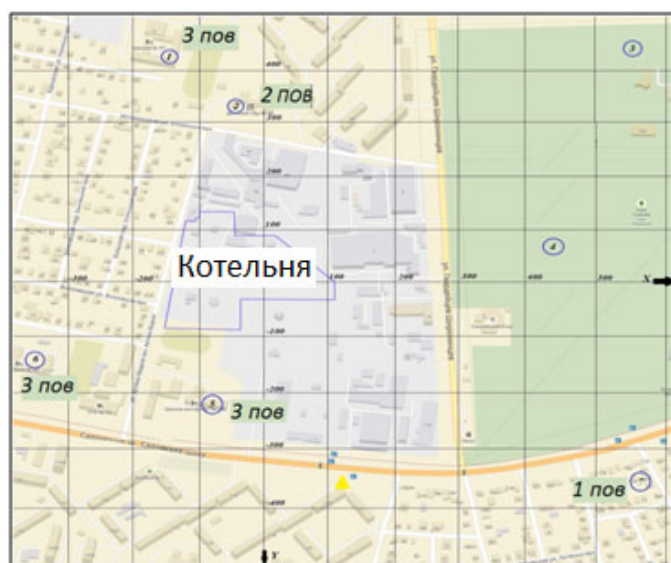


Рис. 2. Схема розташування контрольних точок навкруги котельні

Таблиця 1

Поверховість будов і координати контрольних точок

Порядковий номер точки	Назва об'єкта	Координати	
		X	Y
1	Загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів № 97 (3 поверхи)	-140	420
2	Ясла-садок № 39 (2 поверхи)	-45	330
3	Точка 1 в парку культури і відпочинку «Перемога»	550	445
4	Точка 2 в парку культури і відпочинку «Перемога»	440	70
5	Харківська загальноосвітня школа-інтернат І-ІІІ ступенів № 14 (3 поверхи)	-90	-215
6	Харківська гімназія № 43 (3 поверхи)	-345	-150
7	Житловий будинок: Салтівське шосе буд. № 174 (1 поверх)	565	-355

Таблиця 2

Точки найбільших приземних концентрацій

Координати		Концентрації у точці, частки ГДК	
X	Y	CO	NO ₂
500	400	0,0078	0,6854
400	500	0,0078	0,6843
500	500	0,0077	0,6799
-500	-400	0,0077	0,6753
400	400	0,0077	0,6752

Таблиця 3

Розрахункові приземні концентрації в контрольних точках

Номер точки	Координати розрахункової точки, м		Концентрація, частки ГДК	
	X	Y	NO ₂	CO
1	-140	420	0,5580	0,0063
2	-45	330	0,4134	0,0047
3	550	445	0,8475	0,0096
4	440	70	0,6503	0,0074
5	-90	-215	0,2698	0,0031
6	-345	-150	0,4391	0,0050
7	565	-355	0,5999	0,0068

земних концентрацій NO₂ і CO відповідають максимальним значенням 0,64 ГДК (рис. 3) і 0,01 ГДК (рис. 4) відповідно.

За результатами розрахунків виходить, що якість атмосферного повітря у зоні розташування котельні відповідає санітарним нормам. Відсутність ізоляції в 1 ГДК не дає змоги визначити санітарно-захисну зону розрахунковим способом, тому для котельні СЗЗ устанавлюється по межі території підприємства.

На наступному етапі виконано розрахунки розсіювання викидів на різних висотах. Розрахункові висоти вибрані з урахуванням поверховості забудови на прилеглаї до котельні території і висоти джерел викиду. Точки найбільших концентрацій на різних висотах представлено в табл. 4.

Із таблиці видно, що починаючи з висоти 15 м найбільші концентрації NO₂ перевищу-

ють рівень в 1 ГДК. Максимуми найбільших концентрацій відповідають висотам джерел викидів: 53 м і 150 м.

У контрольних точках № 2, № 4 (паркова зона) і № 5 (двоповерхова забудова) з висоти 15 м концентрації лише двоокису азоту перевищують значення 1 ГДК. У точці № 6 (триповерхова забудова) перевищення значення 1 ГДК починається з 30 м, у точці № 1 (триповерхова забудова) – із 40 м (табл. 5 та 6; у табл. 5 ці точки виділено жирним шрифтом).

Розрахунки показують, що починаючи з висоти 15 м на картах розсіювання двоокису азоту є присутньою ізоляція рівня 1 ГДК, і з'являється необхідність визначення розрахункової санітарно-захисної зони (рис. 5). При цьому розміри санітарно-захисної зони котельні виходять за межі території підприємства.

Коригування розрахункової СЗЗ з урахуванням рози вітрів збільшує розміри зони

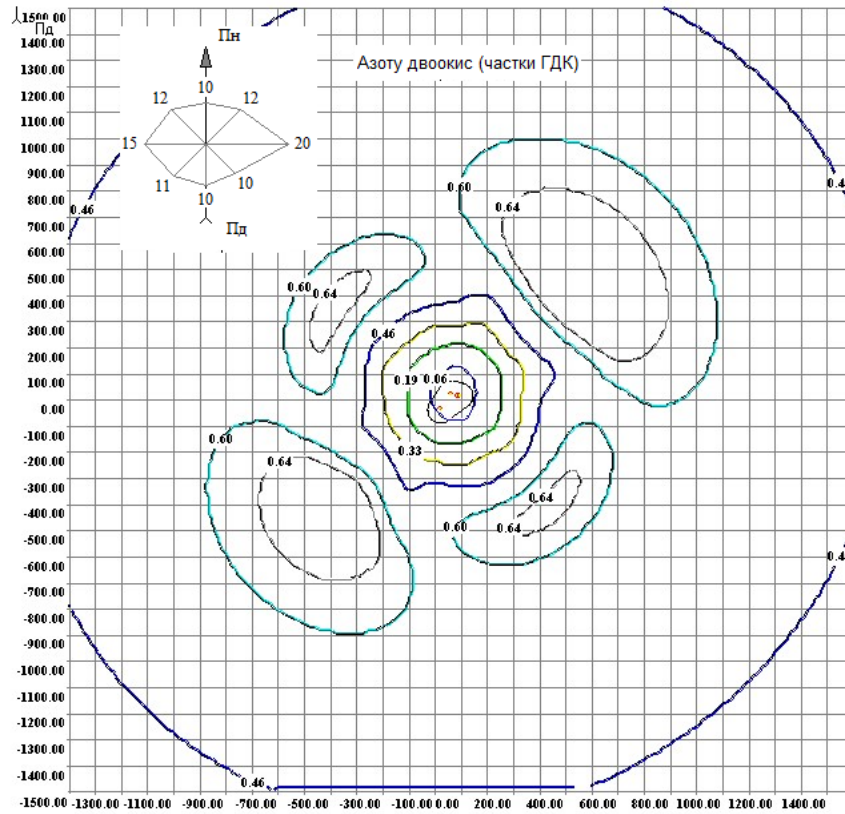


Рис. 3. Ізолінії приземної концентрації NO_2

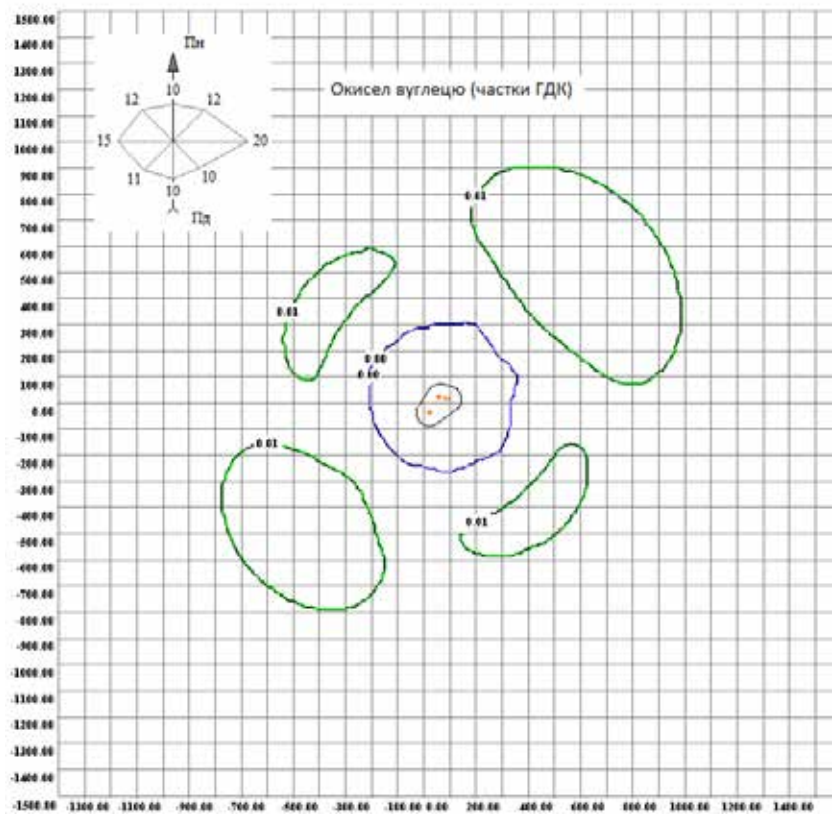


Рис. 4. Ізолінії приземної концентрації CO

Таблиця 4

Точки найбільших концентрацій забруднюючих речовин на різних висотах

X	y	Координати розрахункової точки, м									
		Z									
		0	6	9	15	30	36	40	50	75	150
Концентрація NO ₂ (CO), частки ГДК											
500	400	0,6854 (0,0078)									
300	-100		0,8702 (0,0099)								
300	0			0,9850 (0,0112)							
200	200				1,1815 (0,0134)						
200	0					1,6893 (0,0192)					
200	0						2,0128 (0,0229)				
200	0							2,3728 (0,0270)			
100	0								5,9868 (0,0681)		
100	0									4,8936 (0,0557)	
-100	0										7,6354 (0,0868)

Таблиця 5

Розрахункові концентрації азоту двоокису в контрольних точках

Номер точки	Координати розрахункової точки, м									
	X	y	Z							
			0	6	9	15	30	40	50	75
Концентрація NO ₂ , частки ГДК										
1	-140	420	0,5580	0,8231	0,8924	0,9889	0,2033	1,2989	1,3784	1,3590
2	-45	330	0,4134	0,8322	0,9503	1,1292	1,5052	1,7813	2,0250	2,1597
3	550	445	0,8475	0,8759	0,8862	0,9026	0,9312	0,9460	0,9591	0,9888
4	440	70	0,6503	0,8707	0,9315	1,0170	1,1488	1,0728	1,1234	1,3178
5	-90	-215	0,2698	0,6831	0,8088	1,0155	1,4919	1,8279	2,3272	2,5661
6	-345	-150	0,4391	0,7493	0,8334	0,9550	1,1603	1,1974	1,3042	1,6723
7	565	-355	0,5999	0,6109	0,6150	0,6215	0,6332	0,6395	0,6453	0,6593

Таблиця 6

Розрахункові концентрації окису вуглецю в контрольних точках

Номер точки	Координати розрахункової точки, м									
	X	y	Z							
			0	6	9	15	30	40	50	75
Концентрація CO, частки ГДК										
1	-140	420	0,0063	0,0094	0,0101	0,0112	0,0137	0,0148	0,0157	0,0155
2	-45	330	0,0047	0,0010	0,0108	0,0128	0,0171	0,0203	0,0230	0,0246
3	550	445	0,0096	0,0100	0,0101	0,0103	0,0106	0,0108	0,0109	0,0112
4	440	70	0,0074	0,0099	0,0106	0,0116	0,0131	0,0122	0,0128	0,0150
5	-90	-215	0,0031	0,0078	0,0092	0,0115	0,0170	0,0208	0,0265	0,0292
6	-345	-150	0,0050	0,0085	0,0095	0,0109	0,0132	0,0136	0,0148	0,0190
7	565	-355	0,0068	0,0069	0,0070	0,0071	0,0072	0,0073	0,0073	0,0075

в напрямі «схід – захід» на 150 м, тому що в районі розміщення котельної переважають вітри східного і західного напрямків (рис. 6).

Розрахунки показують, що санітарно-захисна зона котельні має різні розміри, які

залежать від висоти розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. Контури СЗЗ на різних висотах представлено на рис. 7.

Розрахунки показують, що мінімальні розміри розрахункової СЗЗ характерні

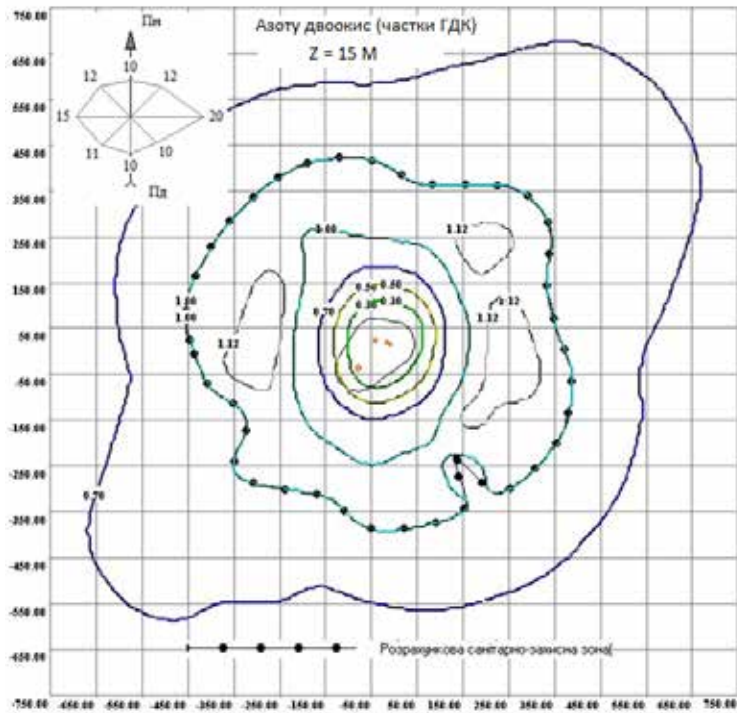


Рис. 5. Розрахована санітарно-захисна зона

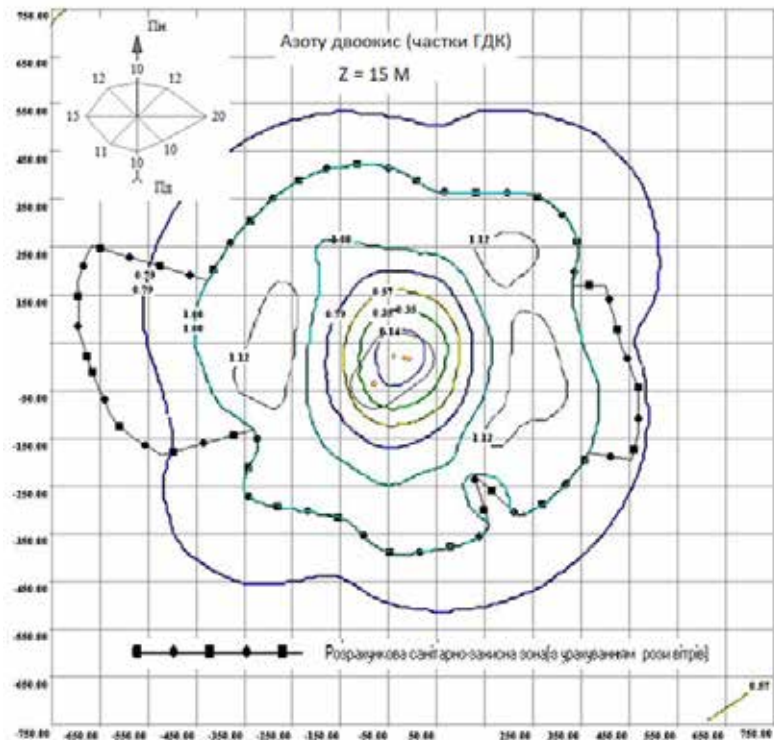


Рис. 6. Розрахована скоригована санітарно-захисна зона

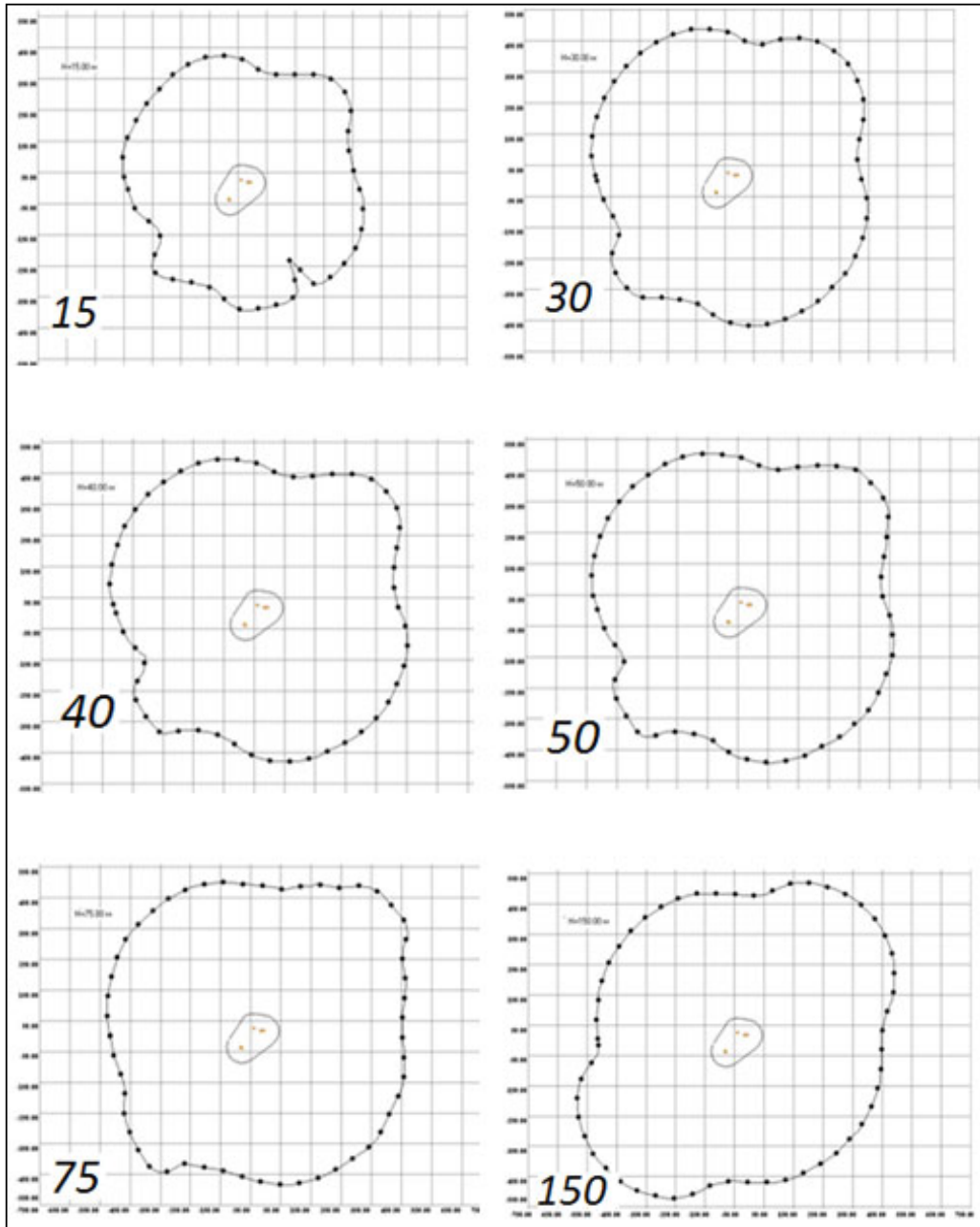


Рис. 7. Контури розрахункової санітарно-захисної зони на різних висотах розрахунку (15÷150 м)

для висоті 15 м, максимальні – на висоті 75 і 150 м. З урахуванням максимальної висоти житлових будинків у 16 поверхів для досліджуваної котельної слід прийняти СЗЗ за розрахунками на висоті в 48 м. Скорегована СЗЗ на висоті 48 м з урахуванням поправки на розу вітрів представлена на рис. 8. Роза вітрів збільшує СЗЗ у напрямку «схід – захід» на 400 м (300 м на захід і 100 м на схід).

Відповідно до сучасних вимог нормативних документів, відстань від підпри-

ємства до житлової зони населених місць визначається нормативною СЗЗ, межі якої мають бути підтвержені розрахунками приземних концентрацій забруднюючих речовин і натурними дослідженнями. Проте, як показали розрахунки, потрібне визначення розрахункової концентрації не лише в приземному шарі, а й по вертикалі з урахуванням висоти житлових будівель у зоні максимального забруднення атмосферного повітря. Розрахунки концентрацій по вертикалі особливо акту-

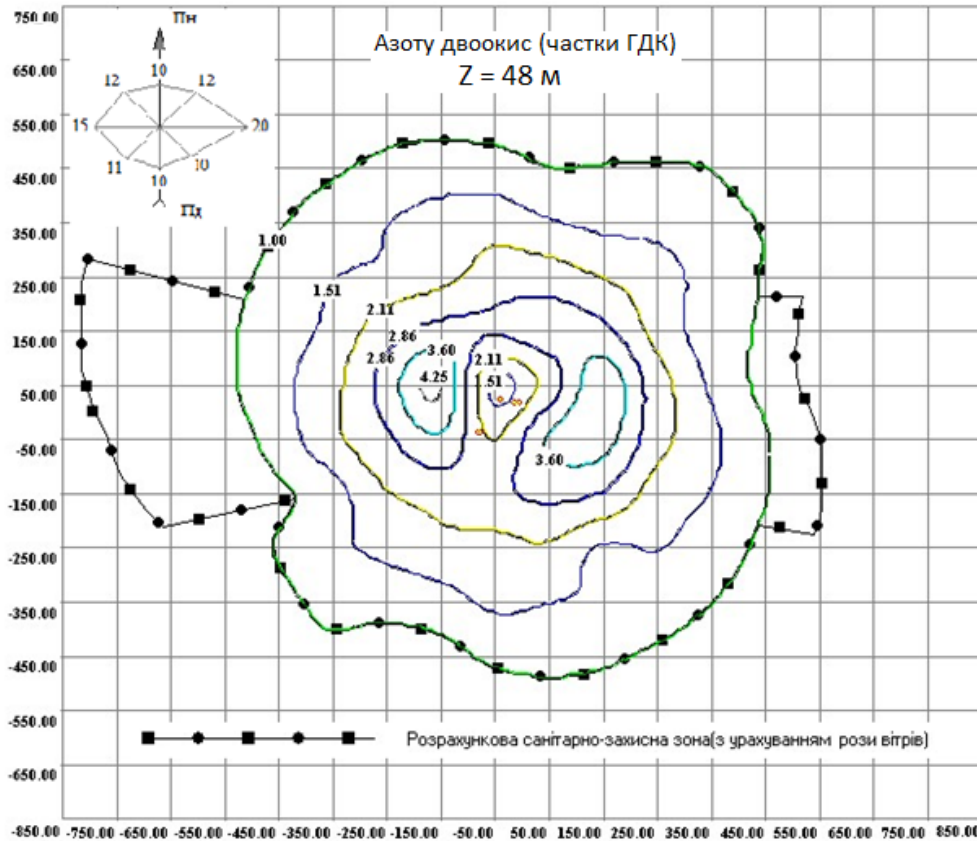


Рис. 8. Скоригована санітарно-захисна зона (розрахункова висота – 48 м)

альні для міських котельень, які розташовуються у житловій зоні з багатоповерховою жилою забудовою.

Висновки

Показано, що сучасний стан забруднення атмосферного повітря прилеглої території викидами найпотужнішої котельної м. Харків відповідає санітарним нормам.

Визначено розрахункові та скориговані з урахуванням рози вітрів санітарно-за-

хисні зони котельні для багатоповерхової забудови різної поверховості.

Показано необхідність під час установлення санітарно-захисної зони підприємства розрахункову і скоректовану санітарно-захисну зони визначати за результатами розрахунків розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі з обов'язковим урахуванням забруднення атмосферного повітря по висоті (поверховості) прилеглої житлової забудови.

Список використаної літератури

Бондаренко М. Г. Вибір методу та засобу моделювання для оцінки забруднення ґрунту атмосферними викидами теплової електростанції. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2009. № 17. С. 67–73.

Воробець Г. І., Скрипський М. І. Метод розсіювання Гауса і хмарні обчислення для 3D-аналізу стану атмосфери. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2013. № 6(12(66)). С. 18–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19701>.

Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 01.10.2023 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (дата звернення: 10.03.2023).

Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Гігієнічні регламенти орієнтовно безпечних рівнів впливу хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» від 08.10.2021 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0157-20> (дата звернення: 10.03.2023).

Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)» від

07.08.2014 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97> (дата звернення: 10.03.2023).

Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» від 07.03.2019 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96> (дата звернення: 10.03.2023).

Сайт товариства з обмеженою відповідальністю «Софт фонд». [Електронний ресурс]. URL: <http://www.sfund.kiev.ua/ukr/products/ecology.htm#eol%202000h>. (дата звернення: 10.03.2023).

Татарченко Г. О. Теоретичні аспекти моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. № 79. С. 381–395. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.381-395>.

References (translated & transliterated)

Bondarenko, M. G. (2009). Vybir metodu ta zasobu modelyuvannya dlya otsinky zabrudnennya gruntu atmosfernymy vykydamy teplovoyi elektrostantsiyi [Choice of method and means of modeling for assessment of soil pollution by atmospheric emissions of a thermal power plant]. *Zbirnyk naukovykh prats' Instytutu heokhimiiji navkolysn'oho seredovyscha* [Collection of scientific works of the Institute of Environmental Geochemistry], 17, 67–73 [in Ukrainian].

Vorobets, H. I., & Skrypskyi, M. I. (2013). Metod rozsiyuvannya Hausa i khmarni obchyslennya dlya 3D analizu stanu atmosfery [Gaussian scattering method and cloud computing for 3D analysis of the state of the atmosphere]. *Skhidno-yevropeys'kyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 6(12(66)), 18–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.19701> [in Ukrainian].

Zakon Ukrainy «Pro okhoronu atmosfernoho povitrya» vid 01.10.2023 roku [Law of Ukraine «On Protection of Atmospheric Air» from October 01 2023]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> (access date 10.03.2023) [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy «Hihiyenichni rehlyamenty oriyentovno bezpechnykh rivniv vplyvu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosfernomu povitri naselenykh mist'» vid 08.10.2021 roku [Order of the Ministry of Health of Ukraine «Hygienic regulations of approximately safe levels of exposure to chemical and biological substances in the atmospheric air of populated areas» from October 08 2021]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0157-20> (access date 10.03.2023) [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy «Derzhavni sanitarni pravyla okhorony atmosfernoho povitrya naselenykh mist' (vid zabrudnennya khimichnymy ta biolohichnymy rehovynamy)» vid 07.08.2014 roku [Order of the Ministry of Health of Ukraine «State sanitary rules for the protection of atmospheric air in populated areas (from pollution by chemical and biological substances)» from August 7 2014]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97> (access date 10.03.2023) [in Ukrainian].

Nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy «Pro zatverdzhennya Derzhavnykh sanitarnykh pravyl planuvannya ta zabudovy naselenykh punktiv» vid 07.03.2019 roku [Order of the Ministry of Health of Ukraine «On Approval of State Sanitary Rules for Planning and Development of Settlements» from March 07 2019]. [Electronic resource] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96> (access date 10.03.2023) [in Ukrainian].

Sayt tovarystva z obmezhenoyu vidpovidal'nistyuu «Soft fond» [Website of the limited liability company «Soft Fund»]. [Electronic resource] URL: <http://www.sfund.kiev.ua/ukr/products/ecology.htm#eol%202000h> (access date 10.03.2023) [in Ukrainian].

Tatarchenko, G. O. (2022). Teoretychni aspekty modelyuvannya rozsiyuvannya zabrudnyuyuchykh rehovyn v atmosferi [Theoretical aspects of modeling the dispersion of pollutants in the atmosphere]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya* [Town planning and territorial planning], 79, 381–395. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.79.381-395> [in Ukrainian].

Отримано: 02.05.2023
Прийнято: 17.05.2023



УДК 574:582.091

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.16>

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ РАРИТЕТНОГО СКЛАДНИКА ФЛОРИ ПОЛІССЯ У ЗВ'ЯЗКУ З ВІЙСЬКОВИМИ ДІЯМИ

Т. В. Маруха¹, Г. Ф. Аркушина², Є. М. Кривохижа³

Статтю присвячено актуальним проблемам збереження рідкісних та зникаючих видів рослинності Полісся. Висвітлено основні причини зникнення деяких рослинних видів у цьому регіоні, а також наведено рекомендації щодо їх збереження. Автори розглядають вплив екологічних, економічних та соціальних чинників на рідкісну флору Українського Полісся та наголошують на важливості комплексного підходу до збереження цінної рослинності. У дослідженні розглянуто основні характеристики раритетної флори Українського Полісся та її зв'язок із військовими діями. Акцентовано важливість збереження біорізноманіття в умовах антропогенного впливу і військових дій. Підкреслено необхідність співпраці науковців, урядових структур та громадськості для відновлення і збереження лісових ресурсів Українського Полісся. Наукова новизна: дослідження розкриває, як військові дії впливають на рідкісні види рослин в Українському Поліссі, що є новизною у контексті екологічних наук. Подано новаторський підхід до створення та планування екологічних коридорів для збереження флори Полісся, що враховує специфіку лісових фітоценозів регіону. Порушення проблеми антропогенного впливу і військових дій на біорізноманіття є актуальним нововведенням у контексті сучасних екологічних досліджень. Ці аспекти роблять дослідження унікальним та підкреслюють його важливий внесок у наукову галузь екології та лісівництва, зокрема в контексті Українського Полісся. Узагальнення та аналіз накопиченого досвіду збереження раритетного складника флори на різних рівнях значущості дають змогу провести деякі узагальнення та селекцію методичних підходів для виокремлення пріоритетних об'єктів, критеріїв, режимів їх охорони відповідно до вимог екологічної мережі. У статті наведено деякі результати, що відображають досвід застосування адаптованої методології у практиці

¹ аспірантка кафедри екології та ботаніки
(Сумський національний аграрний університет, м. Суми)
e-mail: tanyanikitina5555@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5913-6664

² кандидат біологічних наук,
доцент кафедри природничих наук і методик їхнього навчання
(Центральноукраїнський державний університет імені Володимира Винниченка,
м. Кропивницький)
e-mail: arkushina2@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5261-7315

³ доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,
професор кафедри агробіотехнологій
(Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль)
e-mail: ye.kryvokhyzha@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7270-6529

виділення екологічних та біологічних заходів відновлення екологічної мережі Українського Полісся після закінчення військових дій. Сформований інтегральний підхід до вивчення природних територіальних систем, а також узгоджені дії щодо раціонального використання, захисту та відновлення природних ресурсів призведуть до позитивних результатів та гарантують сталий розвиток унікального Полісся.

Ключові слова: раритетна флора, рідкісні види рослин, лісові фітоценози, Полісся, біорізноманіття, військова агресія.

ACTUAL PROBLEMS OF PRESERVING THE RARE FLORA OF POLISSIA IN CONNECTION WITH MILITARY OPERATIONS

T. V. Marucha, H. F. Arkushyna, Ye. M. Kryvokhyzha

The article is devoted to the current problems of preservation of rare and endangered types of vegetation of Polissia. The main reasons for the disappearance of some plant species in this region are highlighted, as well as recommendations for their preservation. The authors consider the impact of ecological, economic and social factors on the rare flora of the Ukrainian Polissia and emphasize the importance of a comprehensive approach to the preservation of valuable vegetation. The study examines the main characteristics of the rare flora of the Ukrainian Polissia and its connection with military operations. The importance of preserving biodiversity in conditions of anthropogenic influence and military operations is emphasized. The need for cooperation between scientists, government structures and the public for the restoration and preservation of forest resources of the Ukrainian Polissia is emphasized. Scientific novelty: the study reveals how military actions affect rare plant species in the Ukrainian Polissia, which is a novelty in the context of environmental sciences. An innovative approach to the creation and planning of ecological corridors for the preservation of the flora of Polissia, which takes into account the specificity of the forest phytocenoses of the region, is presented. Raising the issue of anthropogenic impact and military actions on biodiversity is an actual innovation in the context of modern ecological research. These aspects make the research unique and a contribution to the scientific field of ecology and forestry, particularly in the context of Ukrainian Polissia. Generalization and analysis of the accumulated experience of preservation of rare component flora at different levels of significance allow for some generalization and selection of methodical approaches for selection of priority objects, criteria, modes of their protection in accordance with the requirements of the ecological network. This article presents some results that reflect the experience of applying the adapted methodology in the practice of selecting ecological and biological measures for the restoration of the ecological network of the Ukrainian Polissia after the end of hostilities. The formed integrated approach to the study of natural territorial systems, as well as coordinated actions regarding the rational use, protection and restoration of natural resources will lead to positive results and guarantee the sustainable development of the unique Polissia.

Key words: rare flora, rare species of plants, forest phytocenoses, Polissia, biodiversity, military aggression.

Вступ

Питання збереження біорізноманіття протягом багатьох десятиліть залишаються одними з найважливіших серед глобальних екологічних проблем і є особливо актуальними для території Українського Полісся, урахувавши безпрецедентний техногенний тиск, викликаний військовою агресією проти України. Військові події спричинили потужний вплив на зміну природних комплексів Полісся, що негативно позначилося на стані та подальших процесах розвитку рослинного покриву та флори цієї території. Висока уразливість останньої зумовлена також значною кількістю видів рослин, що ростуть тут на межах ареалів і тому пере-

бувають у напружених екологічних умовах. Актуальність дослідження викликана саме тим, що існує реальна можливість зникнення таких видів навіть за незначного антропогенного впливу, яка зумовлює необхідність їх охорони на державному рівні до закінчення військових дій в Україні. Лише у центральній частині Українського Полісся нині виявлено 88 рідкісних видів судинних рослин, які мають охоронну категорію, а також 80 інших уразливих таксонів, включених до списку видів дикорослих рослин та грибів, які потребують профілактичної охорони. Збереження цих видів у складі флори забезпечується не лише їх включенням до різноманітних «червоних списків», а й прак-

тичними заходами, спрямованими на виявлення та взяття під охорону окремих місць, штучним розмноженням рідкісних рослин та їх репатріацією у природні спільноти та деякими іншими діями.

Аналіз останніх досліджень комплексного підходу до природоохоронної діяльності, теоретичних пропозицій оптимізації екологічно збалансованого розвитку Полісся, представлений у роботах О. Барановської, О. Орлова, О. Шиндера, Є. Воробйова, О. Гриба, І. Хом'яка, доводить доречність і своєчасність подібних розвідок. Еколого-біологічні властивості біорізноманіття мають велике значення для розуміння причин рідкісності та уразливості окремих видів флори, обмеженості їх поширення. Так, Е. Девід, К. Діксон, М. Менц та Б. Суднік-Войціковська зазначають, що життєві форми відображають особливості середовища, наприклад клімату та ґрунтів, через специфіку росту та розвитку рослин у панівних ґрунтово-кліматичних та ценотичних умовах. Розвиток життєвих форм здійснюється в умовах рослинних угруповань. Фітоценотичне значення життєвих форм та необхідності їх охорони в стресових і техногенних умовах висвітлено у працях А. Дзиби, О. Омельчук, С. Садогурської.

Мета дослідження – визначити й обґрунтувати заходи щодо збереження раритетного складника флори Полісся через військові дії на території України. Реалізація на національному рівні скоординованої природоохоронної діяльності щодо збереження раритетного складника флори Поліського регіону має велике значення і для суміжних напрямів: захисту культурно-історичного надбання, охорони здоров'я населення, туризму, транспорту, інвестицій, удосконалення соціально-економічних заходів, етнографії. Завдання наукового пошуку передбачають такі компоненти:

- здійснити системний аналіз комплексу природоохоронних проблем, важливих екологічних аспектів збереження раритетного складника флори Українського Полісся;
- визначити райони Українського Полісся, які найбільше постраждали від військових дій, і дослідити ступінь їхнього впливу на рослинний покрив;
- проаналізувати, які конкретно чинники (фізичні, хімічні, біологічні тощо) найбільше впливають на збереження раритетної флори в умовах війни.
- на основі отриманих даних запропонувати стратегії та заходи щодо захисту та від-

новлення раритетної флори Українського Полісся після військових дій.

Об'єкт дослідження – раритетний складник флори Українського Полісся.

Предмет дослідження – процеси та методи збереження та відновлення раритетної флори в умовах антропогенного навантаження через військову агресію.

Матеріал і методи

Для дослідження був використаний такий вихідний матеріал:

- гербарні зразки – зразки рослин, зібрані з різних районів Полісся, які зберігаються у гербаріях та наукових установах (Львівський національний університет імені І. Франка);
- супутникові зображення для аналізу змін у рослинному покриві, виявлення місць поширення рідкісних видів та визначення загрозливих зон;
- дані польових досліджень: записи спостережень, фотографії, відео та інші матеріали, зібрані під час експедицій на місцевість;
- наукові публікації: статті, монографії, звіти та інші публікації, які раніше були написані з тематики статті;
- соціологічні дані: результати опитувань та інтерв'ю з місцевими жителями, фахівцями та іншими заінтересованими сторонами;
- історичні дані: карти, хроніки, фотографії та інші історичні джерела, які можуть дати інформацію про стан рослинності Полісся у минулому;
- екологічні звіти: дані про стан навколишнього середовища, якість ґрунту, стан водойм та інші екологічні параметри регіону Полісся.

Для дослідження питань збереження рідкісної складової флори Українського Полісся було використано такі методи: 1) метод моніторингу та інвентаризації, згідно з яким відбувається виїзд на місцевість для збору даних про стан рослинності, визначення розподілу рідкісних видів та відстеження змін у популяціях; 2) метод гербарних досліджень, який включає у себе збір, пресування та аналіз рослинних зразків. Порівняння існуючих гербарних колекцій може допомогти у визначенні історичного поширення та поточного стану видів флори Полісся; 3) метод геоінформаційної систематизації, згідно з яким проводиться аналіз просторового розподілу видів із використанням супутникових знімків та створення карток розподілу рідкісних видів.

Проводиться оцінка впливу людської діяльності на рідкісні види рослин Українського Полісся та їх місцезнаходження, включаючи діяльність, пов'язану з військовими подіями; 4) екологічний аналіз, у межах якого відбувається дослідження екологічних вимог та особливостей проживання рідкісних видів, взаємодії з іншими видами та чинниками середовища.

Результати та обговорення

Українське Полісся славиться своєю багатю раритетною флорою, включаючи 1 532 види рослин, представлених більше ніж 110 родинами. Найчисленніша серед них – родина складноцвітих, за ними йдуть злакові, осокові, хрестоцвіті, розоцвіті та гвоздикові. У регіоні росте велика кількість рідкісних видів лікарських, технічних та оздоблювальних рослин. Однак рослинний склад Поліського заповідника дещо менш різноманітний через особливості місцевого ландшафту: піщані ґрунти, велика заболоченість, перевага соснових лісів та рівнинна місцевість. У заповіднику поширені 528 видів рослин, що належать до 86 родин. Із них злакові найчисленніші, а складноцвіті займають друге місце за кількістю видів. Більшість території заповідника, а саме 84,3%, укрите лісами. Сосна займає домінуючу позицію – 80,9% лісових масивів. Також тут ростуть береза (17,9% лісової території), вільха (0,98%), тоді як ялина і дуб займають лише 4 га. Структура лісу за віком також досить специфічна, із перевагою молодняків (Sudnik-Wójcikowska, 2011). Основні причини цієї особливості – пожежі

в минулому та деревозаготівлі під час війн. У заповіднику можна виокремити 14 типів лісів, які характерні для Поліського регіону (рис. 1).

Рослинний світ Українського Полісся, як і будь-який інший компонент природи даної території, протягом останнього століття зазнав значних перетворень під впливом господарської діяльності людини. Сукупна дія антропогенних чинників призвела до істотної зміни природної структури рослинного покриву та флори, що проявляється в антропогенній трансформації даних компонентів природи центральної частини Українського Полісся. Для Українського Полісся пріоритетними чинниками антропогенного впливу на флору та її біорізноманіття до війни було названо осушувальну меліорацію, сільськогосподарське освоєння земель, будівництво транспортних комунікацій та нових населених пунктів, видобуток корисних копалин, сінокосіння та випасання худоби, вирубування лісів, пожежі та деякі інші (Житомирське ..., 2009). Усі ці процеси, зумовлені господарською діяльністю людини, визначають основні напрями антропогенної трансформації лісових фітоценозів.

Оцінюючи осушувальну меліорацію як найважливіший чинник антропогенного впливу на природні екосистеми у центральній частині Українського Полісся, можна зазначити, що вона стала не лише причиною прямого зникнення (або скорочення чисельності) деяких представників аборигенної флори, а й створила сприятливі



Рис. 1. Фізико-географічні області Українського Полісся (у державних кордонах України) (Карта Українського Полісся, 2008)

умови (своєрідну «нішу») для подальшого застосування низки нових таксонів адвентивного походження.

Важливу роль у їх появі та поширенні відіграла транспортна мережа, вплив якої на рослинний покрив і флору зумовлений низкою чинників: географічним положенням Поліського регіону, загальною протяжністю, густотою та конфігурацією транспортних комунікацій, інтенсивністю їх використання, характером та кількістю вантажів, що перевозяться, а також історичними особливостями створення та розвитку самої транспортної мережі. Основними видами транспорту в центральній частині Українського Полісся нині є автомобільний та залізничний (роль водного в останні десятиліття суттєво знизилася) (Барановська, 2021). Найбільший вплив на рослинний покрив чинять сухопутні транспортні комунікації, оскільки під час їх будівництва та використання природне середовище зазнає низки впливів: виїмка ґрунту, пристрій насипів, зміна гідрологічних та мікрокліматичних умов, трюфності субстрату тощо. У сукупності все це призводить до формування на схилах насипів термофільних напівнатуральних лугових угруповань, близьких за своїм складом і структурою до лісостепових і степових.

Найважливішу роль у поширенні нових інвазійних видів мають залізниці. Аналіз гербарних та літературних даних, а також результати власних досліджень показують, що низку нових адвентивних видів для флори Українського Полісся уперше зафіксовано саме тут. Наприклад, *Abutilon theophrasti* Medik., *Cardaria draba* (L.) Desv., *Erucastrum armoracioides* Cruchet, *Hirschfeldia incana* (L.) Lagr.- Fossat, *Isatis ladaoa* CA Mey., *Sideritis montana* L. та інші види. При цьому деякі з них (*Alyssum calycinum* L., *Salvia nemorosa* L., *Salvia verticillata* L., *Sisymbrium wolgense* M. Bieb. ex Fourn та ін.) утримуються у складі місцевої флори протягом кількох десятиліть, тобто стають стійкими представниками природної флори, і вони сьогодні більш стійкі у виживанні під впливом техногенного фактору військових подій в Україні (Якубенко та ін., 2015).

Вплив частково зруйнованих автомобільних доріг та водних шляхів на флору Українського Полісся дещо нижчий. У межах автомагістралей частіше фіксуються і виживають сьогодні різні однорічні рослини (*Ambrosia artemisiifolia* L., *Atriplex sagittata* Borkh., *Plantago scabra* Moench, *Puccinellia*

distans (Jacq.) Parl., *Salsola australis* R. Br. тощо), а також деякі багаторічники, здатні утримуватися тут досить тривалий час (*Artemisia austriaca* Jacq., *Gaillardia × grandiflora* Van Houtte, *Helianthus tuberosus* L., *Reynoutria japonica* Houtt) (Khomiak, 2018).

Істотну роль у збагаченні та збереженні природної флори адвентивними видами відіграють також населені пункти. Їх створення та розвиток сприяють формуванню нових флоротопологічних комплексів, які не мають природних аналогів. Останні відрізняються абсолютно новими ектопами, для яких характерні своєрідні мікрокліматичні, геохімічні та гідрологічні умови, що сприяє занесенню та подальшому поширенню (зокрема, і за їх межами) нових адвентивних видів, а також розвитку синантропних флористичних комплексів. Їх видовий склад украй нестабільний і схильний до значних коливань протягом навіть коротких періодів часу, що викликано особливостями господарської діяльності людини. Характерними компонентами синантропних флористичних комплексів стають такі види, як *Chelidonium majus* L., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, *Echium vulgare* L., *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, *Erigeron acris* L., *Lamium purpureum* L., *Phalacrolooma annuum* Dumort і багато інших (Khomiak, 2022). Ці таксони досить поширені на присадибних ділянках, трав'янистих газонах, уздовж вулиць та в інших місцях. На окрему увагу заслуговує культурна флора, представлена видами паркових та зелених насаджень, квітників та присадибних ділянок тощо.

Характерним елементом флори як міських, так і сільських населених пунктів є її різноманіття. У межах населених пунктів створюються специфічні умови для натуралізації та подальшого поширення низки адвентивних видів, які потрапляють сюди з різними побутовими відходами і сміттям (Shelyuk і Astahova, 2021). Саме в межах сміттєзвалищ виявлено низку нових для Полісся адвентивних видів (*Leptochloa fascicularis* (Lam.) A. Gray, *Verbesina encelioides* (Cav.) Benth. et Hook. f. ex A. Gray), а також відомі раніше культивованих таксонів на первинних стадіях натуралізації *Cosmos bipinnatus* Cav., *Phytolacca acinosa* Roxb., *Persicaria orientalis* (L.) Spach та багато інших

Із військовою агресією пов'язане істотне порушення природних ландшафтів і повне чи часткове знищення рослинності внаслідок утворення виїмок і котлованів. Їх заростання прямо залежить від природних умов

розташування конкретного пошкодження ґрунтів та ландшафту, складу розкривних порід і фітоценотичного оточення.

Під час заростання антропогенних виїмок і котлованів формуються кальцефільні флористичні комплекси за участю аборигенних (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Ophioglossum vulgatum* L., *Poa compressa* L. тощо) та адвентивних (*Cichorium intybus* L., *Medicago lupulina* L.) видів. Кар'єри, а також відвали розкривних порід заростають видами псамофітами: *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Digitaria ischaemum* (Schreb.) Muhl., *Eragrostis minor* Host, *Oenothera biennis* L. та ін. Серед них досить численні таксони аборигенного походження (*Jasione montana* L., *Nardus stricta* L., *Scleranthus perennis* L., *Spergula morisonii* Boreau та ін.), у тому числі цінні у созологічному відношенні *Juncus capitatus* Weigel, *Silene lithuanica* Zapal., *Teesdalia nudicaul* (L.) WT Aiton та деякі інші.

Характерною особливістю флори Українського Полісся є наявність галофітних комплексів. Так, серед зазначених 38 видів було представлено один облігатний галофіт (*Spergularia marina* (L.) Griseb.); група факультативних галофітів налічувала три види (*Atriplex prostrata* Boucher ex DC., *Chenopodium glaucum* L., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.); решта таксонів (*Bromus mollis* L., *Rumex acetosella* L., *Salsola australis* R. Br. та ін.) були солестійкими галофітами з числа місцевої флори. У подальшому в Чернігівському Поліссі були виявлені й інші галофіти (*Suaeda acuminata* (CA Mey.) Moq., *Typha laxmannii* Lepech., *Typha × soligorskensis* D. Dubovik). У цілому можна зазначити, що порушення природних ландшафтів через військові дії зумовило, з одного боку, первинне поширення деяких аборигенних видів псаммофітів, а з іншого – розширення на північ вторинних ареалів низки адвентивних видів південного походження.

У межах центральної частини Українського Полісся важливим антропогенним чинником впливу на природне фітосередовище залишаються рубки лісу та (істотно менше) лісові пожежі. Унаслідок рубок лісу відбувається різке порушення природних екологічних умов у лісових фітоценозах, зникнення або поява окремих видів рослин у трав'яно-чагарниковому ярусі. Ступінь і тривалість змін у ньому залежать від видового складу деревостою, що вирубуюється, трюфності й вологості ґрунтів. Деградація трав'яного та чагарникового

ярусів відбувається поступово і полягає у зміні лісових видів корінного фітоценозу опушковими та лучними, а нерідко – адвентивними і навіть інвазійними (*Erechtites hieracifolia* Raf., *Solidago canadensis* L. та ін.) (Erica et al., 2016). Відновлення деревного ярусу залежить від особливостей створення лісових культур і полягає у виникненні дигресивних асоціацій того ж типу або похідних типів лісу іншої формації.

Так, в умовах Українського Полісся рубки лісу та часткове пошкодження військовою технікою є причинами зникнення житла низки холодостійких голарктичних, північноєвропейських, європейсько-сибірських видів, що знаходяться тут, на південному кордоні ареалу. Установлено, що *Picea abies* (L.) Karst. в острівних місцеперебуваннях природним шляхом не відновлюється (Khomiak, 2018; Приседська і Шрамович, 2022). Зникають також ценопопуляції таких представників флори, як *Hyperzia selago* (L.) Bernh. ex Schrank et Mart., *Pyrola chlorantha* Sw., *Moneses uniflora* (L.) A. Gray та деяких інших тайгових видів. Рубки лісу негативно позначаються і на рості деяких центральноєвропейських неморальних видів: *Allium ursinum* L., *Corydalis cava* Schweigger et Korte, *Lunaria rediviva* L., *Melittis sarmatica* Klokov та ін. Унаслідок збільшення освітленості, прогріваності та оголення піщаних ґрунтів на вирубках та через пошкодження військовою технікою в молодих посадках створюються сприятливі умови для видів псаммофітів: *Corynephorus canescens* (L.) P. Beauv., *Spergula morisonii* Boreau, *Teesdalia nudicaulis* (L.) WT Aiton та ін. Деякі теплолюбні східноєвропейські (*Astragalus arenarius* L., *Dianthus borussicus* Vierh. та ін.), європейсько-малоазійські (*Astragalus glycyphyllos* L., *Holcus lanatus* L., *Stachys recta* L. та ін.), європейсько-сибірсько-аралокаспійські (*Linaria genistifolia* (L.) Mill., *Scabiosa ochroleuca* L. та ін.), степові та лісостепові види також стають більш численними, що сприяє ксерофітизації лісових фітоценозів.

Чернігівське Полісся відзначається унікальним природним різноманіттям, що представлено такими заказниками, як Каморетський, Сосницький та Болото Мох. Частина Полісся, що охоплює східний регіон Чернігівської області та північно-захід Сумської, відома як Новгород-Сіверське Полісся. Ці території, хоча і переважно лісові, відзначаються присутністю лісостепових ландшафтів, що створює сприятливі умови для сільськогосподарського розвитку

та відпочинку. Серед особливостей регіону важливо відзначити заказник Великий Бір. Проте за останні роки людська діяльність чинить негативний вплив на ці екосистеми. Наприклад, у травні 2022 р. внаслідок авіаударів у районі Новгород-Сіверського місцеві флора, зокрема журавлинна популяція, зазнала серйозних утрат на значних територіях.

Із березня 2022 р. у період активних обстрілів у Чернігівській області було зафіксовано підвищення активності природних пожеж. Щомісячно впродовж березня-вересня 2022 р. фіксувалися численні випадки пожеж, які знищували від 100 до 250 га території на добу, що призводить до знищення лучного різноманіття флори і фауни. Особливо уразливими виявилися торфовища, лісові масиви, болота, а також зони сухої трави біля населених пунктів. За весь 2022 р. через військові дії у регіоні було зафіксовано 916 пожеж, при цьому 19 пожеж спалахнуло в лісових зонах, а сім – на території торфовищ. Також після вторгнення Росії у лютому 2022 р. численна техніка російських військових залишилася на території поліських лісів та торфовищ. На даний момент не відома точна кількість боеприпасів, які можуть знаходитися на цих територіях і часом заглиблюватися в торфові шари. Усі ці військові чинники нанесли суттєву шкоду аборигенній флорі Полісся.

Зазначимо, що через масштабні військові дії впродовж 2022 р. відбулася ксерофітизація рослинного покриву, що позначається і на сучасному стані флори цього регіону. Зникнення окремих аборигенних видів за постійного занесення нових адвентивних видів та антропогенного тиску призводить до її антропогенної трансформації. Розглядати ці процеси найдоцільніше на прикладі природної флори, під якою розуміється сукупність усіх аборигенних видів і навіть лише з адвентивних, які характеризуються високим рівнем натуралізації (Orlov et al., 2022).

Визначимо й обґрунтуємо заходи щодо подальшого подолання проблем збереження паритетного складника флори Українського Полісся у зв'язку з військовими діями.

1. Формування екологічної мережі розглядається сьогодні як один із найактуальніших і найефективніших шляхів збереження біологічного розмаїття. Оскільки ідея екологічної мережі виникла нещодавно, її методологія досі перебуває на стадії розроблення

та вдосконалення. Стійке функціонування екологічної мережі забезпечується уведенням особливих режимів господарської діяльності та регламентів використання природних ресурсів на певних територіях, що може бути досягнуто шляхом установаження для таких територій спеціального природоохоронного статусу (Дзиба, 2021).

2. Моніторинг та оцінка стану рослинного покриву. Перший крок до ефективного збереження – розуміння поточного стану екосистем. Для цього важливо проводити регулярний моніторинг територій, найбільш постраждалих від військових дій, вивчати вплив військових дій на рослинний покрив і життєдіяльність лісових фітоценозів. На основі отриманих результатів можна рекомендувати:

- організувати спеціалізовані групи для моніторингу та відновлення рослинного покриву в зонах військових дій;
- розробити програми щодо пересадки рослин і відновлення ґрунту на пошкоджених територіях;
- провести додаткові наукові дослідження щодо впливу військових дій на біорізноманіття.

3. Відновлення пошкоджених лісових масивів. Провести агротехнічні заходи: очищення територій від вибухонебезпечних предметів, відновлення ґрунтів, відводження води на заболочених ділянках. Здійснювати посадку рідкісних і зникаючих видів рослин, використовуючи саджанці та насіння з резервних насінневих банків. Після визначення масштабу пошкоджень насамперед слід здійснити такі дії: видалити мертві дерева та інші рослини, що становлять небезпеку; здійснити стабілізацію ґрунту для запобігання ерозії, особливо в районах нахилів; перевірити якість води в близьких водоймах. Для відновлення лісового покриву необхідно здійснювати посадку дерев, надаючи перевагу місцевим видам, які найкраще пристосовані до конкретних умов. Щодо відновлення підліску, то необхідно зосереджувати увагу на рослинах, які забезпечують харчування та притулок для дикої природи (Омельчук і Садогурська, 2022). Окрім того, необхідно здійснювати захист нового лісу, установажувати бар'єри для запобігання нелегальній заготівлі дерева та вторгненню тварин-шкідників; проводити моніторинг із метою виявлення та запобігання хворобам рослин; реалізовувати освітні програми для місцевої спільноти про важливість та методи збереження лісу.

4. Створення заповідних територій. Із цією метою необхідно: організувати нові природоохоронні території, де буде забезпечено максимальний захист для рослин; забезпечити пріоритетний захист рідкісних та зникаючих видів; здійснювати біологічну інвентаризацію, зокрема проводити систематичні дослідження флори для визначення наявних видів та їх стану. Для захисту особливо рідкісних видів необхідне встановлення заповідних територій. Щодо розроблення стратегій управління, то потрібне розроблення довгострокових планів використання та охорони заповідних територій (Про екологічні проблеми Полісся). Окрім цього, важливими є зонування і визначення

різних зон із різними режимами охорони, включаючи зони заборони відвідування та проведення наукових досліджень.

Для визначення рівня пріоритетності збереження раритетного складника флори Полісся у зв'язку з військовими діями пропонуємо використовувати систему бальної оцінки (табл. 1). Нами було визначено умову, відповідно до якої кожен із показників має рівну вагу.

Із застосуванням запропонованої системи класифікаційних ознак виконано експертну оцінку основних екосистем, характерних для території Українського Полісся. Виокремлено такі групи екосистем: лісові, рідкісно-чагарникові, болотяні та лучні.

Таблиця 1

Система показників для експертної оцінки ступеня пріоритетності охорони і збереження раритетного складника флори Полісся

Видове багатство	Бал 3 – високе видове багатство: висока різноманітність та чисельність видів різних рослинних груп, екологічних категорій, трофічних рівнів, вирівняність видової структури; більше 75% максимальних відомих чи еталонних значень для цього типу фітоценозу.	Бал 2 – середній рівень видової різноманітності: 50-75% від максимальних відомих або еталонних значень для даного типу фітоценозу	Бал 1 – низький рівень видової різноманітності: менше 50% максимальних відомих або еталонних значень для цього типу фітоценозу
Рідкісність	Бал 3 – рідкісні: рідко (поодинокі) трапляються на території регіону та/або займають малу площу – не більше 10% площі природних територій.	Бал 2 – звичайні: займають від 10% до 50% площі природних територій.	Бал 1 – домінуючі: найчастіше трапляються та/або переважають за площею – понад 50% площі природних територій.
Специфіка		Бал 2 – специфічні: яскраво виражені специфічні ознаки, є місцем проживання понад 10% стенобіонтних видів будь-якої з груп.	Бал 1 – тривіальні: стенобіонтних видів немає або незначна кількість менше 10%.
Уразливість	Бал 3 – надзвичайно уразливі: високий ризик втрати у разі неприйняття спеціальних заходів охорони.	Бал 2 – уразливі: можуть бути порушені в разі неприйняття спеціальних заходів охорони.	Бал 1 – відносно стійкі: можуть існувати без уживання спеціальних заходів охорони
Природність	Бал 3 – незаймані (у т.ч. реліктові): екосистеми природного походження, на розвитку яких вплив людини не позначився чи не був радикальним (визначальним) і зовні не проявляється.	Бал 2 – природні: Екосистеми природного походження, яких помітно торкнулася діяльність людини, а також екосистеми антропогенного походження, які відтворені на місцях корінних екосистем і з часом набули природних рис та якості.	Бал 1 – природно-антропогенні антропогенні та антропогенно-похідні: екосистеми, що мають природне походження, але які зазнали радикальної трансформації або своїм походженням пов'язані з господарською діяльністю людини.

Джерело: розроблено авторами

Українське Полісся – це екологічний коридор, який забезпечує міграцію видів, допомагає у збереженні рідкісних та зникаючих видів і підтримує природний баланс регіону. Ці території також мають велике соціальне та економічне значення для місцевих громад. Принципи створення екологічної мережі після закінчення війни з метою подолання наслідків псування і втрат раритетного складника флори Українського Полісся (Лісове ..., 2023):

- з'єднаність: створення коридорів, що забезпечують безперервний потік біорізноманіття;
- різноманіття: урахування різних екосистем – від боліт до лісів;
- адаптивність: здатність мережі адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі. Кроки до проєктування мережі:
- ідентифікація ключових зон: визначення регіонів із найбільшим біорізноманіттям;
- оцінка потреб: аналіз потреб рослин та тварин у межах мережі;
- залучення громадськості: консультації з місцевими громадами, екологами та іншими зацікавленими сторонами;
- розроблення плану: визначення конкретних територій, які будуть входити до мережі, та встановлення їхнього статусу (табл. 2).

Формування екологічної мережі передбачає регулювання діяльності, що завдає шкоди природним комплексам, екосистемам та видам. Слід зазначити, що далеко не всі види загроз ландшафтному та біологіч-

ному розмаїттю піддаються регулюванню, а в окремих випадках витрати на заходи щодо мінімізації загроз можуть виявитися не виправдано більшими порівняно з отриманими результатами. Окрім того, діяльність із формування екологічної мережі має здійснюватися у наявному правовому полі.

Висновки

Проведене дослідження представило основні характеристики раритетного складника флори Українського Полісся у зв'язку з військовими діями, включаючи таксономічний і фітосоціологічний аналіз рослинності. Запропоновано заходи для збереження раритетної флори, наукове обґрунтування створення екологічних коридорів та проєктування екологічної мережі збереження лісових фітоценозів. Збереження біорізноманіття для захисту генетичних ресурсів рослин в умовах зростаючого антропогенного впливу та наслідків військових дій є актуальним. Інвентаризація та глибокий аналіз рідкісної флори стають ключовими завданнями під час вивчення та збереження рослинного різноманіття Українського Полісся. Визначені та обґрунтовані комплексні заходи збереження біорізноманіття, зокрема рослинного, мають стати пріоритетом у роботі науковців-екологів та фахівців у сфері лісівництва. Доведено, що відновлення лісових фітоценозів після військових дій – це не лише відновлення дерев, а й повернення біорізноманіття, стабілізація ґрунту та забезпечення сталого розвитку для прийдешніх поколінь. Це завдання вимагає

Таблиця 2

Перелік екосистем, пріоритетних для охорони під час проєктування екологічної мережі на території Українського Полісся

Групи екосистем	Перелік екосистем
лісові	заболочені сосняки (осокові, багно, сфагнові); середньовисокові ялинники по суходолу; заболочені ялинники (осокові, осоково-сфагнові); високовікові широколистяно-соснові та широколистяно-ялинові ліси; середньовікові широколистяні ліси суднодолу; високовікові плакорні та заплавні діброви; високовікові грабові ліси по суходолу; високовікові чорноольхово-широколистяні, ясеневі та осинові ліси високовікові бородавчатоберезові ліси по суходолу; середньо- та високовікові заболочені пушистоберезові чорновільхові та білі ліси
рідко-чагарникові	вересові пустки; перехідні болота з дерево-чагарниковою рослинністю
болотні	низинні відкриті осокові болота; верхові відкриті болота; перехідні відкриті болота
лугові	заплавний злаковий відкритий луг (закустареність до 20% площі); заплавний вологий (заболочений) різнотравний луг

Джерело: сформовано авторами

співпраці науковців, урядових структур та громадськості. Лише спільними зусиллями можна відновити та зберегти наші цінні лісові ресурси.

Майбутні дослідження слід спрямувати на вивчення рідкісних рослинних спільнот та видів Українського Полісся, щоб визначити їхні тенденції поширення у цій зоні.

Важливо також здійснити популяційне вивчення рідкісних деревних видів. Щоб зберегти лісові екосистеми, потрібно дотримуватися режимів захисту в резерватах, приділити увагу зменшенню впливу людини на ліси цього регіону, створити додаткові заповідні території та розробити регіональну екомережу на Поліссі.

Список використаної літератури

Барановська О. В. Екогеографічний аналіз територій Чернігівської області. *Українське Полісся: проблеми та тренди розвитку*. 2021. С. 43–46.

Дзиба А. А. Унікальні дерева охоронних територій Українського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. № 31(6). С. 16–25. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.36930/40310602> (дата звернення: 10.04.2023).

Житомирське Полісся. *Енциклопедія сучасної України*. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2009. [Електронний ресурс]. URL: <https://esu.com.ua/article-19265> (дата звернення: 10.04.2023).

Карта Українського Полісся: географічна, адміністративна, кордони по райцентрах. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.polissia.eu/2008/10/karta-istorychni-kordony-polissja.html> (дата звернення: 10.04.2023).

Лісове господарство та мисливство. [Електронний ресурс]. URL: https://www.chernigivstat.gov.ua/statdani/S_hos/index.php (дата звернення: 10.04.2023).

Омельчук О., Садогурська С. Природа та війна: як військове вторгнення Росії впливає на довкілля України. [Електронний ресурс]. URL: <https://vtl.in.ua/wp-content/uploads/2022/04/newspaper-ekospeczvuursk.pdf> (дата звернення: 10.04.2023).

Приседська В., Шрамович В. Спустошені землі. Якою буде природа України після війни. [Електронний ресурс]. URL: https://www.bbc.com/ukrainian/extra/mwu5sxghvc/ukraine_war_damaged_nature (дата звернення: 10.04.2023).

Про екологічні проблеми Полісся, Житомирщина. Знайомство з регіоном: Українське Полісся. [Електронний ресурс]. URL: http://www.07313.in.ua/ek_prob1_pol_gito.html (дата звернення: 10.04.2023).

Якубенко Б. Є., Попович С. Ю., Григорюк І. П., Устименко П. М. Геоботаніка: тлумачний словник. Київ: Фітосоціоцентр, 2015. 484 с.

David Erica, Dixon Kingsley W., Menz, Myles H. M. Cooperative Extension: A Model of Science – Practice Integration for Ecosystem Restoration. *Trends in Plant Science*. 2016. № 5. P. 410–417.

Khomiak I. Dynamics of flora in the old-field ecosystem Ukrainian Polissya. *ScienceRise: Biological Science*. 2018. № 1(10). P. 8–13. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2018.12180>

Khomiak I. V. Syntaxonomy of restoration vegetation in quarries in Central Polissya. *Ukrainian Botanical Journal*. 2022. № 79(3). P. 142–153. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.03.142>

Orlov O. O., Shynder O. I., Vorobjov E. O., Gryb O. V. New floristic finds in the Forest-Steppe part of Zhytomyr Region. *Ukrainian Botanical Journal*. 2022. № 79(1). P. 6–26. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.01.006>

Shelyuk Yu. S., Astahova L. Y. Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosyst. Divers*. 2021. № 29(2). P. 119–128. <https://doi.org/10.15421/012116>

Sudnik-Wójcikowska B. Flora Polski. Rośliny synantropijne. Warszawa: MULTICO Oficyna Wydawnicza, 2011. 336 p.

References (translated & transliterated)

Baranovska, O. V. (2021). Ekoheohrafichniy analiz terytorii Chernihivskoi oblasti [Ecogeographic analysis of the territories of Chernihiv region]. *Ukrainske Polissia: problemy ta trendy rozvytku [Ukrainian Polissia: problems and development trends]*, 43–46 [in Ukrainian].

Dzyba, A. A. (2021). Unikalni dereva okhoronnykh terytorii Ukrainskoho Polissia Unique trees of the protected areas of the Ukrainian Polissia. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine]*, 31(6), 16–25. <https://doi.org/10.36930/40310602> [in Ukrainian].

Zhytomyrske Polissia. Entsyklopediia Suchasnoi Ukrainy (2009). [Zhytomyr Polissia. Encyclopedia of Modern Ukraine]. [Electronic resource]. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy. URL: <https://esu.com.ua/article-19265> (access date 10.04.2023) [in Ukrainian].

Karta Ukrainskoho Polissia: heohrafichna, administratyvna, kordony po raitsentrakh [Map of Ukrainian Polissia: geographical, administrative, borders by district centers]. [Electronic resource] URL: <https://www.polissia.eu/2008/10/karta-istorychni-kordony-polissja.html> (access date 10.08.2023) [in Ukrainian].

Lisove hospodarstvo ta myslyvstvo [Forestry and hunting]. [Electronic resource] URL: https://www.chernigivstat.gov.ua/statdani/S_hos/index.php (access date 10.04.2023) [in Ukrainian].

Omelchuk, O., & Sadohurska, S. (2022). Pryroda ta viina: yak viiskove vtorhnennia Rosii vplyvaie na dovkillia Ukrainy [Nature and war: how the military invasion of Russia affects the environment of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://vtl.in.ua/wp-content/uploads/2022/04/newspaper-ekospeczvypusk.pdf> (access date 10.04.2023) [in Ukrainian].

Prysedska, V., & Shramovych, V. (2022). Spustosheni zemli. Yakoiu bude pryroda Ukrainy pislia viiny [Desolated lands. What will be the nature of Ukraine after the war]. [Electronic resource] URL: https://www.bbc.com/ukrainian/extra/mwu5sxghvc/ukraine_war_damaged_nature (access date 10.04.2023) [in Ukrainian].

Pro ekolohichni problemy Polissia, Zhytomyrshchyna. Znaiomstvo z rehionom: Ukrainske Polissia [About the environmental problems of Polissia, Zhytomyr region. Getting to know the region: Ukrainian Polissia]. [Electronic resource] URL: http://www.07313.in.ua/ek_prob_l_pol_gito.html (access date 10.04.2023) [in Ukrainian].

Yakubenko, B. Ye., Popovych, S. Yu., Hryhoriuk, I. P., & Ustymenko P. M. (2015). Heobotanika: tlumachnyi slovnyk [Geobotany: explanatory dictionary]. Kyiv: Fitosotsiotsentr, 484 [in English].

Erica, D., Kingsley, D. W., & Myles, M. (2016). Cooperative Extension: A Model of Science–Practice Integration for Ecosystem Restoration. *Trends in Plant Science*, 5, 410–417 [in English].

Khomiak, I. (2018). Dynamics of flora in the old-field ecosystem Ukrainian Polissya. *ScienceRise: Biological Science*, 1 (10), <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2018.121809> [in English].

Khomiak, I. V. (2022). Syntaxonomy of restoration vegetation in quarries in Central Polissya. *Ukrainian Botanical Journal*, 79(3), 142–153. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.03.142> [in English].

Orlov, O. O., Shynder, O. I., Vorobjov, E. O., & Gryb, O. V. (2022). New floristic finds in the Forest-Steppe part of Zhytomyr Region. *Ukrainian Botanical Journal*, 79(1), 6–26. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj79.01.006> [in English].

Shelyuk, Yu. S., & Astahova, L. Y. (2021). Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosyst. Divers*, 29(2), 119–128. <https://doi.org/10.15421/012116> [in English].

Sudnik-Wójcikowska, B. (2011). Flora Polski. Rośliny synantropijne. Warszawa: MULTICO Oficyna Wydawnicza [in Polish].

Отримано: 05.06.2023
Прийнято: 21.06.2023



УДК 622+502.05:574.91(477.63)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.17>

ТЕХНОГЕННІ ЛАНДШАФТНІ УТВОРЕННЯ НА ПОРОДНИХ ВІДВАЛАХ ШАХТ ЯК РЕФУГІУМИ ДЛЯ РАРИТЕТНИХ ВИДІВ РОСЛИН І ТВАРИН

О. М. Масюк¹, Р. О. Новіцький², М. А. Листопадський³, В. О. Махіна⁴

У травні-вересні 2021 р. здійснювали комплексні дослідження породних відвалів шахти ім. М.І. Сташкова ВСП «Шахтоуправління Дніпровське» (Дніпропетровська область, Україна). Відбір матеріалу проводили за стандартними сучасними методиками досліджень. Загальна площа обстеженої території становила 86,6 га. Метою досліджень є вивчення потенціалу породних відвалів (на прикладі шахти ім. М.І. Сташкова) як місць збереження рідкісних видів рослин та тварин на фітотоксичних шахтних породах.

Аналіз флори та фауни породного відвалу шахти показав, що цей азональний техногенний елемент ландшафту став рефугіумом для 49 раритетних видів рослин (22 види), безхребетних (6 видів) та птахів (21 вид). Концентрація такої кількості охоронюваних видів різного статусу пояснюється знаходженням поблизу шахтних відвалів об'єктів ПЗФ (загальною площею близько 7 000 га) та східної частини «Самарського лісу» як об'єкта Смарагдової мережі (Emerald UA0000212). Найбільше фіторізноманіття видів флори спостерігається на плато та терасі першої ділянки вугільного відвалу. Найменше фіторізноманіття характерне для крутих схилів та підшови відвалу. Отримані результати щодо розселення видів свідчать про збільшення діапазону адаптаційних можливостей деяких рослин та тварин. Тенденції формування видового біорізноманіття на промисловому майданчику шахти ім. М.І. Сташкова свідчать про перспективу подальшого збільшення частки видів, що мають раритетний статус. Породні вугільні

¹ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології
(Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро)
e-mail: almas63636@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9357-4078

² доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри водних біоресурсів та аквакультури
(Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро)
e-mail: novitskyi.r.o@dsau.dp.ua
ORCID: 0000-0001-9373-5759

³ експерт
(Компанія «Екокультура»)
e-mail: mihaillistopadsky@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4893-549

⁴ науковий співробітник
(Природний заповідник «Дніпровсько-Орільський»)
e-mail: veronika.afanaseva@gmail.com
ORCID: 0009-0008-7340-6032

відвали шахти ім. М.І. Сташкова можуть бути своєрідними рефугіумами для багатьох раритетних видів рослин, безхребетних і хребетних тварин різного охоронного статусу. Екологічну роль породних відвалів необхідно врахувати під час подальшої рекультивациі (фітомеліорації) териконів шахт, що закриваються. Розуміючи певну роль териконів (вугільних відвалів) у сезонних міграціях птахів, обґрунтованим рішенням було б включення цих техногенних елементів ландшафту в регіональну екомережу.

Ключові слова: гірничодобувна промисловість, вугільні відвали, техногенні ландшафти, рідкісні види, збереження, екомережа.

TECHNOGENIC LANDSCAPE FORMATIONS ON ROCK DUMPS OF MINES AS REFUGIUM FOR RARE SPECIES OF PLANTS AND ANIMALS

O. M. Masiuk, R. O. Novitskyi, M. A. Listopadskyi, V. O. Makhina

In May-September 2021, comprehensive research was carried out on rock dumps of the mine named after M. I. Stashkov Production Structural Subdivision «Mining Department Dniprovsk» (Dnipropetrovsk region, Ukraine). Material was selected according to the standard modern research methods. The total area of the investigated territory was 86.6 hectares. The purpose of the research is to study the potential of the rock dumps (on the example of the mine named after M. I. Stashkov) as places of preservation of rare species of plants and animals on phytotoxic mine rocks. The analysis of the flora and fauna of the rock dump of the mine showed that this azonal man-made element of the landscape became a refugium for 49 rare species of plants (22 species), invertebrates (6 species) and birds (21 species). The concentration of such a number of protected species of different status is explained by the location near the mine dumps of Natural Reserve Fund objects (with a total area of about 7,000 hectares) and the eastern part of the «Samara Forest» as an object of the Emerald Network (Emerald UA0000212). The greatest phytodiversity of flora species is observed on the plateau and terrace of the first section of the coal dump. The lowest phytodiversity is a characteristic of steep slopes and the bottom of the dump. The obtained results regarding the dispersal of species indicate an increase in the range of adaptation capabilities of some plants and animals. Trends in the formation of species biodiversity at the industrial site of the mine named after M. I. Stashkov testify to the prospect of a further increase in the share of species with rare status. Rock coal dumps of the mine named after M. I. Stashkov (Dnipropetrovsk region, Ukraine) can be a kind of refugia for many rare species of plants, invertebrates and vertebrates of different protection status. The ecological role of rock dumps must be taken into account in the further reclamation (phytomelioration) of tericons of mines that are being closed. Counting the certain role of tericons (coal dumps) in seasonal migrations of birds, a reasonable decision would be to include these man-made elements of the landscape in the regional eco-network.

Key words: mining industry, coal dumps, man-made landscapes, rare species, conservation, eco-network.

Вступ

Гірничопромисловий комплекс є одним із найважливіших видів економічної діяльності України. Надра України вміщують понад 20 тис родовищ і проявів зі 117 видів мінеральної сировини, з яких 8 925 родовищ мають промислове значення (Національна ..., 2021). Визначальними для економіки України є чотири види корисних копалин: природний газ, нафта, вугілля та залізна руда. Значні поклади кам'яного та бурого вугілля, залізних руд, інших корисних копалин зумовляють наявність двох тисяч гірничодобувних, збагачувальних і переробних підприємств (Україна ..., 2021). Запаси вугілля в Україні зосереджені переважно в Дніпровському, частково

в Донецькому (Західний Донбас) басейнах, а також у Дніпровсько-Донецькій западині та в Закарпатській вугленосній площі (Полуніна та ін., 2020).

Шахтний фонд країни станом на 2020 р. становив 148 шахт, але фактично видобуток вугілля здійснюється на 47 шахтах. Інші шахти розміщуються на тимчасово окупованих територіях, а частина з них зупинила роботу (Звіт ..., 2019).

Гірничопромисловий комплекс є серйозним забруднювачем навколишнього природного середовища. Негативний вплив на довкілля проявляється у порушенні земної поверхні, викидах забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферу, а також у забрудненні земельних та водних ресур-

сів відходами гірничих підприємств (Кузік, 2012; Радченко та ін., 2013; Коваленко і Павличенко, 2013; Galvin, 2016). Під час добування вугілля велике значення має утворення породних відвалів, або так званих териконів. За роки техногенної діяльності людини на території України утворено і накопичено понад 1 млрд м³ відходів у вигляді породних відвалів. Найбільшої шкоди природному ландшафту завдає відсипання конічних і хребтових відвалів, висота яких в окремих випадках досягає 110–120 м (Амоша та ін., 2013; Макеєва, 2013; Босак і Попович, 2022). У межах України розташовано 161,4 тис га порушених земель, що утворилися зазвичай за рахунок відкритого добування корисних копалин (Національна ..., 2021; Юрченко і Миронова, 2022).

Шахтні породи мають негативні для довкілля властивості: дуже важкий гранулометричний склад, висока кислотність та вміст загальної сірки, значний вміст рухомого алюмінію і сульфат-іонів, що зумовлюють засолення порід сірчаноокислим алюмінієм (Galvin, 2016; Босак і Попович, 2022). Відвалоутворюючі породи мають фітотоксичні властивості «завдяки» наявності у своєму складі піриту. У результаті його окислення (у присутності води) утворюється сірчана кислота, яка підкисляє ґрунтовий розчин і цим шкідливо впливає на ріст і розвиток рослин (Мазницька та ін., 2011; Босак і Попович, 2022). Під час окиснення відвальних порід також виділяється вуглекислота, нітроген оксид (IV), який із водою утворює нітратну кислоту. Хімічний процес супроводжується тривалим виділенням тепла (10–30 і більше років), зумовлюючи сухість порід і збіднюючи їх органічною речовиною (Драчук, 2007; Захаров та ін., 2013; Батугін та ін., 2018 та ін.). Фітотоксичність вугільних відвалів шахт зазвичай визначається засоленням і концентрацією водорозчинних солей, якість і кількість яких тісно пов'язана з рН, а також сильно кам'янистим гранулометричним складом (Геник, 2016; Войтович, 2017; Босак і Попович, 2022).

Порушені землі, зайняті у тому числі породними шахтними відвалами, сьогодні є малоприсадибними для використання в сільському і лісовому господарствах, причому процеси природного відновлення рослинності та ґрунтів порушених земель протікають повільно або взагалі не відбуваються (Національна ..., 2021). Зазвичай порушення земної поверхні стають сталими техноген-

ними формуваннями, не зникають упродовж тривалого періоду часу і, згідно із законодавством України, потребують штучного відновлення – рекультивації (Зверковський, 1997; Іванов, 2007 та ін.).

Оптимізація техногенних ландшафтів передбачає створення на деструктивних територіях таких ґрунтово-екологічних умов, які б відповідали біологічним особливостям та екологічним потребам рослин з урахуванням зоо- та мікробіоценозних компонентів у зв'язку з їх цільовим призначенням (Масюк, 2008, 2009). Виходячи із цього, звертає на себе увагу передусім вивчення природи та джерела деструкції території, а також ступеня її деградації, а також розроблення технології рекультивації земель із заданими властивостями для різного функціонального призначення (лісового, сільськогосподарського, рекреаційного тощо). Так, сільськогосподарський напрям рекультивації земель детально концептуально розроблений та впроваджений у життя (Бекаревич та ін., 1989; Масюк, 1974). Була надана оцінка розкритих гірських порід для фітомеліорації, здійснено розподіл рослин на еколого-трофічні групи, створені фітомеліоративні агроценози на первинних екоотопах, виявлена їх ефективність, вивчено розвиток складних довговегетуючих агроценозів. Серед багатьох напрямів рекультивації лісова є найпоширенішим способом освоєння природно-техногенних комплексів за рахунок правильного підбору деревно-чагарникових культур до конкретних едафічних та кліматичних умов та низької собівартості (Зверковський, 1999; Бровко, 2009; Травлаєв та ін., 2005; Масюк, 2006, 2008, 2009; Мазур та ін., 2015; Masyuk, 2017; Masiuk, 2020).

Метою досліджень є вивчення потенціалу породних відвалів (на прикладі шахти імені М.І. Сташкова) як місць збереження рідкісних видів рослин та тварин на фітотоксичних шахтних породах.

Матеріал і методи

Комплексні дослідження здійснювали у травні-вересні 2021 р. на території планованої діяльності на проммайданчиках із породними відвалами шахти ім. М.І. Сташкова ВСП «Шахтоуправління Дніпровське». Шахта розташована в Петропавлівському районі Дніпропетровської області (30 км на схід від м. Павлоград і 20 км на захід від м. Першотравенськ) (рис. 1). Загальна площа обстеженої території – 86,6 га.

Породний відвал складався з трьох ділянок: 1 – відпрацьована ділянка відвалу, що

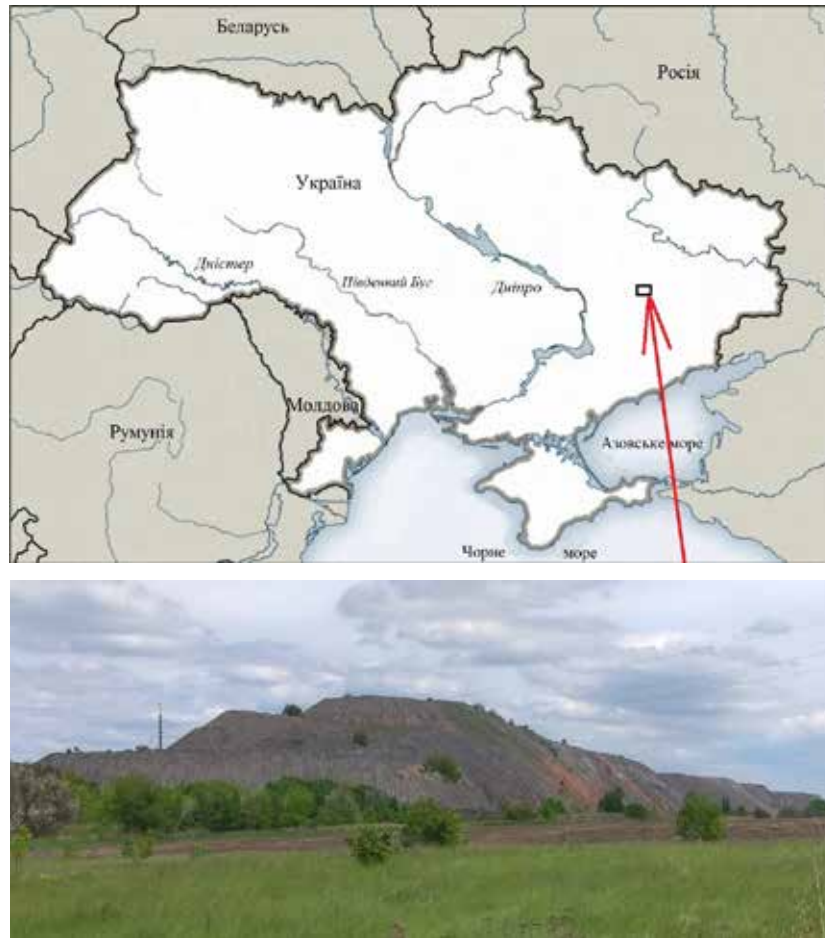


Рис. 1. Картоschema району досліджень: проммайданчик із породними відвалами шахти ім. М.І. Сташкова (Петропавлівський район Дніпропетровської області)

була в експлуатації у 1982–1998 рр. (максимальна висота – 54,9 м, площа – 15,42 га); 2 – ділянка плоского відвалу, що була в експлуатації у 1998–2013 рр. (максимальна висота – 30,5 м, площа – 18 га) (рис. 2); 3 – діюча ділянка відвалу, яка знаходиться у сідловині між існуючими породними відвалами (висота – 45 м, площа – 3,14 га). Кількість укладеної породи на відвалі становить 5,8 млн м³ (Висновок ..., 2021).

Використано комплекс польових та лабораторних методів наукових досліджень: ботанічні, зоологічні, ландшафтні, картографічні.

Відбір матеріалу проводили за стандартними сучасними методиками досліджень. Під час вивчення рослинності використовували загальноприйняті методи опису видового та ценотичного складу рослинності, ботанічного картування (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999).

Визначення видів рослин при флористичних дослідженнях проводили за визначни-

ками (Определитель ..., 1987; Визначник ..., 1965) із використанням мікроскопів Citoval та МБС-9. Назви рослин наведено за сучасною ботанічною номенклатурою (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999).

Збір та обробку ентомологічного матеріалу проводили за стандартними методиками (Голобородько та ін., 2010; Ключко та ін., 2011). Дослідження ентомофауни проводили вдень за допомогою ентомологічного сачка, методом ентомологічного косіння, збору комах зі стовбурів дерев, ручного розбору підстилки тощо.

Визначення хребетних тварин здійснювали за науковими працями (Булахов и др., 1986; Булахов і Пахомов, 2006; Голобородько і Пахомов, 2007; Голобородько та ін., 2010; Ключко та ін., 2011), визначником Г.В. Фесенко та А.А. Бокотея (2002).

Дослідження батрахо- і герпетофауни проводили за стандартними методиками (Руководство..., 1989; Голобородько і Пахомов, 2007). Використовували загаль-



Рис. 2. Вигляд відпрацьованої ділянки породного відвалу

новживані методи трансектного та точкового обліків.

Дослідження орнітофауни відбувалися за загальноприйнятими методиками (Приєднієкс и др., 1986; Гузий, 1997). Українські наукові назви птахів наведено за роботою Г.В. Фесенка і А.А. Бокотея (2002).

Під час обліку видового багатства та чисельності дрібних ссавців користувалися вказівками І. Загороднюка зі співавторами (2002). Видову належність та особливості екології ссавців установлювали під час маршрутних обліків, спрямованих на виявлення слідів перебування останніх: слідова активність, порії, з'їдені паростки молодих дерев, кори, візуальні контакти.

Охоронні категорії рослин і тварин визначали за Червоною книгою України (2021), Європейським червоним списком та списком Міжнародного союзу охорони природи (IUCN 2020), Червоною книгою Дніпропетровської області (2010, 2011) та додатками Бернської конвенції.

Під час дослідження промайданчику шахти ім. М.І. Сташкова ВСП «Шахтоуправління Дніпровське» ПРАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» розглядали окремі його складники (рис. 3).

Результати та обговорення

Знахідки рідкісних видів рослин. Флора дослідженого відвалу нараховує 114 видів вищих судинних рослин із 33 родин та 93 родів. За кількістю видів переважає родина айстрових (27 видів), також значну частину становлять родини тонконогових (17 видів), бобових (11 видів) (Масюк та ін., 2021).

Перелік видів рослин на промайданчику шахти ім. М.І. Сташкова, що мають особливий природоохоронний статус, нараховує 22 види (табл. 1).

До Червоної книги України (2009, 2021) занесені три види ковили: ковила пірчаста *Stipa pennata* L. (природоохоронний статус виду – «уразливий»), ковила Лессінга *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr. та ковила волосиста *Stipa capillata* L. (природоохоронний статус обох видів – «неоцінений») (рис. 4).

Невеликі локації кожного виду розташовані на плато породного відвалу першої ділянки на висоті 48–52 м.

До регіональних рідкісних видів, занесених до Червоної книги Дніпропетровської області (2011), увійшли перелічені вище види ковили, які за категоріями раритетності належать відповідно до «уразливих» та «рідкісних». Слід зазначити, що ще 18 видів рослин увійшли до Європейського Червоного списку (ЄЧС) та Списку Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) – 1 вид у категорії «недостатньо даних» та 17 як види, що знаходяться «під найменшою загрозою».

Знахідки рідкісних видів безхребетних. Огляд безхребетних на досліджуваній території виявив наявність 40 видів, із них 36 видів належать до класу Insecta, два види – Diplopoda та два види – Arachnida.

Клас комах промайданчика відвалів представлений восьма рядами: найчисленніші Lepidoptera, Coleoptera та Hymenoptera, що пояснюється великою рухливістю імаго у цих рядах. Видовий склад лускокрилих

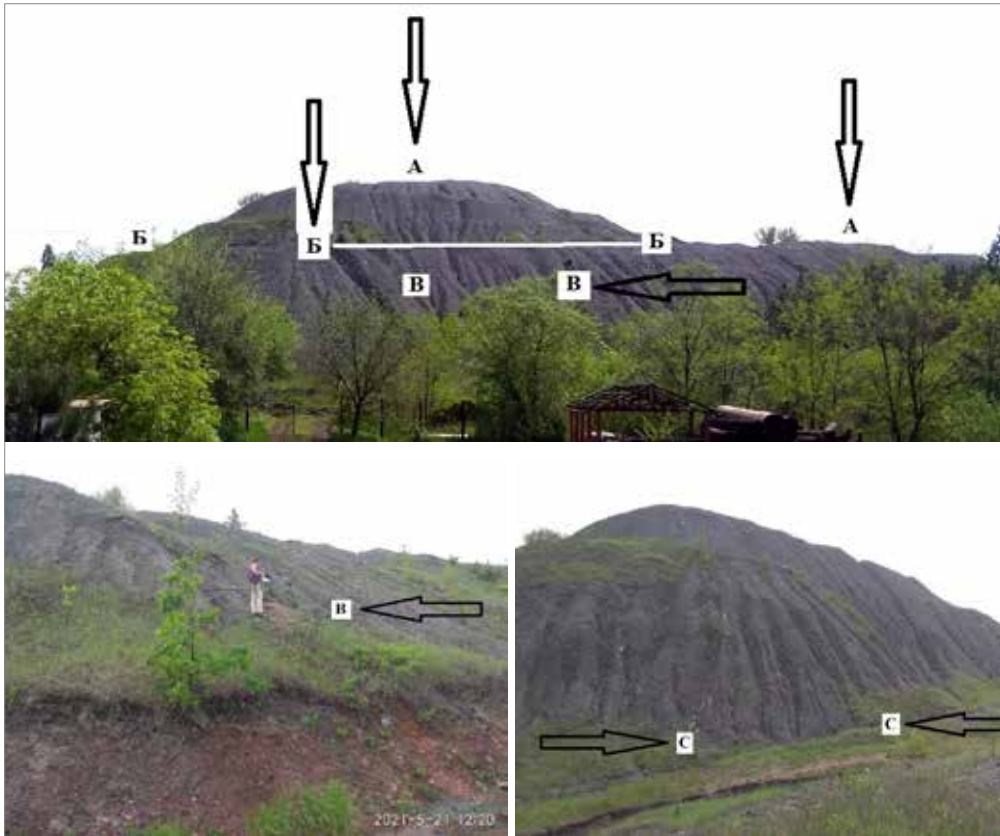


Рис. 3. Складові частини промайданчика 1, 2, що досліджували:
А – плато; Б – тераса; В – схил; С – підосхва

Таблиця 1

Рідкісні види рослин, які знайдені на промисловому майданчику відвалу вугільної шахти ім. М.І. Сташкова (ПРАТ «ДТЕК «Павлоградвугілля»)

№ з.п.	Українська та латинська наукові назви	Червоні книги:		ЄЧС	МСОП (IUCN)
		України (2021)	Дніпропетровської області		
1	2	3	4	5	6
1.	Ковила волосиста <i>Stipa capillata</i> L.	неоцінений	3		–
2.	Ковила Лессінга <i>Stipa lessingiana</i> Trin. et Rupr.	неоцінений	3		–
3.	Ковила пірчаста <i>Stipa pennata</i> L.	вразливий	2		–
4.	Родовик лікарський <i>Sanquisorba officinalis</i> L.	–	3	–	–
5.	Цикорій дикий <i>Cicorium inthybus</i> L.	–	–	LC	–
6.	Латук компасний <i>Lactuca serriola</i> Torner	–	–	LC	–
7.	Молокан татарський <i>Lactuca tatarica</i> (L.) C. A. Mey.	–	–	LC	–
8.	Лядвенець рогатий <i>Lotus corniculatus</i> L.	–	–	LC	–
9.	Люцерна хмелевидна <i>Medicago lupulina</i> L.	–	–	LC	–
10.	Люцерна посівна <i>Medicago sativa</i> L.	–	–	LC	–
11.	Буркун білий <i>Melilotus albus</i> Medik.	–	–	LC	–
12.	Буркун лікарський <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	–	–	LC	–
13.	В'язіль барвистий <i>Securigera varia</i> (L.) Lassen	–	–	LC	–
14.	Конюшина гібридна <i>Trifolium hybridum</i> L.	–	–	LC	–
15.	Дуб звичайний <i>Quercus robur</i> L.	–	–		LC

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
17.	Морква дика <i>Daucus carota</i> L.	–	–	LC	–
18.	Кропива дводомна <i>Urtica dioica</i> L.	–	–	LC	–
19.	Слива колюча <i>Prunus spinosa</i> L.	–	–	LC	–
20.	Очерет південний <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	–	–	–	LC
21.	Тонконіг вузьколистий <i>Poa angustifolia</i> L.	–	–	–	LC
22.	Тонконіг однорічний <i>Poa annua</i> L.	–	–	–	LC

Примітки: **БК** – Бернська конвенція, **ЄЧС** – Європейський Червоний список, **МСОП** (IUCN) – Червоний список Міжнародного союзу охорони природи, **РЧС** – Регіональний Червоний список. **Статус виду:** Червона книга України (2021) – **2** (уразливий), **3** – рідкісний; **РЧС** – **3** (рідкісний); **ЄЧС** – **R** (рідкісний), **I** (невизначений); **за МСОП** – **EN** (Endangered – зникаючий), **LC** (Least Concern – вид знаходиться під найменшою загрозою), **DD** (Data Deficient – відомостей недостатньо)



а)



б)



в)

Рис. 4. Три види ковила на плато породного відвалу шахти ім. М.І. Сташкова: а) ковила пірчаста *Stipa pennata* L.; б) ковила волосиста *Stipa capillata* L.; в) ковила Лессінга *Stipa lessingiana* Trin. et Rupr.

представлений найбільш широко та налічує 21 вид.

Природоохоронний статус мають шість видів (табл. 2), із них п'ять видів входили до Червоної книги України (2009): *Papilio tachaon* (Linnaeus, 1758) природоохоронний статус виду – «уразливий», *Irpichlides podalirius*

(Linnaeus, 1758) природоохоронний статус виду – «уразливий»; *Lucanus cervus* (Linnaeus, 1758) природоохоронний статус виду – «рідкісний»; *Xylocopa valga* (Gerstaecker, 1872) природоохоронний статус виду – «рідкісний» та *Megascolia maculata* (Drury, 1773) природоохоронний статус виду – «неоцінений».

Таблиця 2

Рідкісні види комах і птахів, які ідентифіковані на промисловому майданчику відвалу вугільної шахти ім. М.І. Сташкова (ПРАТ «ДТЕК «Павлоградвугілля»)

№ з.п.	Українська та латинська наукові назви	МСОП (IUCN)	Європейський Червоний список	Червоні книги		Бернська конвенція, № додатку
				України (2021)	Дніпропетровської області (2011)	
1	2	3		4	5	6
Рідкісні види комах						
1.	Махаон <i>Papilio machaon</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	уразливий	2	-
2.	Подалірій <i>Iphiclides podalirius</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	уразливий	2	-
3.	Дукачик непарний <i>Lysaena dispar</i> (Haworth, 1802)	Майже під загрозою	1 (E)	-	-	2
4.	Жук-олень, Рогач звичайний <i>Lycanus cervus</i> Linnaeus, 1758	-	-	рідкісний	3	3
5.	Сколія-гігант <i>Megascolia maculata</i> Drury, 1773	-	-	неоцінений	4	-
6.	Ксилокопа (бджола-гесля) звичайна <i>Xylocopa valga</i> Gerstaecker, 1872	-	-	рідкісний	3	-
Всього		1	1	5	5	2
Рідкісні види птахів						
1	Яструб великий <i>Accipiter gentilis</i>	-	-	-	-	2
2	Боривітер звичайний <i>Falco tinnunculus</i>	-	-	-	-	2
3	Припутень <i>Columba palumbus</i>	-	-	-	-	2
4	Дятел сирійський <i>Dendrocopos syriacus</i>	-	-	-	-	2
5	Сиворакша <i>Coracias garrulus</i>	Майже під загрозою	-	зникаючий	3	2
6	Бджолоїдка звичайна <i>Merops apiaster</i>	-	-	-	-	3
7	Ластівка сільська <i>Hirundo rustica</i>	-	-	-	-	2
8	Ластівка міська <i>Delichon urbicum</i>	-	-	-	-	2
9	Плиска жовта <i>Motacilla flava</i>	-	-	-	-	2
10	Щеврик польовий <i>Anthus campestris</i>	-	-	-	3	2
11	Кам'янка лиса <i>Oenanthe pleschanka</i>	-	-	-	3	2
12	Кам'янка звичайна <i>Oenanthe oenanthe</i>	-	-	-	-	2
13	Сорокопуд терновий <i>Lanius collurio</i>	-	-	-	-	2
14	Сорока <i>Pica pica</i>	-	-	-	-	3
15	Ворона сіра <i>Corvus cornix</i>	-	-	-	-	3
16	Крук <i>Corvus corax</i>	-	-	-	-	3
17	Горобець польовий <i>Passer montanus</i>	-	-	-	-	3
18	Синиця велика <i>Parus major</i>	-	-	-	-	2
19	Зеленяк <i>Chloris chloris</i>	-	-	-	-	2

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6
20	Щиглик <i>Carduelis carduelis</i>	–	–	–	2
21	Коноплянка <i>Acanthis cannabina</i>	–	–	–	2
Всього			1	3	21

Примітки: МСОП (IUCN) – Червоний список Міжнародного союзу охорони природи. Категорії охорони Червоної книги Дніпропетровської області (2011): **2** – уразливий, **3** – рідкісний, **4** – не визначений.

До регіональних рідкісних видів, занесених до Червоної книги Дніпропетровської області (2011), увійшли всі перелічені вище види. Зазначимо, що до нової редакції Червоної книги України (2021) увійшли тільки три останні види.

Два види (*Lucanus cervus* (Linnaeus, 1758) та *Lycaena dispar* (Haworth, 1802)) охороняються положеннями Бернської конвенції; один вид *Lycaena dispar* (Haworth, 1802) – у Європейському Червоному списку як зникаючий та три *Lycaena dispar* (Haworth, 1802) як «майже під загрозою», *Iphiclides podalirius* (Linnaeus, 1758) та *Lucanus cervus* (Linnaeus, 1758), у яких найменші ризики, – у Списку МСОП.

Види безхребетних, що мають охоронні статуси, знайдені лише на плато та підозві відвалу.

Знахідки рідкісних видів батрахо- та герпетофауни. На території породного відвалу зареєстровано по одній особині жаби озерної *Pelophylax ridibundus* (у тимчасовій калюжі) та ящірки прудкої *Lacerta agilis*. Представник амфібій охороняється Червоною книгою Дніпропетровської області (2011), а ящірка прудка внесена до додатку № 2 Бернської конвенції.

Знахідки рідкісних видів орнітофауни. Досліджувана територія є місцем перебування 21 виду птахів. Серед представників, що занесені до Червоної книги України (2009, 2021), була відзначена сиворакша (*Coracias garrulus*). Щеврик польовий (*Anthus campestris*) і кам'янка лиса (*Oenanthe pleschanka*) включені до Червоної книги Дніпропетровської області (2011). Серед інших видів є представники орнітофауни, що охороняються відповідно до вимог Бернської конвенції і внесені до її додатків № 2 (15 видів) та № 3 (6 видів) (табл. 2).

Таким чином, можна стверджувати, що весь комплекс населення птахів даної території має значну природоохоронну цінність.

Знахідки рідкісних видів теріофауни. Обліки слідів життєдіяльності ссавців свідчать про перебування на зазначеній території щонайменше чотирьох видів. За

екскреторними маркерами було встановлено перебування лиса звичайного (*Vulpes vulpes*), зайця сірого (*Lepus europaeus*), полівки гуртової (*Microtus socialis*) та миші (*Muridae* sp.). Ці види не є охоронюваними Червоною книгою України (2009, 2021), але їх наявність свідчить про зростання видової біорізноманітності на породних відвалах шахти. Інших хребетних тварин, які охороняються положеннями Червоної книги України (2009, 2021), не знайдено.

Ботанічне обстеження території відвалу (проммайданчика) показало, що найбільше фіторізноманіття видів флори спостерігається на плато та терасі першої ділянки вугільного відвалу, що пов'язано з процесами вивітрювання на цих ділянках, сильним промиванням атмосферними опадами порід і перегоранням вугілля і сірки, що значно мінімізує їх токсичність. Найменше фіторізноманіття характерне для схилів (впливає їх крутизна) та підозві відвалу (вплив усього комплексу негативних властивостей шахтних порід). На другій та третій ділянках вугільного відвалу рослинність відсутня. Це пояснюється тим, що ділянки знаходяться у стадії самозаймання і характеризуються високим рівнем кислотності, засоленості, наявністю сірчаної кислоти і рухомого алюмінію, що створює несприятливі умови для зростання рослин. Найбільш сприятливі умови для охоронюваних видів рослин стовідсотково склалися на плато, найвищому місці відвалу та місці, що знаходилося найбільший час під процесами природного заростання. Незначна частина видів із широким діапазоном адаптаційних можливостей знаходилася на терасах відвалу та території, що межувала з відвалом, та тільки шість видів – на схилах.

Процес розселення і самовідновлення різних рослин (у тому числі й раритетних) на породних відвалах шахт можна розглядати як реалізацію адаптивної стратегії видів у нових, нехарактерних «штучних» екотопах (Красноштан, 2019). На думку багатьох дослідників, усі розкривні породи потенційно родючі, але ступінь їх родю-

чості різна (Бровко, 2009; Мазур та ін., 2015; Красноштан, 2019 та ін.). Відомо, що заселені на відвалах рослини впливають на інтенсифікацію ґрунтоутворювального процесу. Їхня коренева система сприяє перетворенню недоступних елементів мінерального живлення на доступні (Зверковський, 1999; Claassens et al., 2006; Frouz & Franklin, 2014). Отже, розвиток рослинності на породних шахтних відвалах є надійним свідченням їх придатності для подальшої біорекультивациї.

Зоологічне обстеження території показало, що розповсюдження та потрапляння комах із прилеглих біотопів до шахтного відвалу відбувається внаслідок сезонних та добових міграцій, пошуку партнерів для парування, харчових об'єктів, місць зимівлі. Ентомофауна активно рухається переважно на фазі імаго, долаючи відстань від півкілометра до десятків, а у випадках окремих видів – до декількох сотень кілометрів. Комах-фітофагів приваблюють кормові рослини, тому спостерігається залежність: найщільніша скупченість особин та численність видового складу комах співпадають із ділянками найбільшого фіторізноманіття. Саме тому види, що мають певний охоронний статус, локалізовані на плато та підшві відвалу у розвинутих фітоценозах.

В екологічному аспекті відвал шахти ім. М.І. Сташкова став унікальним елементом ландшафту, де сформувалися нетипові для даної місцевості орнітологічні угруповання.

Значну частку в населенні мають склерофільні представники, біотопічна приуроченість яких значною мірою залежить від наявності оголень материнської породи та

ерозійних порушень ґрунту. Серед таких птахів значну щільність має кам'янка звичайна (*Oenanthe oenanthe*), гнізда якої багато разів знаходили під час обстежень (рис. 5).

Друге місце за населенням мають широко представлені синантропні та урбофільні птахи. Їх перебування зумовлене присутністю людини на околицях відвалу та наявністю великої кількості промислових будівель поряд із досліджуваною територією.

Завдяки цьому на плато і схилах відвалу відзначалися постійні зальоти зграй горобця польового (*Passer montanus*) та голуба сизого (*Columba livia*), чисельність яких була у 2–3 рази вища, ніж серед оточуючих відвал екосистем. Наявність стійкої популяції *C. livia* забезпечує перебування яструба великого (*Accipiter gentilis*), для якого голуби у цій місцевості є головною здобиччю. Мешканці відкритих степових та польових біотопів (пойофіли) на території, що досліджується, представлені поодинокими особинами і стало угруповання не утворюють.

Наявність плисок жовтих (*Motacilla flava*) свідчить про утворення тимчасових водойм (калюж) та початкові етапи формування фрагментів лучної рослинності біля підніжжя відвалу.

Значні перепади абсолютних висот створюють невластиву у регіоні досліджень екологічну «строкатість», яка непересічно впливає на просторовий перерозподіл орнітологічного населення. Зокрема, вона надає досліджуваній території виключного статусу під час сезонних міграцій птахів.

Отже, формування піонерних угруповань птахів на вугільних відвалах Західного Донбасу проходить у такому порядку: склерофіли → урбофіли та синантропи → пойо-



Рис. 5. Гнізда кам'янки звичайної (*Oenanthe oenanthe*) з насидженими яйцями на плато породного відвалу шахти ім. М.І. Сташкова

філи → дендрофіли. Зважаючи на тенденції формування видового різноманіття птахів на породному відвалі, на нашу думку, слід очікувати подальшого збільшення частки видів, що мають охоронюваний статус.

Загалом аналіз флори та фауни показав, що азонльний техногенний елемент ландшафту площею 86,6 га став рефугіумом (пристанищем) для 49 раритетних видів (рослини – 22, комахи – 6, птахи – 21). Із них до Червоної книги України входять сім видів, регіональними рідкісними видами Червоної книги Дніпропетровської області є 11 видів. Види, що охороняються відповідно до вимог Бернської конвенції (внесених до різних додатків), – 23, до Європейського червоного списку – 14 та Списку Міжнародного союзу охорони природи – 8 видів.

Велике біорізноманіття та природоохоронна цінність видів, які використовують відвал вугільної шахти як рефугіум, зумовлені існуванням у межах доступності для розповсюдження рослин та міграції тварин ландшафтного заказника загальнодержавного значення «Мар'їн гай» площею 2 803 га. Він знаходиться на відстані 2,3 км від проммайданчику в південно-західному напрямку і представлений заплавами дібровами, лиманами та солонцюватими луками, ареними сосновими насадженнями та піщаними степами, невеликими озерами (Манюк, 2018). Окрім цього, у межах 13 км від шахтного відвалу знаходяться ландшафтний заказник загальнодержавного значення «Петропавлівські лимани» (площею 4 193 га) та східна частина об'єкта Смарагдової мережі «Самарський ліс» (Emerald UA0000212).

Отже, породні відвали вугільних шахт (на прикладі шахти ім. М.І. Сташкова) можуть бути своєрідними рефугіумами для бага-

тьох раритетних видів рослин, безхребетних і хребетних тварин різного охоронного статусу.

Висновки

Аналіз флори та фауни породного відвалу шахти ім. М.І. Сташкова (площа 86,6 га, Дніпропетровська область, Україна) показав, що цей азонльний техногенний елемент ландшафту став рефугіумом для 49 раритетних видів: рослин (22 види), безхребетних (6 видів) та птахів (21 вид).

Концентрація такої кількості охоронюваних видів різного статусу пояснюється знаходженням поблизу шахтних відвалів об'єктів ПЗФ (загальною площею близько 7 000 га) та східної частини «Самарського лісу» як об'єкта Смарагдової мережі (Emerald UA0000212).

Отримані результати щодо розселення видів свідчать про збільшення діапазону адаптаційних можливостей деяких видів рослин та тварин.

Тенденції формування видового біорізноманіття на промисловому майданчику шахти ім. М.І. Сташкова свідчать про перспективу подальшого збільшення частки видів, що мають раритетний статус.

Породні вугільні відвали шахт (на прикладі шахти ім. М.І. Сташкова) можуть бути своєрідними рефугіумами для багатьох раритетних видів рослин, безхребетних і хребетних тварин різного охоронного статусу.

Екологічну роль породних відвалів необхідно врахувати під час подальшої рекультивації (фітомеліорації) териконів шахт, що закриваються. Розуміючи певну роль териконів (вугільних відвалів) у міграціях птахів, обґрунтованим рішенням було б включення цих техногенних елементів ландшафту в регіональну екомережу.

Список використаної літератури

- Амоша О. І., Стариченко Л. А., Череватський Д. Ю. Стан, основні проблеми і перспективи вугільної промисловості України : наукова доповідь. Донецьк: Ін-т економіки промисловості НАН України, 2013. 44 с.
- Батугін А. С., Мусіна В. Р., Пономарьов В. С. Аналіз геодинамічних умов самозаймання вуглепородних відвалів. *Праці міжнар. наук. симпозиуму «Тиждень гірника – 2018»*. 2018. № 1. Спец. випуск. С. 283–293.
- Бекаревич Н. Е., Масюк Н. Т., Узбек И. Х. Рекомендации по биологической рекультивации земель. Днепропетровск, 1989. 36 с.
- Босак П. В., Попович В. В. Екологічна небезпека підтериконних стічних вод Нововолинського гірничопромислового району EcoLab : монографія. Т. 1. Львів: АДУ БЖД, 2022. 166 с.
- Бровко Ф. М. Лісова рекультивація відвальних ландшафтів Придніпровської височини України : монографія. Київ : Арістей, 2009. 264 с.
- Булахов В. А., Губкин А. А., Мясоєдова О. М. Методические указания по количественному учету позвоночных животных на производственной практике. Днепропетровск: ДГУ, 1986. 52 с.

- Булахов В. А., Пахомов О. Є. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Ссавці (*Mammalia*). Дніпропетровськ : Дніпропетр. ун-т, 2006. 356 с.
- Визначник рослин України. Київ: Урожай, 1965. 876 с.
- Висновок з оцінки впливу на довкілля планованої діяльності «Ліквідація шахти ім. М. І. Сташкова, розташованої в Петропавлівському і Павлоградському районах Дніпропетровської області. Реконструкція». Єдиний реєстр з оцінки впливу на довкілля № 21/1-20208126401/1 від 29.01.2021 р. Міндовкілля, 2021.
- Войтович С. П. Геохімія шахтних вод Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну (на прикладі Червоноградського гірничопромислового району) : дис. ... канд. геол. наук : 04.00.02. 2017. 245 с.
- Геник Я. В. Ревіталізація антропогенно порушених екосистем: методологічні та технологічні аспекти. *Науковий вісник НАТУ України*: зб. наук.-техн. праць. Львів: НАТУ України. 2016. № 26.8. С. 180–185.
- Голобородько К. К., Пахомов О. Є. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Булавовусі лускокрилі (*Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea*). Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т, 2007. 320 с.
- Голобородько К.К., Плющ І.Г., Пахомов О.Є. Біорізноманіття України. Дніпропетровська область. Вищі різновусі лускокрилі. Ч. 1 (*Lepidoptera: Lasioamproidea, Bombycoidea, Noctuoidea*). Дніпропетровськ: ДНУ, 2010. 296 с.
- Гузій А.И. Методи учета птиц в условиях леса. *Матеріали доповідей Міжнар. наук. конф. «Обліки птахів: підходи, методики, результати»*. Львів – Київ, 1997. С. 18–49.
- Драчук Ю.З. Напрямки зменшення негативного впливу на довкілля у вугільному регіоні. *Економічний вісник Донбасу*. 2007. № 1. С. 33–37.
- Загороднюк І., Кисельюк О., Поліщук І., Зеніна І. Бальні оцінки чисельності популяцій та мінімальна схема обліку ссавців. *Вісник Львівського університету. Серія «Біологічна»*. 2002. Вип. 30. С. 8–17.
- Захаров Є.І., Качурін Н.М., Малахова Д.Д. Механізм процесу самонагрівання вугілля і переходу його в самозаймання. *Науки про Землю*. 2013. № 2. С. 42–51.
- Зверковський В.Н. Биогеоценологическое обоснование лесной рекультивации земель, нарушенных угольной промышленностью в степной зоне Украины : дис. ... докт. біол. Наук : 03.00.16. Днепропетровск, 1999. 566 с.
- Зверковський В.М. Фітомеліорація шахтних відвалів у Західному Донбасі. *Український ботанічний журнал*. 1997. Вип. 54(5). С. 474–481.
- Звіт Ініціативи прозорості видобувних галузей в Україні, 2019. Київ : Міжнародний фонд «Відродження», 2019. 90 с.
- Іванов Є. Ландшафти гірничопромислових територій : монографія. Львів : ЛНУ імені Івана Франка. 2007. 334 с.
- Ключко З.Ф., Голобородько К.К., Пахомов О.Є., Афанасьєва В.О. Біорізноманіття України. Дніпропетровська область. Вищі різновусі лускокрилі. Ч. 2. Совки (*Lepidoptera: Noctuidae*). Дніпропетровськ : ДНУ, 2011. 508 с.
- Коваленко А.А., Павличенко А.В. Екологічна небезпека породних відвалів ліквідованих вугільних шахт. *Геотехнічна механіка*. 2013. Вип. 110. С. 114–120.
- Конвенція про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі (Берн, 1979). Київ : Мінекобезпеки України, 1998. 76 с.
- Красноштан О.В. Еколого-біологічні детермінанти успішності зростання видів роду *Pinus* L. на залізрудних відвалах Криворіжжя : автореф. дис. ... к.б.н. : 03.00.16. Дніпро, 2019. 20 с.
- Кузік І.М. Вплив породних відвалів шахт на компоненти довкілля та визначення можливостей щодо його зменшення. *Екологія та природокористування*. 2012. № 15. С. 31–35.
- Мазницька О.В., Крамаренко В.Г., Орел В.І. Чинники фітотоксичного впливу ґрунтів відвалів гірських порід. *Нові технології*. 2011. Вип. 1. С. 127–130.
- Біотехнологія рекультивациі залізрудних відвалів шляхом створення стійких трав'янистих рослинних угруповань / А.Ю. Мазур та ін. *Наука та інновації*. 2015. Т. 11. № 4. С. 41–54.
- Макеєва Д.О. Екологічна небезпека породних відвалів та шляхи вирішення проблеми. *Проблеми екології*. 2013. № 1(31). С. 43–48.
- Манюк В.В. Мар'їн гай. Енциклопедія сучасної України. [Електронний ресурс]. URL: <https://esu.com.ua/article-65924> (дата звернення: 12.06.2023).

Масюк А.Н. Анализ первичной продуктивности насаждений робинии лжеакации на рекультивированных землях степного Приднепровья. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. 2006. Вип. 14. Т. 1. С. 118–125.

Масюк Н.Т. Особенности формирования естественных и культурных фитоценозов на вскрышных горных породах в местах производственной добычи полезных ископаемых. *Рекультивация земель*. Днепропетровск, ДСХИ, 1974. Т. 26. С. 80–86.

Масюк О.М. Особенности формирования корневой системы робинии лжеакации в разных лесорастительных условиях, созданных на рекультивированных землях. *Ґрунтознавство*. 2009. Т. 10. № 1–2(14). С. 65–70.

Масюк О.М. Реакція обліпихових насаджень на зміну потужності відсіпки рекультивованого едафотопу. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія*. 2008. Вип. 416. С. 134–138.

Масюк О.М., Ганжа Д.С., Новіцький Р.О. Аспекти ботанічного обстеження вугільного відвалу шахти М. І. Сташкова (Дніпропетровська область). *Матеріали IV (XV) Міжнар. конф. молодих учених «Наукові основи збереження біотичної різноманітності»*. Львів, 2021. С. 87–90.

Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2021 році. Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2022. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/NacDopovid2021.pdf> (дата звернення: 10.02.2023).

Определитель высших растений Украины. Киев : Наук. Думка, 1987. 548 с.

Мінеральні ресурси України / Г.В. Полуніна та ін. Київ : Державний інформаційний геологічний фонд України, 2020. 270 с.

Перспективы применения финских линейных трансектов (ФЛТ) в учетах гнездящихся птиц для мониторинга их численности / Я. Приедниекс и др. *Орнитология*. 1986. Вып. 21. С. 118–125.

Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. Киев, 1989. 172 с.

Травлеєв А.П., Белова Н.А., Зверковський В.М. Теоретичні основи лісової рекультивації порушених земель у Західному Донбасі на Дніпропетровщині. *Ґрунтознавство*. 2005. Т. 16. № 1–2. С. 19–29.

Україна. 30 років незалежності. Стислий довідник / за ред. А.М. Киридон. Київ : Енциклопедичне вид-во, 2021. 536 с.

Фесенко Г.В., Бокотей А.А. Птахи фауни України: польовий визначник. Київ : Новий друк, 2002. 411 с.

Червона книга Дніпропетровської області. Рослинний світ / авт.-уклад. Б.О. Барановський, В.В. Тарасов. Дніпропетровськ : Баланс-Клуб, 2010. 500 с.

Червона книга Дніпропетровської області. Тваринний світ. Дніпропетровськ : Новий друк, 2011. 488 с.

Червона книга України : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 111 від 15 лютого 2021 р.

Червона книга України. Рослинний світ. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.

Червона книга України. Тваринний світ. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 600 с.

Юрченко А.А., Миронова І.Г. Ґрунтознавство : навчальний посібник. Дніпро : НТУ «ДП», 2022. 225 с.

Claassens S., Riedel K.J., Van Rensburg L., Morgenthal T.L. & Van Rensburg P.J. Soil microbial properties in coal mine tailings under rehabilitation. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2006. V. 4. № 1. P. 75–83.

Frouz J., Franklin J.A. Vegetation and soil development in planted pine and naturally regenerated hardwood stands 48 years after mining. *Journal of American Society of Mining and Reclamation*. 2014. V. 3. № 2. P. 21–40.

Galvin J.M. Ground engineering-principles and practices for underground coal mining. Springer, 2016. 122 p.

IUCN 2020. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1*. [Electronic resource]. URL: <https://www.iucnredlist.org>. (Access date 26.03. 2023).

Masiuk O.M., Kharytonov M.M., Stankevich S.A. Remote and ground-based observations of land cover restoration after forest reclamation within a brown coal basin. *Journal Geology, Geography and Geoecology*. 2020. V. 29. № 1. P. 135–145. <https://doi.org/10.15421/112012>

Masyuk O.M. Dynamics of formation of grass in the plantations of *Hippophae rhamnoides* L. on various types of recultivation of disturbed lands of Western Donbass. *Issues of steppe forestry and forest recultivation of lands*. 2017. № 46. P. 64–76.

Mosyakin S.L., Fedoronchuk M.M. Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist. Kiev, 1999. 346 p.

References (translated & transliterated)

- Amosha, O. I., Starychenko, L. L., & Cherevat's'kyy, D.Yu. (2013). Stan, osnovni problemy i perspektyvy vuhil'noyi promyslovosti Ukrayiny: naukova dopovid' [State, main problems and prospects of the coal industry of Ukraine: scientific report]. Donetsk: Institute of Industrial Economics of the National Academy of Sciences of Ukraine [in Ukrainian].
- Batuhin, A. S., Musina, V. R., & Ponomar'ov, V. S. (2018). Analiz heodynamichnykh umov samozaymannya vuhleporodnykh vidvaliv. Pratsi mizhnarodnoho naukovoho sympoziumu «Tyzhden' hirnyka – 2018», 1 (Spetsial'nyy vypusk) [Analysis of geodynamic conditions of self-ignition of coal dumps. *Proceedings of the international scientific symposium «Miner's Week – 2018»*. 1 (Special Edition)]. 283–293 [in Ukrainian].
- Bekarevich, N. Ye., Masyuk, N. T., & Uzbek, I. Kh. (1989). Rekomendatsii po biologicheskoy rekul'tivatsii zemel'. [Recommendations for biological land reclamation]. Dnepropetrovsk: DSAU [in Russian].
- Bosak, P. V., & Popovych, V. V. (2022). Ekolohichna nebezpeka pidterykonovykh stichnykh vod Novovolyn's'koho hirnychopromyslovoho rayonu EcoLab. [Ecological danger of underground wastewater of the Novovolynsk mining and industrial district EcoLab]: Monograph. 1. L'viv: LDU BZHD [in Ukrainian].
- Brovko, F. M. (2009). Lisova rekul'tyvatsiya vidval'nykh landshaftiv Prydniprovs'koyi vysochyny Ukrayiny: Monohrafiya. [Forest reclamation of fallow landscapes of the Dnieper Highlands of Ukraine: Monograph]. Kyiv: Aristei [in Ukrainian].
- Bulakhov, V. L., Gubkin, A. A., & Myasoyedova, O. M. (1986). Metodicheskiye ukazaniya po kolichestvennomu uchetu pozvonochnykh zhyvotnykh na proizvodstvennoy praktike. [Guidelines for the quantitative accounting of vertebrates in production practice]. Dnepropetrovsk: DSU [in Russian].
- Bulakhov, V. L., & Pakhomov, O. E. Biolohichne riznomanittya Ukrayiny. Dnipropetrovs'ka oblast'. Ssavtsi (Mammalia) (2006). Dnipropetrovsk: Publishing House of Dnipropetr. National University [Biodiversity of Ukraine. Dnipropetrovsk region. Mammalia] [in Ukrainian].
- Vyznachnyk roslyn Ukrayiny (1965). [Identifier of plants of Ukraine]. Kyiv: Harvest [in Ukrainian].
- Vysnovok z otsinky vplyvu na dovkillya planovanoyi diyal'nosti «Likvidatsiya shakhty im. M.I. Stashkova, roztashovanoyi v Petropavlivs'komu i Pavlohrads'komu rayonakh Dnipropetrovs'koyi oblasti. Rekonstruktsiya» (2021). Yedynyy reyestr z otsinky vplyvu na dovkillya № 21/1-20208126401/1 vid 29.01.2021 r. Mindovkillya [Conclusion on the environmental impact assessment of the planned activity «Liquidation of the mine named after M. I. Stashkov, located in the Petropavlovsk and Pavlograd districts of the Dnipropetrovsk region. Reconstruction»] [in Ukrainian].
- Voytovych, S. P. (2017). Heokhimiya shakhtnykh vod L'vivs'ko-Volyn's'koho kamyanovuhil'noho baseynu (na prykladi Chervonohrads'koho hirnychopromyslovoho rayonu) [Geochemistry of mine waters of the Lviv-Volyn coal basin (on the example of the Chervonograd mining district)]. Dys. kand. heol. nauk [in Ukrainian].
- Henyk, Ya. V. (2016). Revitalizatsiya antropohenno porushenykh ekosystem: metodolohichni ta tekhnolohichni aspekty [Revitalization of anthropogenically disturbed ecosystems: methodological and technological aspects]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy: zb. nauk.-tekhn. prats [Scientific bulletin of NLTU of Ukraine: coll. science and technology works]*, 26 (8). 180–185. Lviv. NLTU of Ukraine [in Ukrainian].
- Holoborodko, K. K., & Pakhomov, O. E. (2007). Biolohichne riznomanittya Ukrayiny. Dnipropetrovs'ka oblast'. Bulavovusi luskokryli (*Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea*) [Biodiversity of Ukraine. Dnipropetrovsk region. Mace-bearded Lepidoptera (*Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea*)]. Dnipropetrovsk: Publishing House of Dnipropetr. National University [in Ukrainian].
- Holoborodko, K. K., Plyusch, I. G., & Pakhomov, O. E. (2010). Biolohichne riznomanittya Ukrayiny. Dnipropetrovs'ka oblast'. Vyshchi riznovusi luskokryli. Chastyna 1 (*Lepidoptera: Lasiocampoidea, Bombicoidea, Noctuoidea*). Dnipropetrovsk: Publishing House of Dnipropetr. National University. [Biodiversity of Ukraine. Dnipropetrovsk region. Higher variegated Lepidoptera. Part 1 (Lepidoptera: Lasiocampoidea, Bombicoidea, Noctuoidea)]. Dnipropetrovsk: DNU [in Ukrainian].
- Guziy, A. I. (1997). Metody ucheta ptits v usloviyakh lesa. [Methods for counting birds in forest conditions]. *Obliky ptakhiv: pidkhody, metodyky, rezul'taty: mater. dop. Mizhnar. nauk. konf.* L'viv – Kyiv, 1997. 18–49 [in Russian].

- Drachuk, Yu. Z. (2007). Napryamky zmenshennya nehatyvnoho vplyvu na dovkillya u vuhil'nomu rehioni [Directions for reducing the negative impact on the environment in the coal region]. *Ekonomichnyy visnyk Donbasu [Economic Herald of Donbass]*, 1. 1.33–37 [in Ukrainian].
- Zahorodnyuk, I., Kyselyuk, O., Polishchuk, I., & Zenina, I. (2002). Bal'ni otsinky chysel'nosti populyatsiy ta minimal'na skhema obliku ssavtsiv [Point estimates of the number of populations and the minimum scheme of recording mammals]. *Visnyk L'vivs'koho universytetu. Seriya biologichna [Bulletin of Lviv University. "Biological" series]*, 30. 8–17 [in Ukrainian].
- Zakharov, Ye. I., Kachurin, N. M., & Malakhova, D. D. (2013). Mekhanizm protsesu samonahrivannya vuhillya i perekhodu yoho v samozaymannya [The mechanism of the process of self-heating of coal and its transition to self-ignition]. *Nauky pro Zemlyu [Earth Sciences]*, 2. 42–51 [in Ukrainian].
- Zverkovskiy, V. N. (1999). Biogeotsenologicheskoye obosnovaniye lesnoy rekul'tivatsii zemel', narushennykh ugol'noy promyshlennost'yu v stepnoy zone Ukrainy [Biogeotsenological substantiation of forest reclamation of lands disturbed by the coal industry in the steppe zone of Ukraine]. Diss. Doct. biol. sciences: 03.00.16 – ecology. Dnepropetrovsk: DSU [in Russian].
- Zverkovskyy, V. M. (1997). Fitomelioratsiya shakhtnykh vidvaliv v Zakhidnomu Donbasi [Phytomelioration of mine dumps in Western Donbas]. *Ukrayins'kyy botanichnyy zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, 54 (5). 474–481 [in Ukrainian].
- Zvit Initsiatyvy prozorosti vydobuvnykh haluzey v Ukrayiny (2019). [Report of the Initiative for the Transparency of Extractive Industries in Ukraine]. Kyiv: Mizhnarodnyy fond «Vidrodzhennya» [in Ukrainian].
- Ivanov, Ye. (2007). Landshafty hirnychopromyslovykh terytoriy: Monohrafiya. [Landscapes of mining areas]. Lviv: Vyd-vo LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].
- Klyuchko, Z. F., Holoborodko, K. K., Pakhomov, O. E., & Afanasyeva, V. O. (2011). Biologichne riznomanittya Ukrayiny. Dnipropetrovs'ka oblast'. Vyshchi riznovusi luskokryli. Chastyna 2. Sovky (*Lepidoptera: Noctuidae*) [Biodiversity of Ukraine. Dnipropetrovsk region. Higher variegated Lepidoptera. 2. Scoops (*Lepidoptera: Noctuidae*)]. Dnipropetrovsk: Publishing House of Dnipropetr. National University [in Ukrainian].
- Kovalenko, A. A., & Pavlychenko, A. V. (2013). Ekologichna nebezpeka porodnykh vidvaliv likvidovanykh vuhil'nykh shakht [Ecological danger of rock dumps of liquidated coal mines]. *Heotekhnichna mekhanika [Geotechnical mechanics]*, 110. 114–120 [in Ukrainian].
- Konventsia pro okhoronu dykoyi flory i fauny ta pryrodnykh seredovyschch isnuvannya v Yevropi (1998). [Convention on the Conservation of Wild Flora and Fauna and Natural Habitats in Europe]. Kyiv: Minekobepeky Ukrayiny [in Ukrainian].
- Krasnoshtan, O. V. (2019). Ekolocho-biologichni determinanty uspishnosti zrostannya vydiv rodu Pinus L. na zalizorudnykh vidvalakh Kryvorizhzhya [Ecological and biological determinants of growth success of species of the genus Pinus L. on iron ore dumps in Kryvorizhzhya]. Avtoref. dys. kand. biol. nauk. Dnipro: Oles' Honchar DNU [in Ukrainian].
- Kuzik, I. M. (2012). Vplyv porodnykh vidvaliv shakht na komponenty dovkillya ta vyznachennya mozhyvostey shchodo yoho zmenshennya [Impact of mine tailings on environmental components and determination of opportunities for its reduction]. *Ekolohiya ta pryrodokorystuvannya [Ecology and nature management]*, 15. 31–35 [in Ukrainian].
- Maznyts'ka, O. V., Kramarenko, V. H., & Orel V. I. (2011). Chynnyky fitotoksychnoho vplyvu gruntiv vidvaliv hirs'kykh porid [Factors of phytotoxic effect of rock dump soils]. *Novi tekhnolohiyi [New technologies]*, 1. 127–130 [in Ukrainian].
- Mazur, A. Yu., Kucherevs'kyy, V. V., Shol', H. N., ta in. (2015). Biotekhnolohiya rekul'tyvatsiyi zalizorudnykh vidvaliv shlyakhom stvorennya stiykykh trav'yanystykh roslynnykh uhrupovan' [Biotechnology of reclamation of iron ore dumps by creating stable herbaceous plant communities]. *Nauka ta innovatsiyi [Science and innovation]*, 11 (4). 41–54 [in Ukrainian].
- Makeyeva, D. O. (2013). Ekologichna nebezpeka porodnykh vidvaliv ta shlyakhy vyrishennya problemy [Ecological danger of rock dumps and ways to solve the problem]. *Problemy ekolohiyi [Ecological problems]*, 1 (31). 43–48 [in Ukrainian].
- Manyuk, V. V. (2018). Mar'yn hay. Entsyklopediya Suchasnoyi Ukrayiny [Marin grove. Encyclopedia of modern Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://esu.com.ua/article-65924> (access date 04.04.2023) [in Ukrainian].
- Masyuk, A. N. (2006). Analiz pervychnoy produktyvnosti nasazhdeny robyny lzheakatsyy na rekul'tyvyrovannykh zemlyakh stepnoho Prydneprov'ya. [Analysis of the primary productivity of

planted robinia false acacia on recultivated lands of the Dnieper steppe]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu. Biologiya. Ekologiya* [Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology], 14 (1). 118–125 [in Russian].

Masyuk, N. T. (1974). Osobennosti formirovaniya yestestvennykh i kul'turnykh fitotsenozov na vskryshnykh gornykh porodakh v mestakh proizvodstvennoy dobychi poleznykh iskopayemykh [Features of the formation of natural and cultural phytocenoses on overburden rocks in places of industrial mining]. *Rekul'tivatsiya zemel'* [Land reclamation], 26. Dnepropetrovsk, DSAI [in Russian].

Masyuk, A. N. (2009). Osobennosti formirovaniya kornevoy sistemy robinii lzheakatsii v raznykh lesorastitel'nykh usloviyakh, sozdannykh na rekul'tivirovannykh zemlyakh [Features of the formation of the root system of black locust pseudoacacia in different forest conditions created on reclaimed lands]. *Gruntoznaustvo* [Pedology], 10 (1–2). 65–70 [in Russian].

Masyuk, O. M. (2008). Reaktsiya obliptykhovykh nasadzen' na zminu potuzhnosti vidsypky rekul'tyvanoho edafotopu [The reaction of sea buckthorn plantations to a change in the strength of the fallow of the reclaimed edaphotope]. *Naukovyi visnyk Chernivets'koho universytetu. Biologiya* [Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Biology], 416. 134–138. [in Ukrainian].

Masyuk, O. M., Ganzha, D. S., & Novitskyi, R. O. (2021). Aspekty botanichnoho obstezhennya vuhil'noho vidvalu shakhty M.I. Stashkova (Dnipropetrovs'ka oblast') [Aspects of the botanical survey of the coal dump of the MI Stashkov mine (Dnipropetrovsk region)]. *Naukovi osnovy zberezheniya biotychnoyi riznomanitnosti: mat-ly IV (XV) Mizhnarodnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh* [“Scientific foundations of conservation of biotic diversity” Materials IV (XV) International. conf. young scientists]. L'viv. 87–90. [in Ukrainian].

Natsional'na dopovid' pro stan navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyscha v Ukrayini v 2021 rotsi. (2022). Kyiv: Ministerstvo zakhystu dovkillya ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny. [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2021]. [Electronic resource] URL: <http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/NacDopovid2021.pdf> (access date 10.02.2023) [in Ukrainian].

Opredelitel' vysshikh rastenyi Ukrainy. (1987). [Key to higher plants of Ukraine]. Kiev: Nauk. dumka. [in Russian].

Polunina, H. V., Bashkirova, H. O., Koval', O. M., ta in. (2020). Mineral'ni resursy Ukrayiny [Mineral resources of Ukraine]. Kyiv: DNVP «Derzhavnyy informatsiynyy heolohichnyy fond Ukrayiny». [in Ukrainian].

Priyedniyeys, Ya., Strazds, M., Peterkhofs, E., Strazds, A., & Petrin'sh, A. (1986). Perspektivy primeneniya finskikh lineynykh transektov (FLT) v uchetakh gnezdyashchikhysya ptits dlya monitoringa ikh chislennosti [Prospects for the use of Finnish linear transects (FLT) in nesting bird counts for monitoring their numbers]. *Ornitologiya* [Ornithology], 21. 118–125. [in Russian].

Rukovodstvo po izucheniyu zemnovodnykh i presmykayushchikhysya. (1989). [Guide to the Study of Amphibians and Reptiles]. Kiev. [in Russian].

Travlyeyev, A. P., Byelova, N. A., & Zverkovs'ky, V. M. (2005). Teoretychni osnovy lisovoyi rekul'tyvatsiyi porushenykh zemel' u Zakhidnomu Donbasi na Dnipropetrovshchyni [Theoretical foundations of forest reclamation of disturbed lands in Western Donbas, Dnipropetrovsk region]. *Gruntoznaustvo* [Pedology], 16 (1–2). 19–29 [in Ukrainian].

Ukrayina. 30 rokiv nezalezhnosti. Styslyy dovidnyk (2021). Za red. A. M. Kyrydon. [Ukraine. 30 years of independence. Concise Guide]. Kyiv: Entsyklopedychne vyd-vo [in Ukrainian].

Fesenko, G. V., & Bokotey, A. A. (2002). Ptakhy fauny Ukrayiny: pol'ovyy vyznachnyk [Birds of the fauna of Ukraine: a field determinant]. Kyiv: Novyi druk. [in Ukrainian].

Chervona knyha Dnipropetrovs'koyi oblasti. Roslynniyi svit (2010) / B. O. Baranovs'ky & V. V. Tarasov. [Red book of Dnipropetrovsk region. Plant world]. Dnipropetrovsk: VKK «Balance-Club». [in Ukrainian].

Chervona knyha Dnipropetrovs'koyi oblasti. Tvarynniyi svit. (2011). [Red book of Dnipropetrovsk region. Fauna]. Dnipropetrovsk: New Printing LLC. [in Ukrainian].

Chervona knyha Ukrayiny. (2021). Zatverdzhena nakazom Ministerstva zakhystu dovkillya ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny № 111 vid 15 lyutoho 2021 r. [Red Book of Ukraine]. [Electronic resource] URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/111-n.pdf> (access date 10.02.2023) [in Ukrainian].

Chervona knyha Ukrayiny. Roslynniyi svit (2009) [Red Book of Ukraine. Plant world]. Kyiv: Globalconsulting. [in Ukrainian].

Chervona knyha Ukrayiny. Tvarynniyi svit. (2009) [Red Book of Ukraine. Fauna]. Kyiv: Globalconsulting [in Ukrainian].

Yurchenko, A. A., & Myronova, I. H. (2022). Gruntoznavstvo: navch. posibnyk [Soil science: education. manual]. Dnipro: NTU «DP» [in Ukrainian].

Claassens, S., Riedel, K. J., Van Rensburg, L., Morgenthal, T. L., & Van Rensburg, J. (2006). Soil microbial properties in coal mine tailings under rehabilitation. *Applied Ecology and Environmental Research*, 4(1), 75–83 [in English].

Frouz, J., & Franklin, J.A. (2014). Vegetation and soil development in planted pine and naturally regenerated hardwood stands 48 years after mining. *Journal of American Society of Mining and Reclamation*, 3(2). P. 21–40. <https://doi.org/10.21000/JASMR14020021> [in English].

Galvin, J. M. (2016). Ground engineering-principles and practices for underground coal mining. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25005-2> [in English].

IUCN 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1. [Electronic resource] URL: <https://www.iucnredlist.org> (access date 10.02.2023) [in English].

Masiuk, O. M., Kharytonov, M. M., & Stankevich S. A. (2020). Remote and ground-based observations of land cover restoration after forest reclamation within a brown coal basin. *Journal Geology, Geography and Geoecology*, 29 (1), 135–145. <https://doi.org/10.15421/112012/> [in English].

Masyuk, O. M. (2017). Dynamics of formation of grass in the plantations of *Hippophae rhamnoides* L. on various types of recultivation of disturbed lands of Western Donbass. *Issues of steppe forestry and forest recultivation of lands*, 46. 64–76 [in English].

Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist. Kyiv [in English].

Отримано: 10.05.2023
Прийнято: 01.06.2023



УДК 502.51:556.53(477.82)
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.18>

ВПЛИВ ВОДОГОСПОДАРСЬКОГО КОМПЛЕКСУ М. ЛУЦЬКА НА ЗАБРУДНЕННЯ ВОД Р. СТИР

В. О. Фесюк¹, З. К. Карпюк², Д. В. Журба³

Дослідження впливу міських водогосподарських комплексів на якість води річок та їх екологічний стан необхідні для раціонального використання водних ресурсів, забезпечення населення якісними та безпечними джерелами води, протидії техногенним аваріям і катастрофам. Метою статті є з'ясування чинників, процесів та результатів негативного впливу урбоєкосистеми м. Луцька на якість води р. Стир й обґрунтування шляхів його зменшення. Для досягнення мети необхідно дослідити особливості природних умов басейну річки, проаналізувати чинники формування якості води р. Стир, оцінити вплив скиду очищених стічних вод із Луцьких міських комунальних очисних споруд на якість води річки, обґрунтувати шляхи зменшення її забруднення та поліпшення гідроекологічного стану річки. Гідроекологічна оцінка проведена згідно з Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Статистична обробка проведена методами: описової статистики, регресійного аналізу, кореляційного аналізу, аналізу головних компонент. Результатом дослідження є встановлення масштабів та наслідків впливу скиду очищених стічних вод із міських комунальних очисних споруд м. Луцька на якість води річок р. Стир.

Наукова новизна полягає у розрахунку коефіцієнта кореляції для рядів спостереження концентрації забруднюючих речовин у воді р. Стир в місці скиду стічних вод та нижче місця скиду, вище та нижче місця скиду і доведенні високої щільності зв'язку. Практична значущість дослідження передбачає можливість використання його результатів для розроблення заходів щодо зменшення негативного впливу водогосподарського комплексу міста на якість води р. Стир.

Ключові слова: водогосподарський комплекс міста, скид стічних вод, комунальні очисні споруди, якість води річки, шляхи зменшення впливу скиду стічних вод на якість води річки.

¹ доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
fesyuk@ukr.net

ORCID: 0000-0003-3954-9917

² кандидат географічних наук, доцент,
доцент кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
karpyuk.zk@ukr.net

ORCID: 0000-0002-8073-3129

³ здобувач магістерського рівня вищої освіти кафедри фізичної географії
(Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк)
ORCID: 0009-0005-7814-4789

INFLUENCE OF LUTSK WATER MANAGEMENT COMPLEX ON WATER POLLUTION OF THE RIVER STYR

V. O. Fesyuk, Z. K. Karpyuk, D. V. Zhurba

Studies of the impact of urban water management complexes on river water quality and their ecological status are necessary for the rational use of water resources, providing high-quality and safe water sources to the population, and counteracting man-made accidents and disasters. The purpose of this article is to clarify the factors, processes, and results of the negative impact of the Lutsk urboecosystem of on the water quality of the Styr River and to substantiate ways to reduce it. To achieve this goal, it is necessary to investigate the peculiarities of the natural conditions of the river basin, analyze the factors that shape the water quality of the Styr River, assess the impact of discharges of treated wastewater from the Lutsk municipal wastewater treatment plants on the water quality of the river, and substantiate ways to reduce its pollution and improve its hydroecological condition. The hydroecological assessment was conducted in accordance with the Methodology for Environmental Assessment of Surface Water Quality by Relevant Categories. Statistical processing was carried out using the following methods: descriptive statistics, regression analysis, correlation analysis, principal component analysis. The result of the study is to establish the scale and consequences of the impact of discharge of treated wastewater from the municipal wastewater treatment plants of Lutsk on the water quality of the Styr River. The novelty of this study is to calculate the correlation coefficient for the series of observations of the concentration of pollutants in the water of the Styr River at the point of wastewater discharge and above and below the discharge site, and to demonstrate the strong correlation. The practical significance of the study suggests the possibility of using its results to develop measures to reduce the negative impact of the city's water management complex on river water quality.

Key words: urban water management complex, wastewater discharge, municipal wastewater treatment plants, river water quality, ways to reduce the impact of wastewater discharge on river water quality.

Вступ

Основним завданням дослідження впливу урбоєкосистем на якість річкової води є поглиблення розуміння взаємозв'язку між господарською діяльністю, міським середовищем та якістю води. Глибше розуміння суті механізмів і процесів, які визначають якість води в межах впливу міст, створює можливості для розроблення стратегії подолання негативних наслідків, проектування стійкіших і життєздатніших міських ландшафтів, що сприяють здоров'ю і добробуту людей, а також захисту навколишнього середовища. Дослідження впливу міських водогосподарських комплексів на якість води річок та їхній екологічний стан пов'язані з реалізацією державної та місцевої політики, що спрямована на раціональне використання водних ресурсів, забезпечення населення якісними та безпечними джерелами води, протидію техногенним аваріям і катастрофам.

Питання екологічного стану р. Стир досить детально висвітлено в науковій літературі, оскільки р. Стир – одна з найбільших у Волинській області приток р. Прип'ять. Зокрема, особливості природних умов басейну описано у монографіях (Фесюк, 2013; Сучасний ..., 2016), стан ПЗФ та регіональна екомережа басейну проаналізовано

у статті (Петлін та ін., 2021), структурна основа рельєфу басейну детально вивчена у праці (Черваньов, 1968). Поверхневі води району, зокрема річки, досліджувалися у монографії (Мольчак і Мігас, 1999), а особливості антропогенного впливу на них – у роботі (Мольчак та ін., 2004). Найповніше гідрохімічний режим р. Стир розглянуто в роботі, присвяченій питанням екологічного стану 30-кілометрової зони впливу Рівненської АЕС (Бедункова, 2009), водогосподарський комплекс м. Луцька та екологічні аспекти забруднення води р. Стир (Фесюк, 2013), руслові процеси р. Стир (Бровко і Залеський, 2007). Найбільш ґрунтовніше дослідження впливу водного чинника на гідроекологічний стан басейну р. Стир та якість поверхневих вод проведено в роботах (Ганущак і Тарасюк, 2014; 2015). Питання впливу урбоєкосистем на якість води річок на їхній екологічний стан розглядалися не лише у працях вітчизняних науковців, а й в іноземних дослідженнях. Варто відзначити такі статті: Agrawal et al., 2023, присвячену впливу урбанізації на якість води; Glińska-Lewczuk, et al., 2016, де вивчається вплив на якість води р. Лини міст, що знаходяться на її берегах; de Milleville et al., 2023 – про антропогенний вплив на гідроекосистеми р. Мерантез; Liu

et al., 2023 – про управління якістю води шляхом скоординованого розподілу навантаження між міською і сільською місцевостями; Li et al., 2023 – про фосфорне навантаження в межах водозбірного басейну та його вплив на екологічний стан річки; Li et al., 2023 – про спільний вплив урбанізації та інтенсифікації сільського господарства на якість води. Але питання саме впливу скиду очищених стічних вод із міських комунальних очисних споруд м. Луцька на якість води р. Стир вимагає детальнішого та ґрунтовнішого вивчення. Оскільки процес впливу динамічний, важливо відстежувати не лише сучасний стан, а й вивчати динаміку впливу.

Метою статті є з'ясування чинників, процесів та результатів негативного впливу урбоекосистеми м. Луцька на якість води р. Стир й обґрунтування шляхів його зменшення. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити особливості природних умов басейну річки; проаналізувати чинники формування якості води р. Стир;
- оцінити вплив скиду очищених стічних вод із Луцьких міських комунальних очисних споруд на якість води річки;
- обґрунтувати шляхи зменшення її забруднення та поліпшення гідроекологічного стану.

Матеріал і методи

Під час дослідження використано матеріали Державної екологічної інспекції у Волинській області (протоколи вимірювань показників складу та властивостей води за 2017–2022 рр.), Відділу екології Луцької міської ради (Звіт про стратегічну екологічну оцінку Програми економічного і соціального розвитку Луцької міської територіальної громади на 2021 р.), інформаційні матеріали КП «Луцькводоканал» (Інвестиційні програми за 2017–2022 рр.), літературні джерела та електронні ресурси. Гідроекологічна оцінка проведена згідно з Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Статистична обробка даних гідроекологічного моніторингу проведена методами: дескриптивної статистики, регресійного аналізу, кореляційного аналізу, аналізу головних компонент.

Результати та обговорення

Витік р. Стир знаходиться біля с. Пониква Бродівського району Львівської області. Течія річки проходить через Мале Полісся, Волинську височину і Поліську низовину. Місто Луцьк знаходиться у центральній

частині басейну в межах Волинської височини (рис. 1).

Довжина р. Стир – 494 км, у т. ч. в межах України – 445 км, Волинської області – 235 км. Площа басейну – 12 900 км². Падіння річки – 119,4 м, похил – 0,34 м/км, лісистість басейну – 22%, заболоченість – 14%. Стир у межах Волинської області приймає понад 10 приток. Найбільшими є р. Родоставка (ліва), р. Бовдурка (права), р. Слонівка (права), р. Пляшівка (права), р. Сірна (ліва), р. Конопелька (права), р. Липа (ліва), р. Іква (права), р. Річиця (ліва), р. Кормин (права) (Мольчак і Мігас, 1999).

Басейн річки простягається з південного заходу на північний схід. Нижня (Поліська) частина басейну – слабо розчленована низовина (абсолютні відмітки – 140–170 м) із великою кількістю меандр, малим ухилом русла, значним поширенням лісів, озер, боліт. Верхній (височинний) частині властиві значно вищі висотні відмітки (200–300 м), горбистий рельєф, густо розчленований яро-балковою та річковою мережами. Долина річка у верхній та середній течії – трапецевидна, у пониззі – невиразна (Ганущак і Тарасюк, 2014).

Висока густина річкової мережі і значні водні ресурси зумовили складність і розгалуженість водного господарства басейну (рис. 2).

Аналізуючи структуру річкового басейну, варто звернути увагу на значну частку боліт, заболочених і перезволожених земель – 415 тис га (30%). Близько половини із цих площ у другій половині ХХ ст. були осушені. Сьогодні більша частина колись збудованих осушувальних систем малоефективна, потребує ремонту і реконструкції водоприймачів, заміни гончарного дренажу, двостороннього регулювання водного режиму осушених угідь.

У басейні щорічно споживається близько 79,4 млн м³ води, із них 51,2 млн м³ підземних вод 28,2 млн м³ поверхневих вод. Найбільша частка припадає на промисловість – 48%, сільське господарство – 36%, міське комунальне господарство – 16%. Найбільшим споживачем води є м. Луцьк (рис. 3) (Фесюк, 2013). Причому у споживанні води містом характерна тенденція – постійне зростання частки водопостачання населення і комунальної сфери. Синхронно знижується частка промисловості водоспоживання з 1990 р. (рис. 4) через зменшення обсягів промислового виробництва і реалізацію заходів економії води. В оборотному

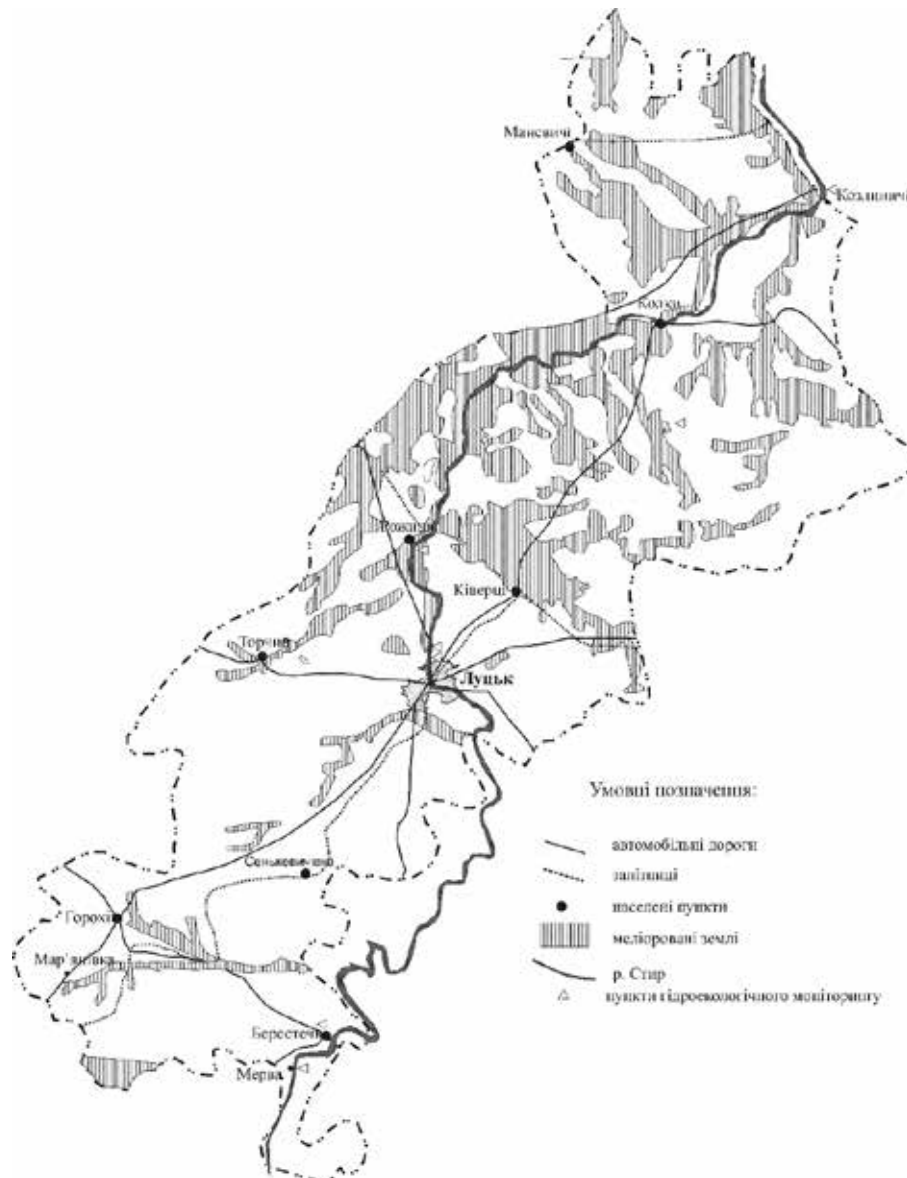


Рис. 1. Картохема басейну р. Стир (запозичено з роботи (Фесюк, 2013))



Рис. 2. Структура водного господарства басейну р. Стир

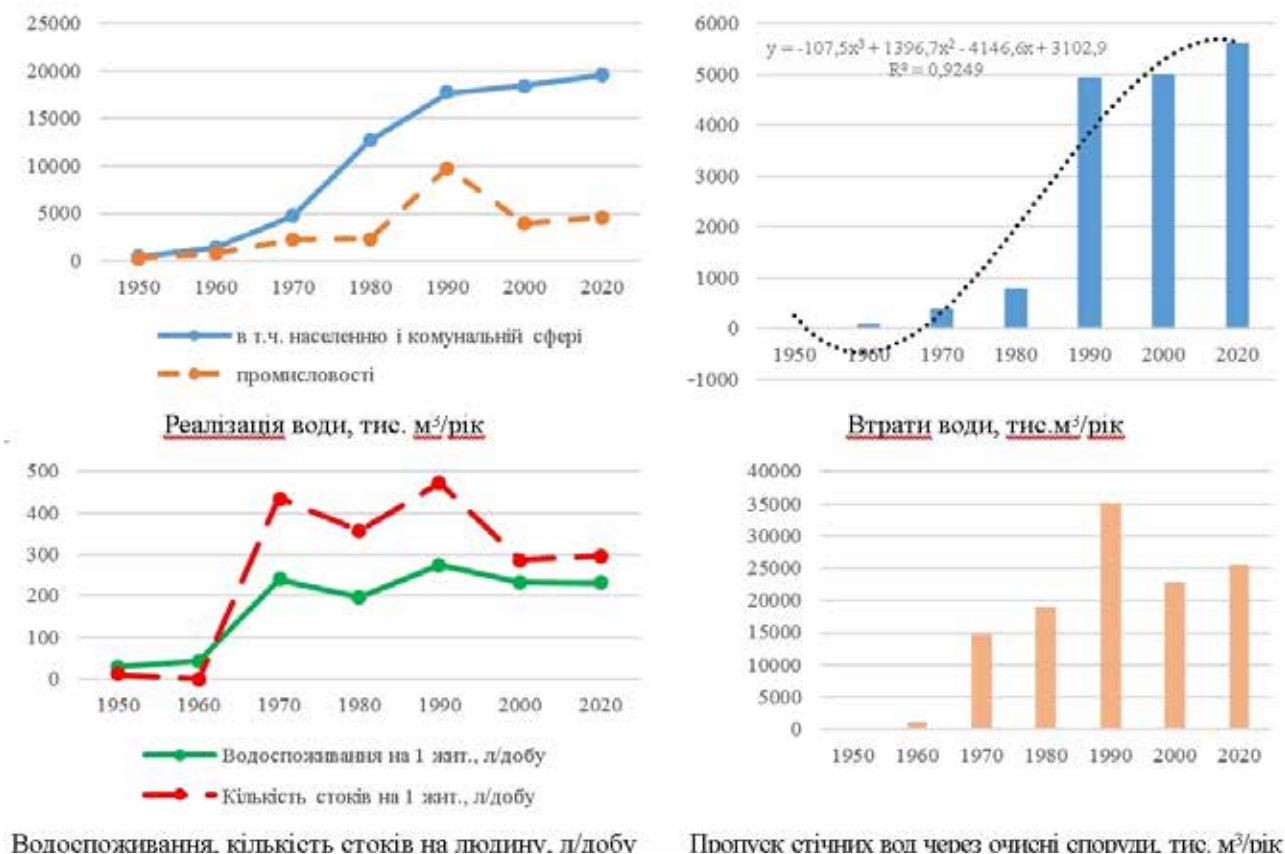


Рис. 3. Динаміка водокористування м. Луцька (за матеріалами підприємства «Луцькводоканал»)



Рис. 4. Водовідведення в басейні р. Стир (Фесюк, 2013; Екологічний ..., 2021)

водопостачанні підприємств акумульовано 23,4 млн м³ на рік (40%) (Фесюк, 2013).

Об'єм водовідведення в басейні – 44,4 млн м³ на рік. У структурі водовідведення найбільша частка припадає на промисловість – 70%, міське комунальне господарство – 20% та сільське господарство – 10%.

Урбоєкосистема міста впливає на довкілля навколишньої території, зумовлюючи зміни кількісного та якісного стану водних ресурсів, рельєфу, клімату, ландшафтів.

Для м. Луцька властиві такі ж самі екологічні проблеми, що й для інших міст України: виснаження водних ресурсів, зниження якості води і недостатня екологічна безпека водокористування. Спільними рисами є також зменшення обсягів водозабору й водовідведення порівняно з 90-ми роками ХХ ст., фізична зношеність і аварійність споруд водогосподарського комплексу, недостатність коштів для підтримання у належному стані інженерних комунікацій, будівництва

нових об'єктів, відставання від передового інженерно-технологічного досвіду тощо (Фесюк, 2013).

Специфічною для міста проблемою є орієнтація комунально-побутового, господарсько-питного, виробничого водопостачання виключно на ресурси підземних вод. У структурі сумарного водозабору містом на поверхневій воді припадає менше як 1%. Окрім промисловості і комунального господарства забруднюють поверхневий стік й інші об'єкти, наприклад військового призначення (військові частини, аеродром). Унаслідок функціонування в окремих частинах міста роздільної системи каналізування комунальних стічних вод і стічних вод із міської території дощовий стік без будь-якої очистки потрапляє у найближчі річки. В окремих районах міста ці води відводяться спільно з каналізаційними стоками і проходять очи-

стку на комунальних очисних спорудах, ще в деяких районах міста відсутня каналізація дощового стоку (рис. 5).

У галузевій структурі використання води найбільша частка промисловості (включно з транспортом та енергетикою), сільського господарства (зрошуване землеробство), комунального господарства. Села громади переважно забезпечуються водою з міського водопроводу.

Якщо прослідкувати динаміку промислового водоспоживання, то видно, що воно зростало синхронно з розвитком промисловості до початку 80-х років ХХ ст. Наприкінці 80-х років частка промислового водоспоживання дещо зменшилася за рахунок збільшення кількості населення міста і збільшення використання води комунального господарства, появи власних водозборів у великих промислових підприємств,

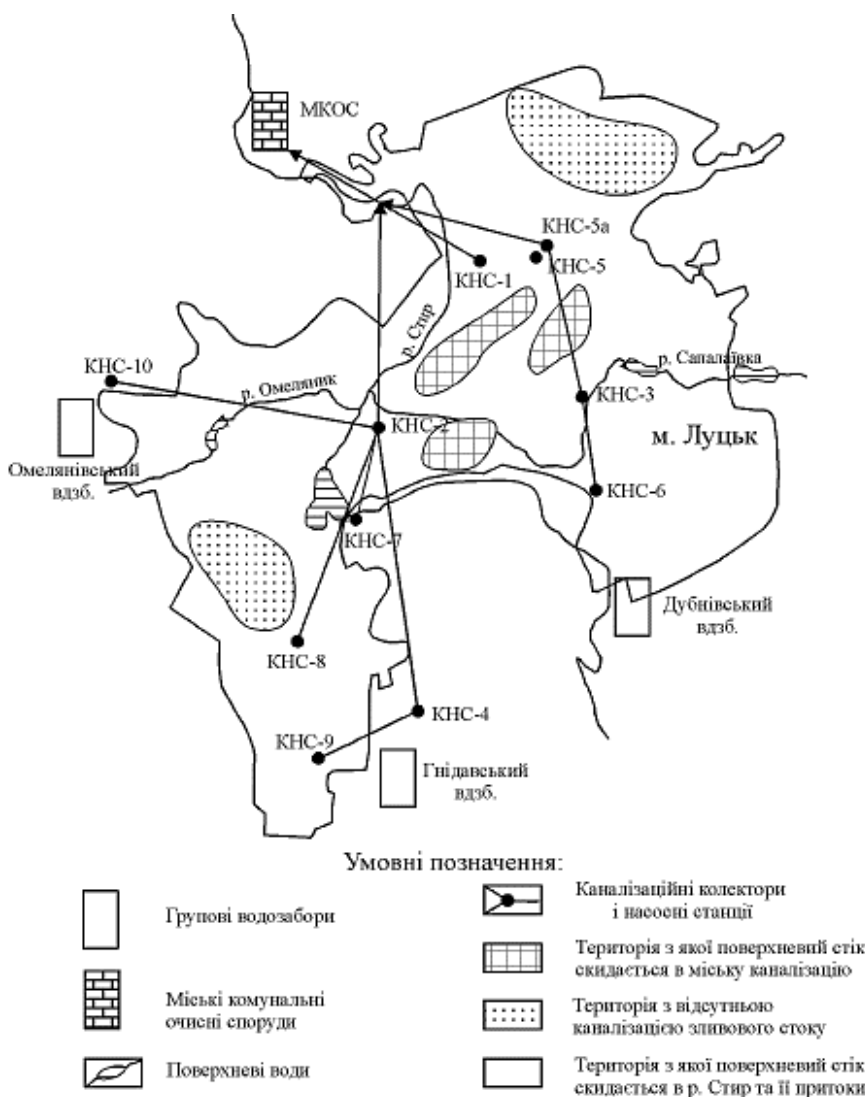


Рис. 5. Схема водогосподарського комплексу (ВГК) м. Луцька (Фесюк, 2013)

збільшення використання води промисловою у замкнених водогосподарських циклах. Із 1992 р. відбулося різке зниження промислового водоспоживання через економічну кризу, простої, ліквідацію окремих промислових підприємств (Фесюк, 2013).

Водночас абсолютні обсяги комунального водоспоживання теж зменшилися. Але їхня частка у структурі сумарного водозабору збільшилася дзеркально до промислового через оснащення житла приладами водообліку й удосконалення санітарно-технічного обладнання.

Для водозабезпечення м. Луцька нині використовуються три групові водозабори (рис. 5): Дубнівський, Омелянівський та Гнідавський. На них експлуатується 55 артезіанських свердловин глибиною від 27 до 180 м. Номінальна потужність комунального водопроводу становить 82,0 тис м³/добу. Використання свіжої води в місті продовжує скорочуватися (Сучасний ..., 2016).

Експлуатацію групових водозаборів проводить КП «Луцькводоканал». Окремі підприємства також мають локальні системи водопостачання. Таких налічується 19, водозабір із поверхневих вод здійснюють чотири підприємства. За даними КП «Луцькводоканал», якість питної води централізованого водопроводу відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-170-10, лише перевищений уміст заліза. Негативний вплив водокористування на підземні води проявляється у виснаженні водоносного горизонту і формуванні депресійних воронкоподібних підземних вод, що охоплюють частково м. Луцьк і прилеглі села Підгайці, Крупа, Лище, Боратин, Новостав. Проте їхні розміри зменшилися порівняно з 90-ми роками ХХ ст. (Екологічний ..., 2021).

Об'єм водовідведення міста визначається різницею між використанням свіжої води та її безповоротними втратами в процесі використання. За даними Екологічного паспорта м. Луцька, за останні роки з природних водних об'єктів забиралося 18,7–19,7 млн м³ на рік, загальне водовідведення – 13,1–16,9 млн м³. Охоплення житлового фонду міста централізованою каналізаційною системою становить 89,1%. Не охоплена лише частково індивідуальна житлова забудова, де використовуються вигрібні ями.

Для подачі стоків на міські каналізаційні очисні споруди використовуються 11 каналізаційних насосних станцій (КНС). Їхня мережа охоплює усе місто (див. рис. 5).

Потребують капітального ремонту вісім КНС, низка каналізаційних колекторів, а ще шість КНС – реконструкції. Очистка комунальних стоків розпочинається ще в каналізаційному колекторі. А тому стан КНС та колекторів дуже важливий для безаварійного функціонування водогосподарського комплексу і забезпечення належної якості очистки стічних вод (Фесюк, 2013).

Луцькі міські комунальні очисні споруди знаходяться за 2 км на північний захід від міста, у с. Липляни, і здійснюють механічну та біологічну очистку стічних вод із доочищенням у біоставках. Їхня потужність – 120 тис м³/добу. Реально об'єм каналізаційних стоків набагато менший. Споруди експлуатуються з 1974 р. Їхній технічний стан – суттєвий чинник впливу на якість поверхневих вод. Очисні споруди вимагають капітального ремонту і реконструкції, мулові карти переповнені, мул на відстійниках утилізується не повністю, стічні води знезаражуються частково, великий відсоток мереж та обладнання насосних станцій перебуває в аварійному стані. Негативний вплив на якість річкових вод чинять також промислові та аварійні стоки каналізаційної мережі, неканалізовані стоки з околиць міста (Інвестиційна ..., 2022).

Власні очисні споруди експлуатують ТзОВ «АКПФ» та ПАТ «Гнідавський цукровий завод». Очисні споруди зливових стоків функціонують на ПАТ «СКФ Україна» та ДП МОУ АРЗ «Мотор». Окремі транспортні підприємства обладнані відстійниками перед скидом у міську каналізаційну мережу, автомийки – малими очисними спорудами, інші підприємства скидають стічні води у міську каналізацію (Екологічний ..., 2021).

Скид очищених стічних вод з очисних споруд КП «Луцькводоканал» зумовлює забруднення води р. Стир нижче за течією від міста. Зокрема, зафіксовано перевищення ГДК по БСК, амонію сольовому, фосфатах, залізу загальному, нітритах та інших забруднюючих речовинах, а також за мікробіологічними показниками (Фесюк, 2013). Під час аналізу впливу скиду найбільш важливими є такі аспекти:

- кратність перевищення концентрацій забруднюючих речовин у воді річки в місці скиду стічних вод над ГДК (рибогосподарською);
- перевищення вмісту забруднюючих речовин нижче скиду стічних вод над концентраціями у створі, що розміщується вище за течією;

- екологічна оцінка якості води та вплив на неї скидів з очисних споруд;
- щільність взаємозв'язку між скидом забруднюючих речовин та їх концентрації у річковій воді нижче за течією.

Через перевищення концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах, що скидаються в р. Стир, над ГДК (рибогосподарською) зростає забруднення води (рис. 6). Так, у 2022 р. для концентрації азоту амонійного таке перевищення становило 37,8 рази, нітритів – у 9,9 рази, фосфатів – у 44 рази, заліза загального – у 5,69 рази, марганцю – у 2,5 рази, хрому (VI) – у 6 разів, БСК – у 10,8 рази, завислих речовин – на 67%. Така сама тенденція спостерігається й у попередні роки. Аналізуючи тенденцію, можна згрупувати всі забруднюючі речовини, що містяться в очищених стічних водах, на три групи за перевищеннями ГДК (табл. 1). Найбільш перевищується концентрація азоту амонійного, фосфатів і БСК, дещо менше – нітритів та важких металів (заліза, хрому, марганцю).

Скид стічних вод із міських очисних споруд зумовлює перевищення концентрацій забруднюючих речовин у створі річки нижче скиду стічних вод над концентраціями у створі, що розміщується вище за течією (рис. 7). Наприклад, у 2022 р. по амонійному азоту – у 5 разів, нітритів – у 2,2 рази, нітратів – на 50%, фосфатів – на 19,13%, БСК – у 5,9 рази, ХСК – на 33,3%, сульфатів – на 17,9%, хлоридів – на 64,31%, марганцю – на 12,5%, заліза – на 10,9%, сухого залишку – на 40,35%.

Екологічна оцінка якості води проведена за Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями, розробленою В.Д. Романенком, В.М. Жукінським, О.П. Оксіюком, А.В. Яциком (1998). Розрахунок інтегрального екологічного індексу здійснено за формулою (Методика ..., 1998):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y}$$

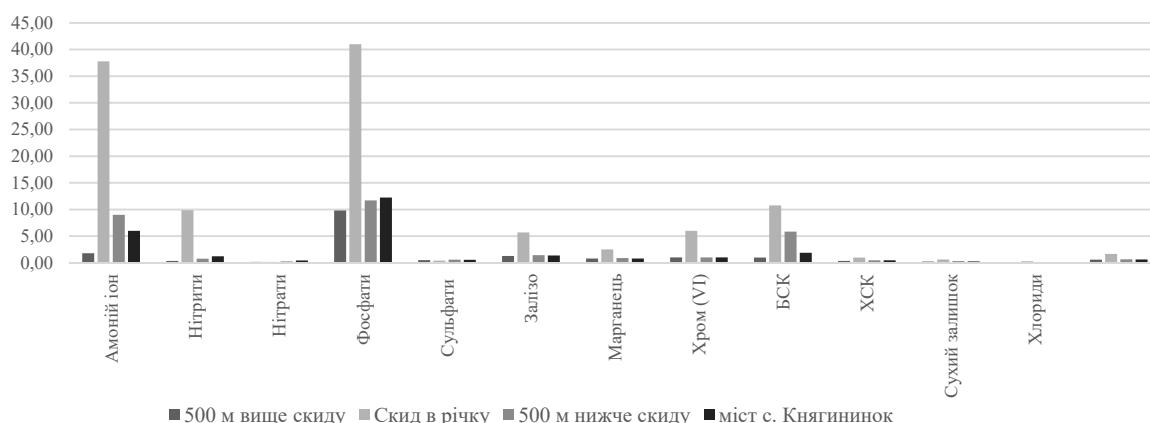


Рис. 6. Перевищення концентрацій забруднюючих речовин у воді р. Стир над ГДК (рибогосподарською) у 2022 р. (за інформацією Державної екологічної інспекції у Волинській області)

Таблиця 1
Результати групування забруднюючих речовин, що містяться в очищених стічних водах, за перевищеннями ГДК

Постійно перевищують ГДК		В окремі роки перевищують ГДК	Не перевищують ГДК
Більше ніж у 10 разів	Менше ніж у 10 разів		
Азот амонійний	Нітрити	Нітрати	Хлориди
Фосфати	Залізо загальне	Завислі речовини	Сульфати
БСК	Марганець		Сухий залишок
	Хром (VI)		Показник кислотності
			ХСК

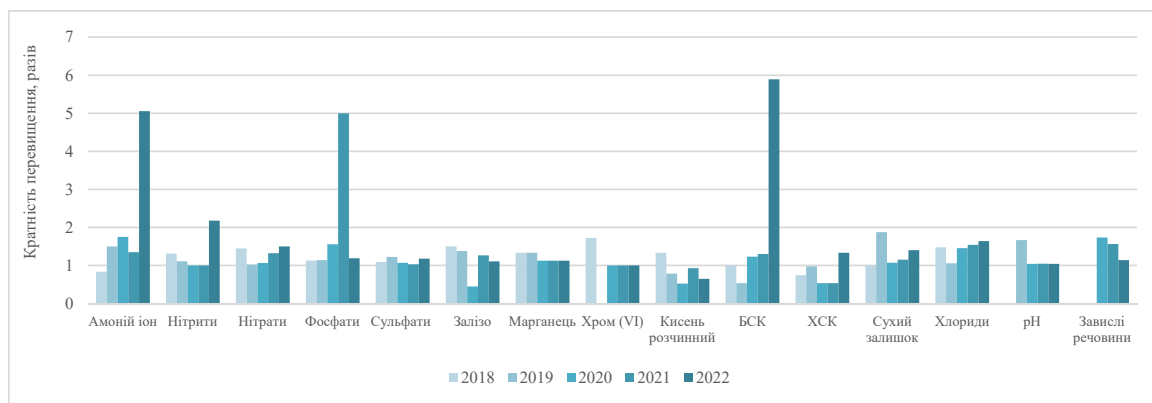


Рис. 7. Перевищення концентрацій у створі 500 м нижче місця скиду порівняно зі створом 500 м вище скиду (за інформацією Державної екологічної інспекції у Волинській області)

де: I_e – інтегральний екологічний індекс якості води; I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу; I_2 – індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників; I_3 – індекс специфічних показників токсичної дії.

Блокові та інтегральний екологічні індекси розраховуються для середніх або середніх і найгірших значень. Далі значення індексів відносять до певної категорії і класу якості води.

На екологічну оцінку якості води найбільший вплив чинить індекс еколого-санітарних показників (рис. 8). Наприклад, у 2022 р. інтегральний індекс якості води (I_e) для створу нижче місця скиду становив 3,27, що дало змогу віднести води річки до II класу III категорії (води «добрі», «досить чисті» з тенденцією наближення для категорії «задовільних», «слабо забруднених»), а $I_2 = 6,14$, що відповідало IV класу VI категорії («погані»,

«брудні» води). Значення I_e для результатів інструментальних вимірювань у створах вище місця скиду і міст с. Княгининок (за 5 км нижче місця скиду) становили 2,73 і 3,29, а $I_2 = 4,86$ і 5,86, що дещо менше. При цьому індекс трофо-сапробіологічних показників продовжує найбільшою мірою визначити значення інтегрального екологічного індексу якості води.

Отже, між скидом забруднюючих речовин на їх умістом у воді річки нижче місця скиду існує певний взаємозв'язок. Для оцінки його щільності використаний вибірковий коефіцієнт кореляції:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \sigma_x \sigma_y},$$

де: x_i і y_i – i -ті значення незалежної і залежної змінних, \bar{x} і \bar{y} – середні значення незалежної і залежної змінних, n – кількість спосте-

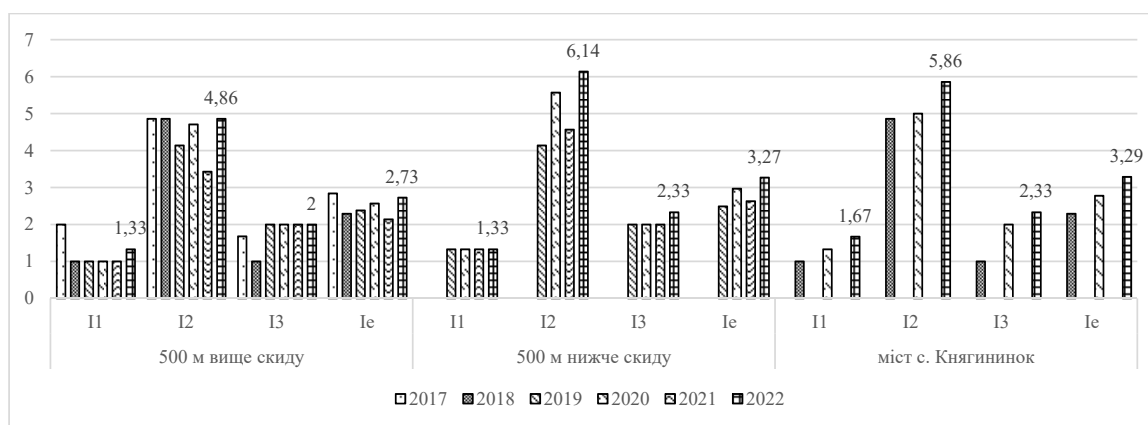


Рис. 8. Динаміка екологічної оцінки якості води р. Стир та її складників унаслідок скиду нормативно очищених стічних вод із Луцьких міських комунальних очисних споруд протягом 2017–2022 рр. (за інформацією Державної екологічної інспекції у Волинській області)

режень, σ_x і σ_y – середні квадратичні відхилення по незалежній і залежній змінних.

Середня квадратична похибка коефіцієнта кореляції розраховується за формулою:

$$\sigma_r = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}$$

Між концентраціями забруднюючих речовин у воді р. Стир у місці скиду стічних вод і нижче місця скиду, а також вище і нижче місця скиду існує дуже щільний зв'язок. Значення коефіцієнта кореляції для низки спостережень концентрації забруднюючих речовин у воді р. Стир у місці скиду стічних вод/нижче місця скиду змінюються в інтервалі 0,84–0,99, а для низки спостережень вище/нижче місця скиду – понад 0,99. Середні квадратичні похибки коефіцієнтів кореляції засвідчують їх статистичну значущість, оскільки для першого ряду знаходяться в інтервалі 0,004–0,1, а для другого – 0,0006–0,02.

Отже, основним заходом зменшення забруднення р. Стир нижче місця скиду нормативно очищених стічних вод із Луцьких міських очисних споруд є технічна модернізація та ремонт самих очисних споруд. За інформацією, розміщеною на сайті КП «Луцькводоканал», очисні споруди введені в експлуатацію у 1974 р. за проектом Львівського філіалу проектного інституту «Укрюжгіпрокоммунстрой». Перша черга розрахована на очистку 40 тис м³ стічних вод на добу. Місто розвивалося, збільшувалися обсяги водовідведення, і з часом потужності виявилися недостатніми. Тому на початку 80-х років побудовано другу чергу очисних споруд, потужність зростає до 80 тис м³ на добу, а в кінці 80-х років – третю чергу. Загальна проектна потужність комплексу каналізаційних очисних споруд доведена до 120 тис м³ на добу. Нині об'єм стоків, що надходить на очисні споруди, становить до 45 тис м³/добу в суху погоду, 50–70 тис м³/добу – у дощову погоду. Тому споруди працюють ледь наполовину своєї потужності.

МКОС проектувалися в розрахунку на очистку стоків, склад яких 50 років тому суттєво відрізнявся від сучасного. Тому й ефективність їхньої роботи сьогодні недостатня, наприклад по фосфатах. У 70-х роках минулого століття фосфатовмісні синтетичні мийчі засоби просто не були настільки поширені, як зараз.

Ще одна проблема – відносно малі об'єми каналізаційних стоків. Але концентрації

забруднюючих речовин у них досить високі. Це теж впливає на ефективність очистки і зумовлено економією води та повним охопленням абонентів міської каналізації водообліком.

Основні виробничі фонди КП «Луцькводоканал» фізично зношені. За інформацією на сайті підприємства, більша частина обладнання очисних споруд, зокрема аеротенки, системи аерації фізично зношені настільки, що потребують реконструкції. Решітки, пісколовки, повітродувки, насоси, труби та металеві частини первинних та вторинних відстійників потребують заміни на нові, сучасні елементи.

Для розв'язання проблеми КП «Луцькводоканал» і органи місцевої влади реалізують ефективні заходи. Ще у лютому 2019 р. вийшло на завершальну стадію залучення інвестицій на модернізацію підприємства, а саме – реконструкцію очисних споруд у с. Липляни. Запланована реалізація проекту «Комплексна модернізація системи водопостачання і водовідведення у місті Луцьку» вартістю 13,92 млн євро, із них 83,3% – кредитні кошти, 16,7% – обсяг співфінансування протягом п'яти років, із періодом погашення кредиту 30 років, пільговим періодом до початку сплати тіла кредиту (вісім років). Найбільший складник проекту – осушення і переробка осадів стічних вод, які складаються з осадженої органіки та відмерлого активного мулу аеротенків. Також реконструкція обладнання механічної очистки дасть змогу запобігти потраплянню навіть найдрібнішого сміття, щоб уникнути бродіння органічних відходів і мінімізувати навантаження на мулові майданчики. Ефективна система аерації забезпечить автоматичне регулювання кількості повітря й інших реагентів, що подаються в аеротенки, а отже, й підвищення ефективності очистки. Але вже сьогодні КП «Луцькводоканал» проводить постійну роботу над удосконаленням технології очистки стічних вод, упровадженням енергоефективних технологій та обладнання. У 2016 р. підприємство модернізувало систему аерації на очисних спорудах, у 2022 р. реконструювало три відстійники, які будуть і надалі використовуватися після комплексної модернізації очисних споруд. Тому реалізація в найближчому майбутньому проекту реконструкції очисних споруд не лише дасть змогу запобігти забрудненню р. Стир, а й виведе м. Луцьк до когорти лідерів із застосування інновацій у галузі екологічної водного господарстві

Висновки

Вплив урбоєкосистем на якість річкової води пов'язаний переважно з високою концентрацією людської діяльності та інфраструктури в містах. Цей вплив має декілька аспектів. Найзначущішим є скид у річки неочищених або недостатньо очищених стічних і каналізаційних вод. У міських районах велика кількість води використовується для побутових, промислових і комерційних потреб, що призводить до утворення значних обсягів каналізаційних стоків. Ці стоки містять різні забруднюючі речовини (хімічні сполуки, важкі метали та патогенні мікроорганізми). Якщо ці стічні води належно не очищаються, забруднюючі речовини потрапляють у річки, що спричиняє їх

забруднення. Також відбувається забруднення річок зливовими стоками, які змивають забруднюючі речовини з доріг, промислових майданчиків, будівель та іншої міської інфраструктури в річки.

Масштаб впливу урбоєкосистем на якість річкової води може змінюватися залежно від розміру та щільності заселення міської території, якості очищення стічних вод та особливостей відведення зливових стоків. Україна не є винятком, і вплив міст на якість річкової води в країні є значним через високий рівень урбанізації. Тому проблема зменшення впливу стічних вод міст на якість води річок є надзвичайно важливою для стійкого екологічно безпечного розвитку і майбутньої євроінтеграції нашої держави.

Список використаної літератури

- Бедункова О. О., Стецюк Л. М., Єфимчук О. Б. Аналіз особливостей формування якості води річок Західного Полісся. *Вісник НУВГП*. 2009. Вип. 1(45). С. 3–9.
- Бровко Г. І., Залеський І. І. Проблеми підтоплення Волинського Полісся. *Вісник НУВГП*. 2007. Вип. 3(39). С. 17–25.
- Ганущак М. М., Тарасюк Н. А. Водний чинник у розвитку басейнової системи р. Стир. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. 2014. № 11. С. 56–61.
- Ганущак М. М., Тарасюк Н. А. Оцінка якості поверхневих вод басейну р. Стир. *Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія*. 2015. Т. 1(36). С. 110–118.
- Екологічний паспорт м. Луцьк. [Електронний ресурс]. URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-mluska/> (дата звернення: 23.05.2023).
- Звіт про стратегічну екологічну оцінку Програми економічного і соціального розвитку Луцької міської територіальної громади на 2021 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.lutskrada.gov.ua/pages/informatsiia-pro-ekonomichni-ta-sotsialni-stan-rozvytku-mista-lutsk>. (дата звернення: 23.05.2023).
- Інвестиційна програма КП «Луцькводоканал» на 2022 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://vd.lutsk.ua/sites/default/files/investprog2022.pdf> (дата звернення: 23.05.2023).
- КП «Луцькводоканал» презентувало проєкт реконструкції очисних споруд у селі Липляни. [Електронний ресурс]. URL: <https://vd.lutsk.ua/news/kp-luckvodokanal-prezentuvav-proyekt-rekonstrukciyi-ochysnyh-sporud-v-seli-lyplyany.html>.
- Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко та ін. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
- Мольчак Я. О., Мігас Р. В. Річки Волині. Луцьк : Надстир'я, 1999. 176 с.
- Мольчак Я. О., Герасимчук З. В., Мисковець І. Я. Річки та їх басейни в умовах техногенезу. Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2004. 336 с.
- Нетробчук І. М. Оцінка якості поверхневих вод правобережних приток басейну Прип'яті у Волинській області. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2007. № 2. С. 260–265.
- Петлін В. М., Фесюк В. О., Карпюк З. К. Регіональна екомережа Волинської області. *Український географічний журнал*. 2021. № 2. С. 31–41.
- Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Волинській області за 2022 рік. [Електронний ресурс]. URL: http://www.menr.gov.ua/media/files/Articles/Diyalnist/Ekologichniy_kontrol/Dopovidi_pro_stan_NPS (дата звернення: 23.05.2023).
- Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області : колективна монографія / за ред. В. О. Фесюка. Київ: Ві Ен Ей, 2016. 316 с.
- Фесюк В.О. Луцьк: сталий розвиток і соціально-екологічні проблеми. Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2013. 304 с.
- Черванев И. Г. Структурный анализ рельефа бассейна реки Стир: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Харьков, 1968. 16 с.

Agrawal K., Panda C., Bhuyan M. Impact of Urbanization on Water Quality. *Current Advances in Mechanical Engineering*. 2021. P. 665–673. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4795-3_60.

Glińska-Lewczuk K., Gołaś I., Koc, J. et al. (2016). The impact of urban areas on the water quality gradient along a lowland river. *Environ Monit Assess*. 188, 624/ <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5638-z>.

de Milleville L., Lespez L., Gauthier A., Gob F., Virmoux C., Saulnier-Copard S., Fichet V., Letourneur M., Jugie M., Garcia M., Tachikawa K., Tales E. Three thousand years of anthropogenic impact and water management and its impact on the hydro-ecosystem of the Méranthaise river, Paris conurbation (France). *Quaternary Science Reviews*, 2023. 307, art. no. 108066. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev>.

Liu L., Dobson B., Mijic A. Water quality management at a critical checkpoint by coordinated multi-catchment urban-rural load allocation. *Journal of Environmental Management*, 2023. 340, art. no. 117979. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman>.

Li Q., Huang J., Zhang J., Gao J. A raster-based estimation of watershed phosphorus load and its impacts on surrounding rivers based on process-based modelling. *Journal of Environmental Management*, 2023. 339, art. no. 117846. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman>.

Li Y., Mi W., Ji L., He Q., Yang P., Xie S., Bi Y. Urbanization and agriculture intensification jointly enlarge the spatial inequality of river water quality. *Science of the Total Environment*, 2023. 878, art. no. 162559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>.

References (translated & transliterated)

Bedunkova, O. O., Stetsiuk, L. M., & Yefymchuk, O. B. (2009). Analiz osoblyvostei formuvannia yakosti vody richok Zakhidnoho Polissia [Analysis of peculiarities of water quality formation in rivers of Western Polissya]. *Visnyk NUVHP [Bulletin of the National University of Water Resources]*, 1 (45), 3–9 [in Ukrainian].

Brovko, H. I., & Zaleskyi, I. I. (2007). Problemy pidtoplennia Volynskoho Polissia [Problems of flooding in Volyn Polissya]. *Visnyk NUVHP [Bulletin of the National University of Water Resources]*, 3 (39), 17–25 [in Ukrainian].

Hanushchak, M. M., & Tarasiuk, N. A. (2014). Vodnyi chynnyk u rozvytku baseinovi systemy r. Styr [Water Factor in the Development of the Styr River Basin System]. *Pryroda Zakhidnoho Polissia ta prylehlykh terytorii [Nature of Western Polissia and the surrounding areas]*, 11, 56–61 [in Ukrainian].

Hanushchak, M. M., & Tarasiuk, N. A. (2015). Otsinka yakosti poverkhnevyykh vod baseinu r. Styr [Assessment of surface water quality in the Styr River basin]. *Hidrolohiia, hidrokhiimiia, hidroekolojiia [Hydrology, hydrochemistry, hydroecology]*, 1 (36), 110–118 [in Ukrainian].

Ekolohichniy pasport m. Lutsk [Environmental passport of the town Lutsk]. [Electronic resource] URL: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-mlucka> (access date 23.05.2023) [in Ukrainian].

Zvit pro stratehichnu ekolohichnu otsinku Prohramy ekonomichnoho i sotsialnoho rozvytku Lutskoi miskoi terytorialnoi hromady na 2021 r. [Report on the Strategic Environmental Assessment of the Program of Economic and Social Development of the Lutsk City Territorial Community for 2021]. [Electronic resource] URL: <https://www.lutskrada.gov.ua/pages/informatsiia-pro-ekonomichniyi-ta-sotsialnyi-stan-rozvytku-mista-lutska> (access date 23.05.2023) [in Ukrainian].

Investytsiina prohrama KP «Lutskvodokanal» na 2022 r. [Investment program of Lutskvodokanal for 2022]. [Electronic resource] URL: <https://vd.lutsk.ua/sites/default/files/investprog2022.pdf> (access date 23.05.2023) [in Ukrainian].

KP «Lutskvodokanal» prezentovalo proiekt rekonstruktsii ochysnykh sporud v seli Lypliiany [Lutskvodokanal presented a project for the reconstruction of wastewater treatment facilities in the village of Lipliany]. [Electronic resource] URL: <https://vd.lutsk.ua/news/kp-luckvodokanal-prezentuvav-proiekt-rekonstrukciyi-ochysnyh-sporud-v-seli-lyplyany.html> (access date 23.05.2023) [in Ukrainian].

Molchak, Ya. O., & Mihas, R. V. (1999). Richky Volyni [Rivers of Volyn]. Lutsk: Nadstyria. 176 [in Ukrainian].

Molchak, Ya. O., Herasymchuk, Z. V., & Myskovets, I. Ya. (2004). Richky ta yikh baseiny v umovakh tekhnohenezu [Rivers and their basins in the conditions of technogenesis]. Lutsk: RVV LDTU. 336 p [in Ukrainian].

Netrobchuk, I. M. (2007). Otsinka yakosti poverkhnevyykh vod pravoberezhnykh prytok baseina Prypiati u Volynskii oblasti [Assessment of surface water quality of the right-bank tributaries of the Pripjat basin in the Volyn region]. *Naukovyi visnyk Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky [Scientific Bulletin of Lesya Ukrainka Volyn National University]*, 2, P. 260–265 [in Ukrainian].

Petlin, V. M., Fesiuk, V. O., & Karpiuk, Z. K. (2021). Rehionalna ekomerezha Volynskoi oblasti [Regional ecological network of Volyn region]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 2. S. 31–41 [in Ukrainian].

Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha u Volynskii oblasti za 2022 rik [Regional report on the state of the natural environment in Volynska region for 2022]. [Electronic resource] URL: http://www.menr.gov.ua/media/files/Articles/Diyalnist/Ekologichniy_kontrol/Dopovidy_pro_stan_NPS (access date 23.05.2023) [in Ukrainian].

Romanenko, V. M., et al. (1998). Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymi katehoriiami [Methodology for environmental assessment of surface water quality by relevant categories]. Kyiv: Symvol-T, 28 [in Ukrainian].

Suchasnyi ekolohichnyi stan ta perspektyvy ekolohichno bezpechnoho stiikoho rozvytku Volynskoi oblasti: kolektyvna monohrafiia [Current ecological state and prospects for environmentally safe sustainable development of Volyn region: a collective monograph] (2016). / Ed. V. O. Fesiuk. Kyiv: TOV «Pidpriemstvo «Vi En Ei». 316 [in Ukrainian].

Fesiuk, V. O. (2013). Lutsk: stalyy rozvytok i sotsialno-ekolohichni problem [Lutsk: sustainable development and social and environmental issues]. Lutsk: RVV LNTU, 2013. 304 [in Ukrainian].

Chervanov, Y. H. (1968). Strukturnyi analiz relefa basseina reky Styr [Structural analysis of the relief of the Styr river basin]. Avtoref. dys. kand. heohr. nauk. Kharkov: Kharkovskyyi hosudarstvennyi unyversytet ym. A. M. Horkoho. 16 [in Russian].

Agrawal, K., Panda, C., & Bhuyan, M. (2021). Impact of Urbanization on Water Quality. *Current Advances in Mechanical Engineering*. 665–673. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4795-3_60 [in English].

Glińska-Lewczuk, K., Gołaś, I., & Koc, J., et al. (2016). The impact of urban areas on the water quality gradient along a lowland river. *Environ Monit Assess* 188, 624/ <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5638-z> [in English].

de Milleville, L., Lespez, L., Gauthier, A. & Gob, F., Vermoux, C., Saulnier-Copard, S., Fichet, V., Letourneur, M., Jugie, M., Garcia, M., Tachikawa, & K., Tales, E. (2023). Three thousand years of anthropogenic impact and water management and its impact on the hydro-ecosystem of the Mérimantaise river, Paris conurbation (France). *Quaternary Science Reviews*, 307, art. no. 108066. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108066> [in English].

Liu, L., Dobson, B., & Mijic, A. (2023). Water quality management at a critical checkpoint by coordinated multi-catchment urban-rural load allocation. *Journal of Environmental Management*, 340, art. no. 117979. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117979> [in English].

Li, Q., Huang, J., Zhang, J., & Gao, J. (2023). A raster-based estimation of watershed phosphorus load and its impacts on surrounding rivers based on process-based modelling. *Journal of Environmental Management*, 339, art. no. 117846. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117846> [in English].

Li, Y., Mi, W., Ji, L., He, Q., Yang, P., Xie, S., & Bi, Y. (2023). Urbanization and agriculture intensification jointly enlarge the spatial inequality of river water quality. *Science of the Total Environment*, 878, art. no. 162559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162559> [in English].

Отримано: 25.05.2023

Прийнято: 12.06.2023

ЗМІСТ

БІОЛОГІЯ

Григорова Н. В. Вплив адаптивних гормонів на вміст магнію в панкреатичних острівцях, тимусі та лімфоцитах крові тварин зі стрептозотоцин-індукованим діабетом.....	7
Куш Ю. І., Вакал Ю. С., Чеберячко Л. М. Зміни імунологічних показників під час вагітності: діагностичне значення (огляд проблеми).....	13
Ліпкан Н. Г., Кучменко О. Б. Особливості функціонального стану моноцитів за хронічної серцевої недостатності.....	23
Машкова К. А., Шарамок Т. С. Особливості гістологічної структури печінки карася сріблястого річки Самара (Дніпропетровська область).....	31
Рошко В. Г., Фельбаба-Клушина Л. М., Кондратенко О. С., Матківський І. А. Біоценотичний розподіл видів родини <i>Melyridae</i> (Coleoptera) в умовах Закарпатської низовини.....	40
Сидоров С. О. Розповсюдження серопозитивності до токсакарної інфекції у людей у м. Запоріжжі.....	47
Худяш Ю. М., Потрохов О. С., Зінковський О. Г., Кофонов К., Коновець І. М. Токсичний вплив хлорпірофосу на личинок коропа за умов модельного експерименту та в разі біотестування якості води.....	56
Шейко В. І., Кучменко О. Б., Глазков Е. О., Боярчук О. Д., Мхітарян А. С., Журавльов О. А. Особливості діяльності серцево-судинної системи молодших школярів, які перехворіли на ГРВІ.....	64

ГЕОГРАФІЯ

Плужник А. В., Власенко Р. П., Андрійчук Т. В., Легоняк Б. В. Рекреаційно-туристичний потенціал сучасних ландшафтів національного природного парку «Холодний Яр».....	72
Федонюк В. В., Гусар О. Н., Федонюк М. А. Динаміка хмарності в межах Волинської області в період 2010–2021 рр.....	85

ХІМІЯ

Шумейко О. Є., Бураков М. І. Димерні функціоналізовані поверхнево-активні речовини у процесах деструкції складних естерів фосфору та сірки.....	96
--	----

АГРОНОМІЯ

Крупко Г. Д., Лисиця А. В., Толочик І. А., Портухай О. І. Моніторинг агроекологічного стану ґрунтів окремих територіальних громад Волинського Полісся.....	104
Моцний І. І., Файт В. І. Біохімічна оцінка інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої та перспективи їх використання у селекції.....	115
Сиромятников Ю. М. Вплив технологічних заходів на вологозабезпеченість ґрунту в процесі вирощування буряків.....	125

ЕКОЛОГІЯ

Бекетов В. Є., Коваленко Ю. А. Санітарно-захисна зона підприємства в умовах багатоповерхової забудови.....	138
Маруха Т. В., Аркушина Г. Ф., Кривохижа Є. М. Актуальні проблеми збереження раритетного складника флори Полісся у зв'язку з військовими діями.....	149
Масюк О. М., Новіцький Р. О., Листопадський М. А., Махіна В. О. Техногенні ландшафтні утворення на породних відвалах шахт як рефугіуми для раритетних видів рослин і тварин.....	160
Фесюк В. О., Карпюк З. К., Журба Д. В. Вплив водогосподарського комплексу м. Луцька на забруднення вод р. Стир.....	177