Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

БІОЛОГІЧНІ, ХІМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ ПІД ЧАС ВІЙНИ

BIOLOGICAL, CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL THREATS DURING THE WAR

заг. ред. Василь Попович, Вікторія Сергієнко, Наталія Іванченко

Львів 2025

УДК 504.062:355.48+614.8+502.5+614.2+628.5+005.334+004.942:005.53+711.4

Рецензенти: **Rasa Vaiškūnaitė** – Doctor of Science, Vice Dean for Research and International Relations of Faculty of Environmental Engineering at Vilnius Gediminas Technical University.

Петрушка Ігор Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності інституту сталого розвитку імені В'ячеслава Чорновола Національного університету "Львівська політехніка".

Геник Ярослав В'ячеславович – доктор сільськогосподарських наук, професор директор навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства Національного лісотехнічного університету України.

Параняк Роман Петрович – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри біоекології та природоохоронних технологій Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

Дмитрів Григорій Степанович – доктор хімічних наук, доцент, декан хімічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка.

Редакційна колегія колективної монографії:

Попович Василь Васильович – доктор технічних, професор, проректор з наукової роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Сергієнко Вікторія Олександрівна – доктор медичних наук, професор, проректор з наукової роботи ДНП "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького".

Іванченко Наталія Олександрівна – генеральний директор ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України".

Технічний редактор:

Степова Катерина Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Рекомендовано до друку Вченою радою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
(протокол №10 від 04.06.2025 р.)

Біологічні, хімічні та екологічні загрози під час війни: колективна монографія / за загальною редакцією В. В. Поповича, В. О. Сергієнко, Н. О. Іванченко, Львів : ЛДУБЖД, 2025. 460 с.

Монографія присвячена комплексному аналізу багатовекторних загроз, що виникають унаслідок воєнних дій, із фокусом на їхні біологічні, хімічні, екологічні, медичні та соціальні аспекти. У виданні розглядаються сучасні методи протидії великомасштабним викидам небезпечних речовин, особливості впливу воєнного забруднення на атмосферне повітря, ґрунтові та відходні екосистеми, а також інструменти екологічного управління. Значна увага приділяється вивченню стану здоров'я внутрішньо переміщених осіб, включно з дослідженнями у сфері діабетичних ускладнень і нейропатій. Монографія також охоплює проблематику епідеміологічної безпеки, впливу міграційних процесів на інфекційну захворюваність, ефективність імунопрофілактики в умовах війни, а також готовність майбутніх медичних працівників до реагування на біологічні загрози. Розглядаються питання логістичного управління інфраструктурними ризиками, пожежної безпеки в соціальних закладах, розвитку інклюзивного середовища у процесі відбудови та використання цифрових аналітичних систем у надзвичайних ситуаціях. Робота поєднує результати польових досліджень, аналітичного моделювання та практичних рекомендацій, пропонуючи цілісний підхід до вивчення і мінімізації наслідків війни для здоров'я населення та довкілля.

Представлені у монографії матеріали учасників подані в авторській редакції та відображають власну наукову позицію авторів. Автори несуть повну відповідальність за точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, наукової термінології, імен власних, джерел посилання.

ISBN 978-617-8654-08-5

© В. В. Попович, 2025
© В. О. Сергієнко, 2025
© Н. О. Іванченко, 2025
© ЛДУБЖД, 2025

ВСТУП

Воєнні конфлікти справляють багатовимірний вплив на довкілля, систему охорони здоров'я, техногенну безпеку та соціальні процеси в суспільстві. Повномасштабна війна в Україні загострила ці виклики, водночас актуалізувавши потребу в системному дослідженні небезпек, які виникають у біологічній, хімічній, радіаційній, екологічній та соціально-гігієнічній сферах. Знищення інфраструктури, масштабні переміщення населення, порушення санітарно-епідемічного контролю, зростання ризику техногенних аварій – усі ці фактори формують складний ландшафт загроз, що потребує міждисциплінарного аналізу та комплексних управлінських рішень.

22 травня 2025 року з нагоди Дня науки у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності відбулася І Міжнародна науково-практична конференція ВСЕТ 2025 «Біологічні, хімічні та екологічні загрози під час війни». Конференція організована спільно з ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького» та за партнерства ДУ «Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» і Товариства Червоного Хреста України. Понад 800 представників різних установ, організацій та закладів вищої освіти з усієї України та з-за кордону долучилися в змішаному форматі до обговорення проблем пов'язаних з новими біологічними, хімічними та екологічними загрозами в умовах війни.

Метою конференції стало обговорення актуальних проблем, пов'язаних із біологічними, хімічними та екологічними загрозами в умовах збройної агресії ворога, а також пошук ефективних шляхів їхнього попередження, ідентифікації та подолання, що лягло в основу даної колективної монографії. Вона об'єднує результати наукових досліджень учених із різних регіонів та галузей знань, зокрема екології, медицини, епідеміології, хімічної безпеки, управління ризиками, урбаністики та інформаційних технологій. Розділи монографії висвітлюють як фундаментальні аспекти дослідження сучасних загроз (зокрема, аналіз стану довкілля, ризики радіоактивного та хімічного забруднення, особливості функціонування екосистем у зонах техногенного навантаження), так і прикладні рішення (включаючи геоінформаційні системи для управління надзвичайними ситуаціями, медичну діагностику вразливих груп, логістичні моделі прийняття рішень та моніторинг епідеміологічної ситуації).

Особлива увага приділена впливу війни на здоров'я населення, зокрема внутрішньо переміщених осіб, а також аналізу соціальних, епідеміологічних та медичних наслідків порушеної інфраструктури. Значну цінність становлять дослідження, що висвітлюють сучасні методи зниження екологічних ризиків, адаптацію систем профілактики та безпеки в умовах обмежених ресурсів та нестабільної ситуації.

Монографія орієнтована на науковців, фахівців з охорони довкілля, лікарів, управлінців у сфері безпеки та надзвичайних ситуацій, а також на всіх, хто залучений до процесів повоєнного відновлення, планування стійких громад і систем життєзабезпечення.

Ми переконані, що ця праця стане внеском у формування наукового підґрунтя для подолання актуальних викликів та підвищення стійкості суспільства в умовах сучасних загроз.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1

БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ГРОМАДСЬКЕ ЗДОРОВ'Я В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

BIOLOGICAL SAFETY AND PUBLIC HEALTH IN WARTIME

Chaklosh I., Kołodziej W., Wac K., Sveleba A. Assessment of knowledge, attitudes, and preparedness of nursing and emergency medical services students to counteract biological threats *(Чаклош І., Колодзей В., Вац К., Свелеба А. Оцінка знань, ставлення та готовності студентів до протидії біологічним загрозам)*..... **8**

Huta S., Bekesevych A. Modern biological threats: challenges, strategies, and prospects *(Гута С., Бекесевич А. Сучасні біологічні загрози: виклики, стратегії та перспективи)*..... **12**

Андронов В., Данченко Ю. Токсикологічний та гігєнічний аналіз очищеної питної води для безпечного питного водопостачання в польових умовах національної гвардії України *(Andronov V., Danchenko Yu. Toxicological And Hygienic Analysis Of Treated Drinking Water For Safe Drinking Water Supply In Field Conditions Of The National Guard Of Ukraine)*..... **20**

Виноград Н., Василишин З., Козак Л., Шуль У. Вплив міграційних процесів на формування та виникнення епідемічних ускладнень *(Vynohrad N., Vasilyshyn Z., Kozak L., Shul U. Influence Of Migration Processes On The Formation And Occurrence Of Epidemic Complications)*..... **30**

Заяць М., Заяць З., Корнійчук І. Високоризикові лікарські засоби в системі безпеки життєдіяльності (*Zaiats M., Zaiats Z., Korniichuk I. High-Risk Medicines in the Life Safety System*)..... **40**

Іванченко Н., Озірковська М., Дуденко М., Гресь О., Сергієнко В. Аналіз виконання обсягів профілактичних щеплень на підставі аналітичних таблиць електронно-статистичної форми «Укрвак-08» за 2024 рік *(Ivanchenko N., Ozirkovska M., Dudenko M., Hres O., Serhiyenko V. Analysis of Vaccination Coverage Based on the Ukrvak-08 Statistical Form for 2024)*..... **49**

Іванченко Н., Озірковська М., Дуденко М., Гресь О., Сергієнко В. Ретроспективний епідеміологічний аналіз інфекційної захворюваності у Львівській області за 2020-2024 роки *(Ivanchenko N., Ozirkovska M., Dudenko M., Hres O., Serhiyenko V. Retrospective Epidemiological Analysis of Infectious Diseases in Lviv Region 2020–2024)*..... **66**

Литвин Г., Баса Н. Клініко-лабораторні особливості еритемних і безеритемних форм Лайм-бореліозу у дітей. (*Lytvyn H., Basa N. Clinical and Laboratory Features of Erythematous and Non-Erythematous Forms of Lyme Borreliosis in Children*)..... **92**

Прикуда Н., Задорожна Б., Задорожний А. Запальні ураження центральної нервової системи: клінічні, етіологічні та епідеміологічні особливості *(Prykuda N., Zadorozhna B., Zadorozhnyi A. Inflammatory lesions of the central nervous system: clinical, etiological, and epidemiological features)*..... **166**

Сергієнко В., Головач С., Сергієнко О., Іванченко Н. Особливості діабетичного дистресу у внутрішньо переміщених осіб (*Serhiyenko V., Holovach S., SerhiyenkoO., Ivanchenko N. Features of Diabetic Distress in Internally Displaced Persons*)..... **170**

Сергієнко В., Головач С., Сергієнко О., Іванченко Н. Рання діагностика субклінічної діабетичної кардіальної нейропатії у внутрішньо переміщених осіб (*Serhiyenko V., Holovach S., Serhiyenko O., Ivanchenko N. Early Diagnosis of Subclinical Diabetic Cardiac Neuropathy in Internally Displaced Persons*)..... **179**

РОЗДІЛ 2

ХІМІЧНА, РАДІАЦІЙНА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

CHEMICAL, RADIATION, AND ENVIRONMENTAL SAFETY DURING WAR AND TECHNOGENIC STRESS

Fediv I., Mažeikienė A., Stepova K. Advanced adsorption materials based on natural minerals for water filtration systems in emergency situations *(Федів І., Мажейкене А., Степова К. Сучасні адсорбційні матеріали на основі природних мінералів для фільтраційних систем очищення води в умовах надзвичайних ситуацій)*..... **187**

Korol K., Boyko T., Kobko Ye., Nitsevych O., Freiuk D., Lisovska V. Landfills as sources of environmental and biological risk *(Король К., Бойко Т., Кобко Є., Ніцевич О., Фреюк Д., Лісовська В. Сміттєзвалища як джерела екологічної та біологічної небезпеки)*..... **199**

Kustov M. Modern methods of disposal of large-scale emissions of dangerous chemical and radioactive substances *(Кустов М. Сучасні методи осадження великомасштабних викидів небезпечних хімічних та радіоактивних речовин)*..... **210**

Босак П., Остап'юк А., Лазаренко Н. Біологічне забруднення стічних вод териконів вугільних шахт *(Bosak P., Ostapiuk A., Lazarenko N. Biological pollution of wastewater from coal mine tailings piles)*..... **222**

Гринчишин Н. Екологічні ризики захоронення біовідходів та їх зниження через компостування *(Hrynchyshyn N. Environmental risks of bio-waste disposal and their reduction through composting)*..... **227**

Дочинець В., Шуплат Т., Попович Н. Еколого-біобезпекові проблеми породжені стихійними сміттєзвалищами Закарпатської області *(Dochynets V., Shuplat T., Popovych N. Ecological and boarding problems are generated by natural landfills of Zakarpattya region*..... **245**

Кендзьора Н., Гоцій Н. Безбар'єрне озеленення як шлях до інклюзивного публічного простору в контексті повоєнного відновлення України *(Kendziora N., Hotsii N. Barrier-free landscaping as a path to inclusive public space in the context of Ukraine's post-war recovery)*... **256**

Кочмар І., Яцишин М. Оцінка якості атмосферного повітря на вулицях і перехрестях центральної частини м. Львова (на основі даних моніторингу за 2016–2023 рр.) *(Kochmar I., Yatsyshyn M. Assessment of ambient air quality on streets and intersections in the central part of Lviv (based on monitoring data for 2016–2023)*..... **267**

Кузик А. Кліматичні зміни, шкідники та хвороби лісу як чинники підвищення рівня пожежної небезпеки лісів *(Kuzyk A. Climate change, pests and forest diseases as factors increasing the fire risk in forests)*..... **303**

Мандрик О., Барабан К. Геоінформаційні підходи екологічного оцінювання вугільних відвалів *(Mandryk O., Baraban K. Geoinformation approaches to environmental assessment of coal dumps)*..... **315**

Новіцький Р., Сапронова В. Аспекти моніторингу важких металів та радіонуклідів в гідробіонтах та абіотичних компонентах водних екосистем придніпров'я як елемент біобезпеки *(Novitskyi R., Sapronova V. Aspects of monitoring of heavy metals and radionuclides in hydrobionts and abiotic components of aquatic ecosystems as an element of biosafety)*..... **332**

Оліферчук В., Олейнюк-Пухняк О., Кендзьора Н. Концептуальна модель управління грунтовими екосисиемами та ландшафтами, їх біологічними та екологічними складовими *(Oliferchuk V., Oliynyuk-Pukhnyak O., Kendziora N. Conceptual model for managing soil ecosystems and landscapes, their biological and ecological components)*..... **349**

Попович В. Радіологічні, мікологічні та фізико-хімічні властивості едафотопів сміттєзвалищ з підвищеним температурним режимом (на прикладі досліджень львівського міського полігону у 2012-2021 роках) *(Popovych V. Radiological, mycological, and physicochemical properties of edaphic sites of landfills with elevated temperature conditions (based on studies of the Lviv municipal landfill in 2012–2021))*..... **360**

Скиба Т. Радіаційно-екологічна оцінка екосистем у зонах техногенного навантаження На прикладі сміттєзвалищ побутових відходів *(Skyba T. Radiation and environmental assessment of ecosystems in technogenically impacted areas: a case study of municipal solid waste landfills)*..... **380**

Хондак І., Стиценко Т. Забруднення атмосферного повітря в умовах війни в Україні *(Hondak I., Stytsenko T. Air pollution in Ukraine during wartime)*..... **391**

РОЗДІЛ 3

БЕЗПЕКА, УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТА РІШЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

SAFETY, RISK MANAGEMENT, AND EMERGENCY RESPONSE

Бєлай С. Організаційні засади взаємодії національної гвардії України з Державною Службою україни з Надзвичайних Ситуацій під час реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження *(Bielay S. Organizational basis for cooperation between the national guard of Ukraine and the State Emergency Service of Ukraine when responding to emergency situations of biological origin)*..... **400**

Ємельяненко С. Геоінформаційна прогнозно-аналітична система підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій *(Yemelianenko S. Geoinformation forecasting and analytical system for decision-making in emergency situations)*..... **410**

Єрмаков Ю., Барабаш О. Інноваційні рішення в управлінні біологічними, хімічними та екологічними загрозами: виклики для міжнародного гуманітарного права *(Yermakov, Yu., Barabash, O. Innovative solutions in managing biological, chemical, and environmental threats: challenges for international humanitarian law)*..... **417**

Коваль І. Аналіз небезпек, що визначають ризики виникнення пожеж у санаторіях, санаторіях-профілакторіях та реабілітаційних центрах в сучасних умовах *(Koval I. Analysis of hazards that determine the risk of fires in sanatoriums, preventative sanatoriums, and rehabilitation centers in modern conditions)*..... **431**

Ковальчук О. Прийняття рішень в управлінні логістичними ризиками інфраструктурних проектів *(Kovalchuk O. Decision-making in the management of logistical risks in infrastructure projects)*..... **440**

Смілевський М. Забезпечення громадської безпеки в місті на прикладі системи відеоспостереження "Безпечне місто Львів" *(Smilevskyi M. Ensuring city public security on the example of the video surveillance system "Safe City Lviv")*..... **445**

Гапало А., Telak O., Коваль В., Коваль Н., Попович В. Особливості розвитку пожеж у природних екосистемах в кліматичних та едафічних умовах Львівської області. *(Hapalo A., Telak O., Koval V., Koval N., Popovych V. Features of fire development in natural ecosystems under the climatic and edaphic conditions of the lviv region)*..... **450**

РОЗДІЛ 1. БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ГРОМАДСЬКЕ ЗДОРОВ'Я В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

CHAPTER 1. BIOLOGICAL SAFETY AND PUBLIC HEALTH IN WARTIME

ASSESSMENT OF KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND PREPAREDNESS OF NURSING AND EMERGENCY MEDICAL SERVICES STUDENTS TO COUNTERACT BIOLOGICAL THREATS

ОЦІНКА ЗНАНЬ, СТАВЛЕННЯ ТА ГОТОВНІСТЬ СТУДЕНТІВ, ЯКІ НАВЧАЮТЬСЯ ЗА ФАХОМ МЕДИЧНА СЕСТРА ТА МЕДИЧНИЙ РЯТІВНИК ДО ПРОТИСТОЯННЯ БІОЛОГІЧНИМ ЗАГРОЗАМ

Ihor Chaklosh, MD, PhD, Associate Professor, e-mail*:* ihor.chaklosh@mup.edu.pI, Institute of Health Sciences, Cavalry Captain Witold Pilecki State University of Małopolska in Oswiecim, Poland; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8008-3018

Wiesława Kołodziej, MSN, PhD, Director of the Institute of Health Sciences, e-mail: wieslawa.kolodziej@mup.edu.pl, Institute of Health Sciences, Cavalry Captain Witold Pilecki State University of Małopolska in Oswiecim, Poland; ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2449-0563

Kornelija Wac, MSN, PhD, e-mail: kornelia.wac@mup.edu.pl, Vice-Director of the Institute of Health Sciences, Institute of Health Sciences Cavalry Captain Witold Pilecki State University of Małopolska in Oswiecim, Poland; ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3238-5333

Anastasiia Sveleba, MSc, Assistant Professor, e-mail: anastasiia.sveleba@mup.edu.pl, Institute of Health Sciences Cavalry Captain Witold Pilecki State University of Małopolska in Oswiecim, Poland; ORCID: https://orcid.org/0009-0006-4978-360X

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.01

Abstract. In the face of increasing global biological threats in the modern period, including emerging infectious diseases and biological terrorism, the preparedness of frontline medical personnel is crucial. Nurses and emergency medical service responders play a vital role in detecting, isolating, and containing different biological hazards.

This study aimed to evaluate nursing and emergency medical service students' knowledge, attitudes, and preparedness at the Cavalry Captain Witold Pilecki State University of Małopolska in Oswiecim, Poland, to respond effectively to biological threats.

A cross-sectional study using the Knowledge–Attitude–Practice (KAP) model was conducted during two educational years between 2023 and 2025. Nurses and emergency medical service students completed full coursework in microbiology, infectious diseases, epidemiology, and public health. Depending on their activities, their competencies were assessed through a 5-point scale test covering biological threat response protocols.

For the first time, we investigated the effectiveness of teaching biosafety issues and identified areas for further improvement of the educational process. The average knowledge score was 4.4 for nursing students and 4.2 for emergency medical service students. All respondents expressed a strong willingness to engage in emergency response during a biological terrorism event. Post-training assessment showed high

levels of competence (4.0 for nursing, 4.3 for emergency medical service students), despite the limited duration of practical training hours of the courses.

The results of our investigation indicated a strong baseline of theoretical and practical readiness among both groups of nurses and emergency medical service students. However, incorporating simulation-based and virtual training modules is recommended to further improve preparedness. Educational programs for nurses and emergency medical service responders should continue evolving to address the growing complexity of biological threats.

Keywords: biological threats, nursing/emergency medical service students, biosafety education.

Анотація. З огляду на зростання глобальних біологічних загроз, включаючи нові інфекційні захворювання та біологічний тероризм, готовність медичного персоналу першої ланки надання медичної допомоги має вирішальне значення. Медичні сестри та працівники екстреної медичної допомоги відіграють життєво важливу роль у ранньому виявленні, ізолюванні та стримуванні біологічних небезпек.

Це дослідження мало на меті оцінити знання, ставлення та готовність студентів-медсестер та студентів за напрямом екстреної медичної допомоги Інституту здоров'я Малопольського державного університету імені підпоручика Вітольда Пілецького в Освенцімі, Польща до ефективного реагування на біологічні загрози.

Впродовж двох навчальних років у період з 2023 по 2025 роки було проведено перехресне дослідження з використанням моделі «Знання-Ставлення-Практика» (ЗСП). Учасники виконали програму з вивчення курсів з мікробіології, інфекційних захворювань, епідеміології та громадського здоров'я. Їхні компетенції оцінювалися за допомогою 5-бального тесту, що охоплював протоколи реагування на біологічні загрози.

Вперше ми дослідили результативність викладання питань біобезпеки і визначили напрями подальшого вдосконалення навчального процесу. Середній бал знань становив 4,4 для студентів-медичних сестер та 4,2 для студентів-екстреної медичної допомоги. Усі респонденти продемонстрували високу готовність брати участь у реагуванні на надзвичайні ситуації під час біотерористичного інциденту. Оцінювання після навчання показало високий рівень компетентності (4,0 для медичних сестер, 4,3 для екстреної медичної допомоги), незважаючи на обмежену кількість годин практичного навчання.

Результати вказують на високу базову теоретичну та практичну готовність студентів обох груп медсестер і екстреної медичної допомоги. Однак, для подальшого покращення готовності рекомендується впровадження навчальних модулів на основі симуляцій та віртуальних методів. Освітні програми для студентів-медсестер і екстреної медичної допомоги повинні продовжувати розвиватися, враховуючи зростаючу складність біологічних загроз.

Ключові слова: біологічні загрози, студенти-медичні сестри і екстреної медичної допомоги, освіта з біобезпеки.

INTRODUCTION

In recent years, the threat of bioterrorism, long marginalized in public discourse, has significantly increased. The world is currently facing various biological threats, including emerging infectious diseases,

bioterrorist attacks, and the potential use of biological weapons [1,2,3]. Unlike other types of weapons, biological agents are difficult to detect or diagnose in their early stages, and their use often results in the rapid and widespread transmission of diseases, numerous casualties, and social destabilization[4,5].

The emergence of new, highly contagious biological agents poses a serious challenge to the healthcare system. It requires substantial changes in medical care organization, infrastructure planning (including the design of healthcare facilities), ensuring adequate resources, ongoing sanitary-epidemiological surveillance, and effective communication. Timely and appropriate medical assistance is of key importance in this context.

In our opinion, one of the most critical factors determining the healthcare system's capacity to respond to biological threats is the level of preparedness and training of medical personnel. The first line of contact with patients includes emergency medical responders and mid-level healthcare staff – they are the first to identify threats and initiate countermeasures. Therefore, assessing their ability to respond to biological incidents is essential[6].

Nurses constitute the largest professional group in the healthcare system. They play a key role in emergency preparedness, management, response, and patient care. In the event of a bioterrorist attack, nurses must possess appropriate knowledge, attitudes, and competencies to quickly assess the situation, isolate potential cases, and prevent further spread of infection[7,8,9,10].

The significance of mid-level medical personnel in combating biological threats lies in the diversity of their roles. Nurses are responsible for direct patient care, including monitoring vital signs, symptom control, medication administration, and ensuring patient comfort and safety. They also implement infection control procedures, educate patients and their families, coordinate care among different professionals, participate in preventive campaigns, and monitor emerging infectious disease cases.

Given the above, this study aimed to assess the level of knowledge, attitudes, and preparedness of nursing and emergency medical services students at the Cavalry Captain Witold Pilecki State University of Małopolska in Oswiecim to respond to biological threats.

---

[1] Anshula Sh., Gaganjot G., Tawseef A., Kewal K., & Baljinder K. (2020). 'Next Generation Agents (Synthetic Agents): Emerging Threats and Challenges in Detection, Protection, and Decontamination', *Handbook on Biological Warfare Preparedness*: 217–56, <*https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812026-2.00012-8*> accessed 30 May 2025.

[2] Su Z, McDonnell D, Bentley BL, He J, Shi F, Cheshmehzangi A, Ahmad J, Jia P. (2021) 'Addressing Biodisaster X Threats With Artificial Intelligence and 6G Technologies: Literature Review and Critical Insights' (2021) J Med Internet Res. 2021 May 25;23(5):e26109. doi: 10.2196/26109. PMID: 33961583; PMCID: PMC8153034, <*https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8998837/*> accessed 30 May 2025.

[3] Williams M, Armstrong L, Sizemore DC. (2025) 'Biologic, Chemical, and Radiation Terrorism Review'. 2023 Aug 14. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 29630269. <*https://pdf.sciencedirectassets.com/776870/3-s2.0-C20160025500/3-s2.0-B9780128120262000128/main.pdf > accessed 30 April 2025*. accessed 30 May 2025.

[4] McCann, W. S. (2022). 'Outbreak: A Comprehensive Analysis of Biological Terrorism. *Studies in Conflict & Terrorism'*, *47*(10), 1299–1328. <*https://doi.org/10.1080/1057610X.2022.2034852*> accessed 30 May 2025.

[5] Responding to a plague bioterrorism event. Centers for Disease Control and Prevention (2022).
<*https://www.cdc.gov/plague/healthcare/bioterrorism-resp* onse.html.> accessed 30 May 2025.

[6] Nizar B. Said, Vico C.L. Chiang. (2020). 'The knowledge, skill competencies, and psychological preparedness of nurses for disasters: A systematic review'. *International Emergency Nursing* Volume 48 (1). <*https://doi.org/10.1016/j.ienj.2019.100806*> accessed 30 May 2025.

[7] Beyramijam M, Khankeh HR, Farrokhi M, Ebadi A, Masoumi G, Aminizadeh M. (2020) 'Disaster Preparedness among Emergency Medical Service Providers: A Systematic Review Protocol'. Emerg Med Int. 2020 Oct 26;2020:6102940. doi: 10.1155/2020/6102940. PMID: 33274079; PMCID: PMC7683168. <*https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2020/6102940*> accessed 30 May 2025.

[8] Choi, Hye Seung MSN, RN; Lee, Jong-Eun PhD, RN. (2021) Hospital Nurses' Willingness to Respond in a Disaster. JONA: The Journal of Nursing Administration 51(2):p 81-88, February 2021. DOI: 10.1097/NNA.0000000000000974
<*https://journals.lww.com/jonajournal/abstract/2021/02000/hospital_nurses__willingness_to_respond_in_a.7.aspx*> accessed 30 May 2025.

[9] Suhyun Lee, Yu Jeong Kim. (2023). 'Predictors of bioterrorism preparedness among clinical nurses: A cross-sectional study'. *Nurse Education Today, Volume 122, https://doi.org/10.1016/j.nedt.2023.105727*. URL:
< *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260691723000217*> accessed 30 May 2025.

[10] Tiantian Li,(2024) 'Knowledge, attitudes, and practices toward bioterrorism preparedness among nurses: a cross-sectional study', *BMC Nursing* volume 23, 2024. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1272738. URL:
<*https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1272738/full*> accessed 30 May 2025.

METHODOLOGY

The methodological basis of our study was the "Knowledge–Attitude–Practice" (KAP) model [11]. We analysed the knowledge, attitudes, and practical skills of students necessary for an effective response in biosafety-related situations. The study was conducted between 2023 and 2025 among students who completed courses such as microbiology and parasitology, tropical diseases, infectious diseases, hospital infections, epidemiology, and public health. The curricula included content on hazardous biological agents, anti-epidemic measures, and population protection.

RESULTS

Classes included lectures, practical exercises, problem-based learning, situational simulations, and remote education. The program also prepared students to care for patients with infectious diseases caused by bioterrorism agents, including: bioterrorism characteristics, response systems, procedures in suspected infection cases, clinical symptoms, diagnostics, isolation principles, and initial and preventive treatment.

DISCUSSION

The assessment was based on a 5-point scale test. Questions covered symptom recognition, identification of bioterrorism agents, response algorithms to epidemiological threats, sequence of preventive and intervention actions, and proper handling, transport, and disposal of biological materials, as well as personal protection during rescue operations. A higher score indicated a better level of knowledge and competence. The average score obtained by nursing students was 4.4±0,31, and by emergency medical services students was 4.2±0,4. Students' willingness to participate in rescue operations during a bioterrorist attack was rated high; all respondents expressed readiness for active involvement.

Competence levels assessed after completing the training cycle also showed high results, despite a limited number of practical hours devoted to the subject. Nursing students scored an average of 4.0±0,34, and emergency medical students scored 4.3±0,41.

CONCLUSIONS

To achieve an even more objective assessment of training effectiveness, we recommend implementing simulation-based training methods, such as virtual educational modules for learning to care for patients with infectious diseases caused by bioterrorism agents.

Our study highlights the need to modify and enhance educational programs by emphasizing the availability, repeatability, and effectiveness of training, especially in the context of increasing biological threats.

[11] Williams M, Armstrong L, Sizemore DC. (2025) 'Biologic, Chemical, and Radiation Terrorism Review'. 2023 Aug 14. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 29630269. <*https://pdf.sciencedirectassets.com/776870/3-s2.0-C20160025500/3-s2.0-B9780128120262000128/main.pdf > accessed 30 April 2025*. accessed 30 May 2025.

MODERN BIOLOGICAL THREATS: CHALLENGES, STRATEGIES, AND PROSPECTS

СУЧАСНІ БІОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ: ВИКЛИКИ, СТРАТЕГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Solomiia Huta, MD, PhD, Associate Professor, e-mail: solomia.guta@gmail.com, Department of Internal Medicine No. 1, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, ORCID: 0000-0002-7943-0139

Anna Bekesevych, MD, PhD, Associate Professor, e-mail: bekesevychanna@gmail.com, Department of Normal Anatomy, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, ORCID: 0000-0001-9385-9786

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.02

Abstract. The fight against biological threats has been a key factor in humanity's survival throughout history. Taking into account the latest epidemiological, biotechnological, and geopolitical trends, this paper provides a comprehensive analysis of both natural and anthropogenic sources of biological hazards. Special attention is given to zoonotic infections, synthetic biology, biological weapons, bioterrorism, and global environmental factors that influence the epidemiological situation. International risk management strategies are summarized, the legal framework of biosafety is analyzed, and recommendations are proposed for improving systems for the prevention and response to biological threats.

Keywords: biological threat, biosafety, pandemic, synthetic biology, zoonoses, global health.

Анотація. Боротьба з біологічними загрозами є ключовим фактором виживання людства протягом всієї історії його існування. З урахуванням останніх епідеміологічних, біотехнологічних і геополітичних тенденцій, здійснено комплексний аналіз природних та антропогенних джерел біозагроз. Окрема увага приділена зоонозним інфекціям, синтетичній біології, біологічній зброї, біотероризму та глобальним екологічним факторам, що впливають на епідеміологічну ситуацію. Узагальнено міжнародні стратегії управління ризиками, проаналізовано нормативно-правову базу біобезпеки та запропоновано рекомендації щодо вдосконалення системи запобігання та реагування на біозагрози.

Ключові слова: біологічна загроза, біобезпека, пандемія, синтетична біологія, зоонози, глобальне здоров’я.

INTRODUCTION

In recent decades, the global community has repeatedly faced serious biological challenges, the most large-scale of which was the COVID-19 pandemic. It revealed the vulnerability of national healthcare systems and emphasized the importance of global biosafety. In addition to pandemics, biological threats include the spread of zoonoses, bioterrorism, laboratory accidents, and new risks associated with the development of synthetic biology and genetic engineering[12].

Biological threats include not only pandemics but also the transmission of diseases from animals to humans, various incidents of bioterrorism, and laboratory accidents. Particular attention should be given to new threats associated with the development of genetic technologies and synthetic biology[13]. Modern

[12] World Health Organization, *COVID-19 Strategy Update* [online], Geneva: WHO, 2020. Available at: https://www.who.int/publications/m/item/covid-19-strategy-update [Accessed 6 Jun. 2025].

[13] Koblentz, G.D., ‘The Rise of the Biotech Security Dilemma’, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 2022, Vol. 78(4), pp. 197–205. doi: https://doi.org/10.1080/00963402.2022.2082585.

technologies allow for the creation of novel pathogens, while global oversight of such research often remains inadequate[14]. These threats — whether of natural or anthropogenic origin — require the attention of the scientific community, governmental institutions, and the international community in order to develop reliable protection systems.

The aim of this study is to analyze scientific publications from 2021 to 2024 in order to identify current trends related to biological threats, highlight the most pressing risks, and formulate proposals for improving response systems to such challenges.

RESEARCH METHODOLOGY

During the preparation of this article, an analysis was conducted of scientific papers published between 2021 and 2024, retrieved from databases such as Scopus, PubMed, and Springer Nature. In addition, official documents from international organizations, including the WHO and the UN, available through open-access internet resources, were also used.

More than 30 peer-reviewed publications were analyzed, covering various aspects of biological threats — from high-risk research (gain-of-function) and the development of synthetic biology to issues of bioterrorism and threats to global biosafety. Particular attention was paid to the analysis of recent biological threats in Ukraine.

Biological threats can be classified according to different criteria: source of origin (natural or human-induced), mode of transmission, level of contagiousness, mortality rate, availability of vaccines and treatment options, and the ability to spread beyond the borders of a single country. These criteria help to better understand the nature of the threat and to develop effective response strategies.

Based on the analysis of current research, four main categories of biological threats can be distinguished[15][16][17]:

1. Natural biological threats refer to various infectious agents that emerge in the environment without direct human intervention. Most often, these pathogens are transmitted from animals to humans and are therefore classified as zoonoses. Examples include the Nipah virus, avian influenza, and large-scale pandemics such as COVID-19 or Ebola virus disease. Key factors contributing to their spread include increased contact between humans and wildlife, the destruction of natural ecosystems (such as deforestation and dam construction), global urbanization, and the growth of international travel. Climate change plays a particularly important role by facilitating the expansion of both new and previously dormant pathogens, as rising temperatures affect the distribution of disease vectors — for example, mosquitoes, ticks, or rodents that carry dangerous viruses. It is important to note that diseases which were once geographically limited can, under certain conditions, quickly spread beyond their original regions and cause global outbreaks[18].

2. Unintentional biological threats arise from human negligence or technical failures during the handling of dangerous biological agents. This may include laboratory leaks, breaches in biosafety during the transportation of specimens, or accidents at biological research facilities. Notable examples include the 1979 anthrax incident in Sverdlovsk, which resulted in dozens of deaths, as well as more recent reports of

[14] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Biodefense in the Age of Synthetic Biology* [online], Washington, DC: The National Academies Press, 2018. Available at: https://doi.org/10.17226/24890 [Accessed 6 Jun. 2025].
[15] Global Health Security Index, *Global Health Security Index 2021* [online]. Available at: https://www.ghsindex.org/ [Accessed 6 Jun. 2025].
[16] World Health Organization, *WHO Global Preparedness Monitoring Board Annual Report 2022* [online], Geneva: WHO, 2022. Available at: https://www.gpmb.org/annual-reports/2022 [Accessed 6 Jun. 2025].
[17] Lentzos, F., 'Synthetic Biology and the Governance of Biosafety and Biosecurity Risks', *Nature Communications*, 2023, Vol. 14(1), p. 112. doi: https://doi.org/10.1038/s41467-022-35749-y.
[18] World Health Organization, *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard* [online], Geneva: WHO, 2023. Available at: https://covid19.who.int/ [Accessed 6 Jun. 2025].

biosafety violations in laboratories in the United States and China that handle highly pathogenic viruses. As the number of high-containment laboratories (BSL-3 and BSL-4) increases globally, the risk of such incidents remains significant. These risks are particularly concerning when laboratories are located near densely populated areas or operate with insufficient oversight from government authorities[19].

3. Intentional biological threats (bioterrorism) involve the deliberate creation or use of pathogens to cause harm to humans, animals, or agriculture. Such threats may be employed to spread fear among the population, destabilize economies, or be used as weapons in conflicts. The most well-known example is the mailing of anthrax spores in the United States in 2001, which occurred shortly after the September 11 terrorist attacks. In today's context, the situation is further complicated by the fact that technologies previously accessible only to governments are now, unfortunately, available to non-state actors as well — due to the development of bioinformatics, 3D printing, and open-access bio-laboratories. These advances enable the creation of new or modified pathogens with artificially enhanced transmissibility or resistance to treatment[20].

4. Dual-use threats refer to situations where peaceful scientific research may have the potential for military applications. For example, studying viruses for vaccine development or creating new treatment methods may unintentionally generate tools that can be used to engineer biological weapons. Of particular concern are so-called gain-of-function experiments — research in which pathogens are deliberately enhanced with new properties: increased infectivity, broader host range, or drug resistance. Although the primary goal of such research is usually to better understand viruses and prevent future pandemics, there is a real risk of accidental release or intentional misuse of this knowledge[21].

According to the classification by the Centers for Disease Control and Prevention (CDC), biological agents are divided into three categories based on their threat level[22]:

- **Category A** includes the most dangerous pathogens such as *Bacillus anthracis* (anthrax), *Variola major* (smallpox), botulinum toxin, and Ebola virus.
- **Category B** includes agents of moderate threat like *Brucella spp.*, ricin toxin, and *Salmonella spp*.
- **Category C** includes newly discovered or not yet fully studied pathogens that could potentially cause large-scale outbreaks in the future, such as the Nipah virus and hantaviruses.

The proposed classification of pathogens allows for more accurate risk forecasting, timely identification of threats, and the development of effective early warning systems — especially in the context of increasing globalization, migration, and climate change.

According to the order of the Ministry of Health of Ukraine, biological agents are divided into four hazard groups based on their level of infectious threat:

Group 1 – biological agents that are not capable of causing disease in humans.

Group 2 – biological agents that can cause human disease and may pose a hazard to workers, but are unlikely to spread to the community, and for which effective preventive or therapeutic measures are available.

Group 3 – biological agents that can cause serious disease in humans, pose a significant risk to laboratory personnel, and may spread to the community, but for which preventive or therapeutic measures are usually available.

[19] Koblentz, G.D., 'Laboratory Escapes and "Self-fulfilling Prophecies"', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2022, Vol. 10, article 815572. doi: https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.815572.
[20] National Research Council, *Globalization, Biosecurity, and the Future of the Life Sciences*, Washington, DC: National Academies Press, 2022.
[21] National Science Advisory Board for Biosecurity (NSABB), *Recommendations on Gain-of-Function Research*, USA: NSABB, 2023.
[22] Centers for Disease Control and Prevention, *Bioterrorism Agents/Diseases [Категорії A, B, C]* [online], CDC, 2023. Available at: https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp [Accessed 6 Jun. 2025].

Group 4 – biological agents that can cause severe human disease, present a high risk to workers and the public due to their potential for rapid spread, and for which effective preventive or therapeutic measures are generally not available.

Over the past few decades, there have been several documented cases of dangerous pathogen leaks from laboratories worldwide. One of the most well-known incidents occurred in 1979 in the city of Sverdlovsk (then in the USSR), where a release of *Bacillus anthracis* spores resulted in the deaths of dozens of people[23].

In the 2000s, similar incidents were reported in the United States, China, and the United Kingdom. For example, in 2004, two laboratory employees in Beijing were infected with the SARS-CoV virus during research activities[24]. Although modern laboratories are equipped with advanced biosafety systems, there is always a risk associated with human error, technical malfunction, or failure to follow safety protocols.

Following the COVID-19 pandemic, the origin of the virus has been actively debated, particularly the possibility that SARS-CoV-2 may have entered the human population through a laboratory leak. While various media outlets have reported different theories, there is currently no definitive evidence to confirm this, and the topic remains highly controversial within the scientific community[25].

Bioterrorism — the deliberate use of pathogenic microorganisms or toxins to harm humans, animals, or plants — is considered especially dangerous. Such actions may aim to incite panic, inflict economic damage, or destabilize a government or society.

A striking example of bioterrorism is the 2001 anthrax letter attacks in the United States, in which an unidentified perpetrator mailed envelopes containing anthrax spores. As a result, five people died and more than twenty others were infected[26]. This case demonstrated that even highly developed countries are vulnerable to biological attacks.

According to reports from international organizations such as the United Nations, there is growing concern that terrorist groups may gain access to pathogens — either through the black market or through cyberattacks targeting biological laboratories[27].

Modern science has reached a point where researchers can synthetically construct viral genomes and develop entirely new microorganisms. While this offers great promise for medicine — including vaccine development, new therapies, and diagnostic tools — it also introduces the serious risk that such technologies could be used for military purposes[28].

These developments are referred to as dual-use technologies. Of particular concern are gain-of-function studies, in which scientists deliberately alter pathogens to study how they might become more transmissible or lethal.

Experts in biosafety have called for the creation of strict international regulations to control research in synthetic biology. This includes limiting access to synthetic DNA services, restrictions on the dissemination of sensitive information, and the implementation of ethical standards in scientific practice[29].

[23] Meselson, M., 'A Cloud over Sverdlovsk: Anthrax Outbreak of 1979', *Science*, 1994, Vol. 266(5188), pp. 1202–1208.
[24] World Health Organization, *Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS): Status of the Outbreak and Lessons for the Immediate Future* [online], Geneva: WHO, 2004. Available at: https://apps.who.int/iris/handle/10665/70863 [Accessed 6 Jun. 2025].
[25] Lancet COVID-19 Commission, 'Task Force on the Origins of SARS-CoV-2: Interim Report', *The Lancet*, 2022, Vol. 400(10349), pp. 792–803. doi: https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01598-8.
[26] Inglesby, T.V., O'Toole, T., Henderson, D.A., et al., 'Anthrax as a Biological Weapon, 2002: Updated Recommendations for Management', *JAMA*, 2002, Vol. 287(17), pp. 2236–2252.
[27] United Nations Office of Counter-Terrorism, *Countering the Threat Posed by Bioterrorism* [online], UN Briefing Paper, 2022. Available at: https://www.un.org/counterterrorism [Accessed 6 Jun. 2025].
[28] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Biodefense in the Age of Synthetic Biology*, Washington, DC: The National Academies Press, 2018. doi: https://doi.org/10.17226/24890.
[29] Lentzos, F. and Koblentz, G.D., 'The Biosecurity Benefits of Restricting DNA Synthesis Orders', *Nature Biotechnology*, 2023, Vol. 41, pp. 33–36. doi: https://doi.org/10.1038/s41587-022-01567-1.

Over the past five years, there has been an intensification of international efforts in the field of biosafety, primarily in response to the COVID-19 pandemic. These efforts encompass both the creation of new global mechanisms and the reform of existing emergency response systems in public health. One of the most significant developments is the WHO Pandemic Accord. In 2025, WHO Member States approved the final text of a new pandemic agreement. This document provides for enhanced coordination during outbreaks, improvements in early warning systems, equitable access to medical tools, and the creation of a global preparedness fund[30]. Although the accord was supported by most countries, some major powers — notably the United States — did not join, reflecting geopolitical divisions in global health governance.

Another key international initiative is the U.S. Global Health Security Strategy. In 2023, the U.S. administration presented a program aimed at improving the capacity of 50 countries to detect and respond to biological threats. The strategy includes support from the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) and other institutions, with a focus on infrastructure development, workforce training, and cross-sectoral cooperation[31].

In response to the challenges posed by the pandemic, the European Union established HERA (Health Emergency Preparedness and Response Authority), which has been operational since 2022. HERA is responsible for forecasting, preparedness, and response to health threats. It coordinates strategic stockpiles, invests in manufacturing capacities, and supports vaccine development.

The Global Health Security Index (GHS Index), which evaluates countries' preparedness for biological threats, was revised after the pandemic. Despite high scores for some countries — including the United States — their response to COVID-19 was widely considered insufficient, raising doubts about the reliability of existing assessment methodologies.

The One Health approach is promoted by international organizations such as WHO, FAO, and WOAH. It acknowledges the interconnectedness of human, animal, and environmental health. A joint action plan is in place for the years 2022–2026 to implement an integrated response to zoonotic and other biological threats.

Although modern international strategies for responding to biological threats reflect a growing commitment to improved coordination, rapid response, and enhanced global preparedness, several issues remain unresolved. These include geopolitical fragmentation, inequalities in access to resources, and the persistent need for stronger multisectoral collaboration.

THE WAR IN UKRAINE AND BIOTHREATS

russia's attack on Ukraine in 2014 caused profound transformations in many areas of life - from the economy to healthcare from the economy to healthcare. The issue of biological security has become particularly acute. Military actions using various means of destruction, massive forced population displacement, significant infrastructure destruction and environmental disasters have created unique conditions for the spread of infectious diseases and increased risks associated with biological agents. These threats include both natural factors (epidemics) and anthropogenic factors (unintentional leaks from laboratories or the potential use of biological weapons.

[30] The Guardian, 'World Agrees Pandemic Accord for Tackling Outbreaks of Disease', *The Guardian*, 20 May 2025. Available at: https://www.theguardian.com/global-development/2025/may/20/world-agrees-pandemic-accord-for-tackling-outbreaks-of-disease-who-covid [Accessed 6 Jun. 2025].

[31] Associated Press, 'Biden Administration Announces New Partnership with 50 Countries to Stifle Future Pandemics', *AP News*, 2024. Available at: https://apnews.com/article/11571e564eda19f091bdad50d367cbcd [Accessed 6 Jun. 2025].

The growth of biological risks in wartime necessitates a systematic analysis of the situation in Ukraine, as well as an assessment of the current state of the biosecurity system and the state's ability to to effectively counter new challenges.

Despite some progress in regulatory progress in biosafety regulation, Ukraine still lacks a clear comprehensive and effective system of biological risk management. This is is confirmed by numerous studies, including reports by the Center for of Public Health and expert opinions of Ukrainian and international experts. The reports indicate that the existing system has a structure in which Responsibility is divided between the Ministry of Health, State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection, Ministry of Internal Affairs, Ministry of Defense, the National Police, the Security Service of Ukraine, and local administrations. Unfortunately, the lack of a single coordinating body complicates the interaction between the agencies, slows down the exchange of information and the appropriate response to biological incidents.

Recent studies, including those by V.I. Velychko (2021), emphasize the importance of integrating efforts within the framework of the "One Health" concept, which entails coordinated actions across medical, veterinary, and environmental sectors to prevent the spread of infectious agents at the interface of different environments[32].

Military actions have significantly exacerbated the environmental crisis in Ukraine. Bombings and destruction of industrial enterprises, chemical facilities, and oil depots have led to massive releases of hazardous substances into soil, air, and water. According to the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources, more than 1,200 environmental incidents related to military operations in Ukraine were recorded during 2022–2023[33].

The destruction of wastewater treatment plants, water supply, and sewage systems has had a substantial impact on the state of the environment. This, in turn, contributes to contamination of drinking water sources and increases the risk of outbreaks of intestinal infections, including cholera, dysentery, and salmonellosis. The spread of these diseases typically accompanies humanitarian crises in war-affected regions[34].

The presence of BSL-3 biological laboratories in Ukraine, engaged in research on highly pathogenic microorganisms, creates a risk of incidents in the event of breaches in safety protocols. Under conditions of shelling or occupation, there is a threat of damage to facilities, theft of samples, and loss of control over pathogens[35].

Taking into account historical precedents (Beijing, 2004), the international community calls for maximum strengthening of biosafety measures. UN and G7 reports note that war creates unique conditions for increased risks of accidental or deliberate release of dangerous agents[36].

In addition to biological factors, the war has caused active use of toxic chemical substances. According to the Ukrainian Institute for the Future, more than 4,500 cases of use or suspected use of chemical agents, including phosgene, chlorine, and ammonia, have been recorded since the beginning of the conflict[37]. Such attacks pose a serious threat to the civilian population and can lead to respiratory diseases, immune suppression, and secondary infections.

[32] Величко, В.І., 'Біобезпека в Україні: нормативно-правове забезпечення та перспективи реформування', *Медична безпека*, 2021, №1, pp. 17–25.
[33] Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, *Аналітичний звіт про екологічні наслідки війни*, Київ, 2023.
[34] World Health Organization, *Ukraine: Environmental Health Risks in Conflict Zones. Situation Report*, Geneva: WHO, 2023.
[35] Гуменюк, С., 'Лабораторна біобезпека: виклики під час війни', *Журнал громадського здоров'я*, 2023, №2, pp. 45–51.
[36] United Nations Office for Disarmament Affairs (UNODA), *Biological Risks in Conflict Regions*, Geneva, 2022.
[37] Український інститут майбутнього, *Аналітична записка про хімічні загрози в умовах війни*, Київ, 2024.

Due to mass population displacement, significant deterioration of sanitary and hygienic conditions, and limited access to drinking water and medical services, Ukraine has experienced increased incidence of tuberculosis, intestinal infections, hepatitis, measles, and diphtheria[38]. In frontline areas, the number of acute intestinal infection cases reportedly rose by 35.0–40.0%. Lack of adequate vaccination and shortages of medicines threaten to increase previously controlled infections and the formation of new epidemiological hotspots[39].

Although there are currently no officially confirmed cases of biological weapons use in Ukraine, international discussions continue regarding their possible future use. In particular, there is concern about the use of genetically modified pathogens or artificially created viruses with enhanced infectivity and rapid spread potential[40]. Experts believe that modern technologies (synthetic biology, nanomedicine) enable the creation of new biological agents that could be used as weapons. In this context, international agreements, monitoring of dual-use laboratories, and transparency in biological research are becoming increasingly important[41].

Despite difficult conditions, Ukraine is taking measures to strengthen biological security. In 2021, a biosecurity and biosafety strategy was adopted, which envisages raising the professional level of personnel, developing a national biological monitoring system, legislative updates, and integrating the "One Health" approach[42]. Thanks to the support of international partners (USA, EU, WHO), various equipment for detecting and controlling the spread of infections is being supplied, training for medical workers and laboratory staff is conducted, and mobile laboratories for rapid response are being created[43]. At the initiative and with the support of the State Emergency Service and the Ministry of Health of Ukraine, joint training exercises have been held in recent years involving medical workers, police, rescuers, and students to simulate the elimination of consequences of emergencies related to medical-biological and chemical threats.

The war in Ukraine has created unique and simultaneously extremely complex challenges for the biosecurity system, including environmental contamination by various chemical, industrial, and biological agents, the spread of diverse infectious diseases, destruction of residential and business infrastructure with increased risks of leaks, and the potential threat of the use of biological weapons.

To overcome these challenges, comprehensive reform of the national biosecurity system is required, with particular emphasis on interaction among various units, agencies, and services; legislative improvements based on the experience of leading European and global countries; development of the laboratory network with the capacity for rapid pathogen detection; and international coordination. The "One Health" approach should become the foundation for an integrated response to new biological threats. Strengthening biosecurity in Ukraine also requires integration into European early warning mechanisms and the development of bioethical education for scientists. The strategic goal is to create a system capable not only of timely responding to biological or chemical threats but also of predicting them.

One of the key factors in reducing biological threats is the active role of the scientific community and the education system at all levels, starting from preschool institutions, as well as effective scientific-medical communication for experience exchange. These elements form the foundation for sustainable biosecurity at national and global levels.

[38] Міністерство охорони здоров'я України, *Офіційна статистика інфекційних захворювань, 2022–2024 рр.*, Київ: МОЗ, 2024.
[39] Центр громадського здоров'я, *Аналітичний звіт про санітарно-епідеміологічну ситуацію в Україні*, Київ, 2023.
[40] National Academy of Sciences, *Biodefense in the Age of Synthetic Biology*, Washington, DC: NAS, 2022.
[41] World Health Organization, *Enhancing Preparedness for Emerging Biological Threats*, Geneva: WHO, 2023.
[42] Кабінет Міністрів України, *Стратегія біобезпеки та біозахисту України на період до 2025 року*, Постанова №894-р від 21 липня 2021 року.
[43] WHO Ukraine, *Joint Activities in Biosafety Enhancement, 2022–2024. Official Update*, May 2024.

Modern achievements in genomics, epidemiology, bioinformatics, and molecular diagnostics allow much faster identification of new pathogens, modeling their spread, and assessing risks. Scientific research plays a key role in developing vaccines, antiviral agents, and diagnostic test systems.

However, the scientific community faces challenges such as uneven resource distribution, "scientific nationalism," limited access to biobanks and pathogen samples. Strengthening international cooperation, open data exchange, and support for multidisciplinary research are necessary. Biosecurity and biosafety require highly qualified specialists: microbiologists, virologists, bioethics experts, and risk analysts. Therefore, it is important that university programs include modules on biosecurity, bioethics, biological risk assessment, and emergency response.

Continuous education for medical workers, laboratory personnel, and crisis response specialists is also necessary. Developing professional networks, trainings, and simulations is an effective tool to increase system readiness for emergencies.

In the 21st century, biological threats have become a global challenge encompassing natural infectious processes and anthropogenic factors, including bioterrorism and potential laboratory leaks. The COVID-19 pandemic was an unprecedented test for the global health system, increasing awareness of the vulnerability of even developed countries to biological threats.

An analysis of the past four years shows significant progress in vaccine development, early pathogen detection, and coordination of international response. At the same time, structural problems remain: uneven resource access, insufficient high-security laboratories in many world regions, and the threat of misuse of biotechnology.

Ukraine, as a country at war, demonstrates an example of adaptation to difficult conditions and strives for integration into the international biosafety system. Further steps should include systemic modernization of laboratory infrastructure, development of human capital, and involvement of scientific potential in forming state security policy. Overall, only a multisectoral and globally coordinated approach will reduce risks associated with biological threats and prepare the world for potential future crises.

ТОКСИКОЛОГІЧНИЙ ТА ГІГЄНІЧНИЙ АНАЛІЗ ОЧИЩЕНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОГО ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

TOXICOLOGICAL AND HYGIENIC ANALYSIS OF TREATED DRINKING WATER FOR SAFE DRINKING WATER SUPPLY IN FIELD CONDITIONS OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE

Володимир Андронов, головний науковий співробітник, д. т. н., професор, e-mail: va_andronov@ukr.net, Національна академія національної гвардії України, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7486-482X

Юлія Данченко, завідувач кафедри фундаментальних дисциплін, д. т. н., професор, e-mail: yuliyadanchenko7@gmail.com, Національна академія національної гвардії України, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3865-2496

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.03

Анотація. Токсикологічні та гігієнічні дослідження очищеної питної води для потреб Національної гвардії України проведені у відповідності до науково-технічної роботи на замовлення Національної академії Національної гвардії України на тему «Науково-практичні основи безпечного питного водопостачання в польових умовах Національної гвардії України», державний реєстраційний номер 0125U000163. Встановлено, що природна вода зі свердловини (очисна станція в західному регіоні) не може бути використана для питного водопостачання, оскільки не відповідає за деякими показниками гігієнічних вимог: вмістом нітратів та важких металів ─ кадмію, свинцю, нікелю. За іншими двадцятьма показниками, за якими проводилось дослідження, вода зі свердловини відповідає нормам. Для отримання питної води, яка призначена для використання в польових умовах військовослужбовцями Національної гвардії України, обрано низку методів очистки та знезараження: грубу очистку від механічних домішок, іонний обмін, пом'якшення, зворотній осмос та обробка ультрафіолетовим випромінюванням. Аналізом показано, що використання фільтрів грубої очистки, іонного обміну з використанням Na-катіоніту та пом'якшення недостатньо для отримання якісної питної води. Після такої обробки вода не відповідає нормам за чотирма показниками: вмісту нітратів, кадмію, нікелю та свинцю. Показано, що іонний обмін на поверхні Na-катіоніту відбувається головним чином за рахунок іонів кальцію та магнію. Встановлено, що використання іонного обміну в існуючому технологічному процесі очищення є недоцільним, оскільки не дозволяє видалити з води важкі метали, а з іншого боку збіднює воду на корисні для людини елементи – іони кальцію та магнію. Для отримання якісної питної води було використано мембранний метод очистки – зворотній осмос. Встановлено, що після обробки зворотнім осмосом, отримана питна вода відповідає всім гігієнічним нормам, окрім водневого показника, який дорівнює pH=5,55. Крім того, встановлено, що ця вода характеризується низьким солевмістом, суттєво зменшився вміст сухого залишку (з 720 до 54 мг/дм^3), кальцію (з 164 до 4 мг / дм^3), гідрокарбонатів (з 439 до 20 мг / дм^3) та магнію (з 5 до 0,2 мг / дм^3), що є неприпустимим для якісної питної води, оскільки при постійному вживанні ця вода негативно впливає на здоров'я людини. Встановлено, що для одержання якісної питної води, безпечної для організму людини, необхідно удосконалення існуючого технологічного процесу очистки: по-перше,

видалення ланки іонного обміну з використанням Na-катіоніту, а по-друге, додавання ланки додаткової мінералізації після повного циклу очищення. В роботі наведені актуальні способи додаткової мінералізації для покращення якості та безпечного водопостачання в польових умовах Національної гвардії України.

Ключові слова: очищення води, безпечне водопостачання, гігієнічні вимоги, токсикологічний аналіз, зворотній осмос, іонний обмін, мінералізація.

Abstract. Toxicological and hygienic studies of purified drinking water for the needs of the National Guard of Ukraine were conducted in accordance with the scientific and technical work commissioned by the National Academy of the National Guard of Ukraine on the topic "Scientific and practical foundations of safe drinking water supply in field conditions of the National Guard of Ukraine", state registration number 0125U000163. It has been established that natural water from a well (treatment plant in the western region) cannot be used for drinking water supply, as it does not meet some hygiene requirements: nitrate content, as well as the content of heavy metals ─ cadmium, lead, nickel. According to the other twenty indicators for which the study was conducted, the water from the well meets the standards. To obtain drinking water intended for use in field conditions by servicemen of the National Guard of Ukraine, a number of purification and disinfection methods were selected: rough cleaning from mechanical impurities, ion exchange, softening, reverse osmosis and ultraviolet radiation treatment. The analysis showed that the use of coarse cleaning filters, ion exchange using Na-cationite and softening is not enough to obtain high-quality drinking water. After such treatment, the water does not meet the standards for four indicators: the content of nitrates, cadmium, nickel and lead. It was shown that ion exchange on the surface of Na-cationite occurs mainly due to calcium and magnesium ions. It was established that the use of ion exchange in the existing technological purification process is impractical, since it does not allow removing heavy metals from water, and on the other hand, it depletes water of elements useful for humans - calcium and magnesium ions. To obtain high-quality drinking water, a membrane purification method was used - reverse osmosis. It was found that after treatment with reverse osmosis, the obtained drinking water meets all hygienic standards, except for the hydrogen indicator, which is equal to pH = 5.55. In addition, it was found that this water is characterized by a low salt content, the content of dry residue has significantly decreased (from 720 to 54 mg / dm^3), calcium (from 164 to 4 mg / dm^3), hydrocarbonates (from 439 to 20 mg / dm^3) and magnesium (from 5 to 0.2 mg / dm^3), which is unacceptable for high-quality drinking water, since with constant use this water negatively affects human health. It has been established that in order to obtain high-quality drinking water that is safe for the human body, it is necessary to improve the existing technological purification process: first, removing the ion exchange link using Na-cationite, and second, adding an additional mineralization link after the full purification cycle. The paper presents current methods of additional mineralization to improve the quality and safe water supply in the field conditions of the National Guard of Ukraine.

Keywords: water purification, safe water supply, hygiene requirements, toxicological analysis, reverse osmosis, ion exchange, mineralization.

1. ВСТУП

Аналіз становища водопостачання Сил оборони України під час повномасштабної російсько-української війни показує, що всебічне бойове забезпечення військовослужбовців Національної гвардії України (НГУ), а саме, забезпечення якісною питною водою в необхідній кількості, є

надзвичайно важливою задачею та навіть умовою боєздатності військ в польових умовах[44]. Складні кліматичні умови ведення бойових дій, недостатня водозабезпеченість, погіршення санітарно-епідеміологічної обстановки джерел водозабезпечення в прифронтовій зоні, ускладнення логістики призводить до збільшення потреб військ у питній воді втричі[45,46]. Технологія очистки, водопідготовки, зберігання та транспортування чистої питної води в пластиковій тарі до місця дислокації безпосередньо зумовлюють якість та безпечність, токсикологічні та органоліптичні властивості води, яку отримують військовослужбовці в польових умовах.

На якість та безпечність питної води впливають наступні фактори: технологічний процес очистки (водопідготовки), хімічна природа пластику тари, термін та умови зберігання в тарі – освітленість, температура, механічні навантаження. В теперішній час фасована питна вода, яку використовують в підрозділах НГУ поза межами постійної дислокації, отримується очищенням природної води зі свердловин та транспортується в одноразових бутлях 1,5, 5,0 та 10 літрів з поліетилентерефталату (PET). У розпорядженні НГУ в наявності п’ять очисних станцій для одержання питної води, які розташовані в Північному, Східному та Західному регіонах країни та майже повністю забезпечують потреби у питній воді Північний і Західний регіони та частково Східний регіон. На типових очисних станціях очищену воду розливають у одноразові бутлі. Після використання тара підлягає утилізації. Враховуючи великі обсяги тари, це є економічно недоцільним, а також має шкідливі наслідки для навколишнього середовища. Очищену воду отримують шляхом обробки з використанням технології, яка включає очистку вихідної води зі свердловини від механічних домішок (груба очистка), установку іонного обміну з використанням Na-катіоніту, стадію пом’якшення (додавання хімічних реагентів), установку зворотного осмосу та стадію знезараження ультрафіолетовим випромінюванням.

Метою цього дослідження є токсикологічний і гігієнічний аналіз, органоліптичні властивості очищеної питної води, яка постачається в підрозділи НГУ для використання в польових умовах. Також на основі отриманих результатів з урахуванням властивостей вихідної природної води, що обробляється, і властивостей очищеної води, визначити шляхи удосконалення існуючої технології очищення, що розташована в західному регіоні України.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

З метою встановлення ефективності кожного з етапів існуючої технології очищення природної води в західному регіоні, були обрані три проби води: вода природна зі свердловини неочищена, вода очищена від механічних домішок, оброблена іонообмінною смолою та пом’якшена; вода очищена методом зворотного осмосу. Проби води досліджувались на відповідність нормам за 25 токсикологічними і органоліптичними показниками. Умови довкілля під час проведення випробувань були наступні: температура повітря +21,0 °С - +23,0 °С; вологість повітря 55,0% - 72,0%. Випробування проб води були проведені на відповідність вимогам

[44] Я Король та інші, «Проблемні питання водопостачання підрозділів сухопутних військ Збройних сил України в польових умовах» (2019) № 3(81) *Збірник наукових праць НАДПСУ. Серія: Військові та технічні науки* 376 https://periodica.nadpsu.edu.ua/index.php/military_tech/article/download/482/463

[45] О В Лотоцька та інші, «Гігієнічні проблеми водопостачання у Тернопільській області» (2028) № 1(85) *Довкілля та здоров’я* 36 https://cyberleninka.ru/article/n/gigienichni-problemi-vodopostachannya-u-ternopilskiy-oblasti/viewer

[46] В В Снітинський та інші, «Сучасний стан та екологічні проблеми водних ресурсів України» (2014) Т 4 № 1 *Науково-технічний журнал: журнал агробіології та екології* 9 http://lnau.lviv.ua/lnau/files/visnuku/журнал%20агробіології%20та%20екології.pdf#page=11

нормативних документів ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»[47,48].

Для досліджень використовувались наступні прилади:

- ваги електронні марки Pioneer PA 214C;
- pH-метр марки AD 1030 (Угорщина);
- спектрофотометр марки Е-1000V (США);
- спектрофотометр атомно-абсорбційний марки С-115М1 (Україна);
- хроматограф газовий марки «Кристалл 2000»;
- стерилізатор сухоповітряний марки ШСС-40;
- комплект діагностичний з мікроскопом лабораторним марки «Мікмед-6».

При інтерпретації отриманих результатів було застосовано «правило прийняття рішення» з урахуванням розширеної невизначеності вимірювань (U, %, k=2, p=0,95).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В результаті проведення досліджень токсикологічних та органоліптичних властивостей неочищеної природної води зі свердловини були отримані наступні показники, які представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Токсикологічна та гігієнічна характеристика неочищеної природної води зі свердловини

Показник, од. вимірювання	**Норма**	**Значення показника**	**Невизначеність вимірювання, U, %**	**Метод визначення**	**Відповідність нормі**
Органоліптичні властивості					
Запах при 20°С при 60°С	<3 <3	0 0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Смак та присмак, бали	<3	1	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Забарвленість, градуси	<10	<2	5,0	ДСТУ EN ISO 7887	відповідає
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Водневий показник pH, од. pH	6,5-8,5	7,27	5,0	ДСТУ 4077	відповідає
Залізо загальне, мг / дм^3	<1,2	0,13	25,0	ДСТУ ISO 6332	відповідає
Жорсткість загальна, ммоль / дм^3	<10,0	8,6	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Кальцій, мг / дм^3	Не визначається	164,32	5,0	ДСТУ ISO 6058	-
Магній, мг / дм^3	Не визначається	4,86	5,0	ДСТУ ISO 6059	-
Гідрокарбонати, мг / дм^3	Не визначається	439,0	5,0	МВ 1.5-02010793:2019	-
Марганець, мг / дм^3	<0,5	<0,01	18,0	МВ 1.15-02010793:2021	відповідає
Мідь, мг / дм^3	не визначається	0,009	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-

[47] ДСанПіН 2.2.4-171-10, *Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, Наказ МОЗ України № 400 від 12.05.2010 https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text

[48] ДСТУ 7525:2014, *Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості* https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10672-dstu_voda_pytna.pdf

Продовження таблиці 1

Показник, од. вимірювання	Норма	Значення показника	Невизначеність вимірювання, U, %	Метод визначення	Відповідність нормі
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Сульфати, мг / дм^3	<500	10,0	5,0	МВ 1.16-02010793:2021	відповідає
Поліфосфати, мг / дм^3	не визначається	<0,01	16,0	МВ 1.10-02010793:2021	-
Хлориди, мг / дм^3	<350	44,0	5,0	ДСТУ ISO 9297	відповідає
Цинк, мг / дм^3	не визначається	0,033	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Натрій, мг / дм^3	не визначається	7,5	15,0	МВ 1.14-02010793:2019	-
Сухий залишок, мг / дм^3	<1500	720,0	5,0	МВ 1.17-02010793:2021	-
Токсикологічні показники					
Кадмій, мг / дм^3	не визначається	0,0038	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Свинець, мг / дм^3	не визначається	0,028	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Нікель, мг / дм^3	не визначається	0,22	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-
Нітрати, мг / дм^3	<50	53,2	25,0	МВ 1.9-02010793:2019	не відповідає
Нітрити, мг / дм^3	<3,3	<0,003	25,0	МВ 1.19-02010793:2021	відповідає
Хром загальний, мг / дм^3	не визначається	<0,02	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	-

Окрім неорганічних показників, представлених у табл. 1, був визначений вміст деяких токсичних органічних речовин: нафтопродукти <0,01 мг / дм^3, аніонні поверхнево-активні речовини (АПАР) <0,05 мг / дм^3, пестициди (сума – алдрин, ГХЦГ (сума ізомерів), ГХЦГ (гама-ізомер), гептахлор, 4,4᾽-ДДТ; 4,4᾽-ДДЄ, 4,4᾽-ДДД) <0,0001 мг / дм^3. Визначено, що вміст цих речовин відповідає встановленим нормам.

Аналізуючи отримані результати можна стверджувати наступне. Вода зі свердловини неочищена за токсикологічними та органоліптичними показниками не відповідає нормам, які пред’являються для питної води. По-перше, природна вода містить високу кількість нітратів (53,2 мг / дм^3), а по-друге, до складу входять важкі метали: кадмій (0,0038 мг / дм^3), нікель (0,22 мг / дм^3), свинець (0,028 мг / дм^3) та цинк (0,033 мг / дм^3). Перевищення вмісту важких металів у воді, а саме, нікелю, кадмію, свинцю небезпечний тим, що, потрапляючи в організм, вони не тільки накопичуються в нирках, печінці та інших органах, а й порушують обмін речовин. Іони важких металів засмічують нирки й печінку і ці органи перестають виконувати функції фільтра. Внаслідок цього з організму не виводяться токсини. Наслідки накопичення в організмі важких металів можуть бути найсерйознішими, аж до спадкових мутацій. *Вода, забруднена нітратами, надзвичайно небезпечна для організму, а особливо для дітей у перші місяці життя. Нітрати малотоксичні, але в організмі під впливом кишкової мікрофлори здатні відновлюватись у нітрити. Одним з основних механізмів токсичної дії нітритів є перетворення гемоглобіну в метгемоглобін.*

Отже, для використання природної води зі свердловини необхідним є використання сучасних технологій очистки з метою доведення до встановлених гігієнічних норм, які пред’являються до питної води.

Існуюча станція очистки природної води для потреб НГУ в західному регіоні включає декілька основних стадій: фільтрування з використанням фільтрів грубої очистки, іонний обмін на поверхні Na-катіоніту, хімічне пом'якшення (додавання таблетованої солі – натрію хлориду кількістю 3000 мг / дм^3), мембранна очистка зворотнім осмосом, знезараження УФ-випромінюванням. Для встановлення ефективності кожного з етапів очистки, були досліджені зразки природної води після обробки фільтрами грубої очистки, іонним обміном та хімічним пом'якшенням. Одержані результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Токсикологічна та гігієнічна характеристика природної води, обробленої методами грубої очистки, іонним обміном та хімічним пом'якшенням

Показник, од. вимірювання	**Норма**	**Значення показника**	**Невизначеність вимірювання, U, %**	**Метод визначення**	**Відповідність нормі**
Органоліптичні властивості					
Запах при 20°С при 60°С	<0 <1	0 0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Смак та присмак, бали	0	0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Забарвленість, градуси	<10	<2	5,0	ДСТУ EN ISO 7887	відповідає
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Водневий показник pH, од. pH	6,5-8,5	7,16	5,0	ДСТУ 4077	відповідає
Залізо загальне, мг / дм^3	<1,2	0,14	25,0	ДСТУ ISO 6332	відповідає
Жорсткість загальна, ммоль / дм^3	<7,0	0,3	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Кальцій, мг / дм^3	<130	6,01	5,0	ДСТУ ISO 6058	відповідає
Магній, мг / дм^3	<80	0,2	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Гідрокарбонати, мг / дм^3	Не визначається	463,6	5,0	МВ 1.5-02010793:2019	-
Марганець, мг / дм^3	<0,05	<0,01	18,0	МВ 1.15-02010793:2021	відповідає
Мідь, мг / дм^3	<1,0	0,025	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Сульфати, мг / дм^3	<250	5,0	5,0	МВ 1.16-02010793:2021	відповідає
Поліфосфати, мг / дм^3	<0,6	<0,01	16,0	МВ 1.10-02010793:2021	відповідає
Хлориди, мг / дм^3	<250	40,0	5,0	ДСТУ ISO 9297	відповідає
Цинк, мг / дм^3	<1,0	0,045	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Натрій, мг / дм^3	<200	56,0	15,0	МВ 1.14-02010793:2019	відповідає
Сухий залишок, мг / дм^3	<1000	638,0	5,0	МВ 1.17-02010793:2021	відповідає
Токсикологічні показники					
Кадмій, мг / дм^3	<0,001	0,0018	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	не відповідає

Продовження таблиці 2

Показник, од. вимірювання	Норма	Значення показника	Невизначеність вимірювання, U, %	Метод визначення	Відповідність нормі
Токсикологічні показники					
Свинець, мг / дм^3	<0,01	0,014	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	не відповідає
Нікель, мг / дм^3	<0,02	0,03	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	не відповідає
Нітрати, мг / дм^3	<10	65,17	25,0	МВ 1.9-02010793:2019	не відповідає
Нітрити, мг / дм^3	<0,1	<0,003	25,0	МВ 1.19-02010793:2021	відповідає
Хром загальний, мг / дм^3	<0,05	<0,02	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає

Вміст токсичних органічних речовин: нафтопродукти <0,01 мг / дм^3, аніонні поверхнево-активні речовини (АПАР) <0,05 мг / дм^3, пестициди (сума – алдрин, ГХЦГ (сума ізомерів), ГХЦГ (гама-ізомер), гептахлор, 4,4᾽-ДДТ; 4,4᾽-ДДЄ, 4,4᾽-ДДД) <0,0001 мг / дм^3 відповідає встановленим нормам.

Аналізуючи результати, представлені в табл. 2, можна стверджувати, що, з одного боку, вказані методи обробки дозволили покращити органоліптичні властивості води, а саме, прибрати смак та присмак (0 балів) та зменшити вміст деяких важких металів. Так, удвічі зменшився вміст кадмію – з 0,0038 до 0,0018 мг / дм^3 та свинцю – з 0,028 до 0,014 мг / дм^3, майже в 7 разів зменшився вміст нікелю – з 0,22 до 0,3 мг / дм^3. Однак, ефективність цих методів виявилась недостатньою, оскільки вміст важких металів в обробленій воді все одно перевищує встановлені норми.

В той же час є і небажані результати обробки природної води методами іонного обміну та хімічного пом’якшення. А саме, майже в 27 разів зменшились показники жорсткості загальної – з 8,6 до 0,3 ммоль / дм^3 та кальцію – з 164,3 до 6 мг / дм^3, у 24 рази зменшився вміст магнію – з 4,86 до 0,2 мг / дм^3. Ці показники не перевищували норми у вихідній воді зі свердловини, а зменшення концентрації кальцію і магнію є небажаним, оскільки це мікроелементи, які є корисними для організму людини і мають бути у складі питної води для щоденного споживання.

Враховуючи той факт, що вміст хлоридів після обробки майже не змінився (40 мг / дм^3), можна стверджувати, що в даному випадку таблетовану сіль не додавали (при додаванні натрію хлориду в кількості 3000 мг / дм^3 у воду потрапляє натрію близько 1180 мг / дм^3 та хлоридів близько 1820 мг / дм^3). Отже, збільшення вмісту натрію більше ніж у 7 разів після обробки (з 7,5 до 56 мг / дм^3) можна пов’язувати з іонним обміном з використанням Na-катіоніту. І більша частина іонообмінних процесів пов’язана з видаленням іонів кальцію та магнію. Частково видаляються важкі метали кадмій, нікель, свинець. При цьому кількість нітратів у воді навіть збільшується (з 53 до 65 мг / дм^3). У випадку використання таблетованої солі натрій хлориду окрім того, що у воду потрапляє велика кількість хлоридів, які здатні видалити з води тільки свинець у вигляді малорозчинного плюмбум хлориду. При цьому нікель хлорид та кадмій хлорид є розчинними солями і не видаляються при такому способі пом’якшення. З іншого боку, додавання таблетованої солі дозволяє частково регенерувати Na-катіоніт та збільшити ресурс іонообмінної стадії очистки.

Враховуючи вищеозначене можна стверджувати, що для встановлення доцільності та ефективності застосування стадій іонного обміну та хімічного пом’якшення, а також визначення раціональної кількості таблетованої солі, яка додається на цьому етапі очистки, потребує подальших досліджень та випробувань. Встановлено, що цих методів недостатньо для очистки природної води зі свердловини та отримання питної води, яка відповідає встановленим нормам.

Для отримання якісної та безпечної питної води, до складу очисної станції входить стадія мембранної очистки методом зворотнього осмосу. Було проведено дослідження проби води після мембранної очистки та знезараження. Деякі отримані результати представлені у табл. 3.

Таблиця 3

Токсикологічна та гігієнічна характеристика очищеної природної води

Показник, од. вимірювання	**Норма**	**Значення показника**	**Невизначеність вимірювання, U, %**	**Метод визначення**	**Відповідність нормі**
Органоліптичні властивості					
Запах при 20°C при 60°C	<0 <1	0 0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Смак та присмак, бали	0	0	-	ДСТУ EN 1420-1	відповідає
Забарвленість, градуси	<10	<2	5,0	ДСТУ EN ISO 7887	відповідає
Показники, які впливають на органоліптичні властивості					
Водневий показник pH, од. pH	6,5-8,5	5,55	5,0	ДСТУ 4077	не відповідає
Залізо загальне, мг / дм^3	<0,2	0,1	25,0	ДСТУ ISO 6332	відповідає
Жорсткість загальна, ммоль / дм^3	<7,0	0,2	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Кальцій, мг / дм^3	<130	4,0	5,0	ДСТУ ISO 6058	відповідає
Магній, мг / дм^3	<80	0,2	5,0	ДСТУ ISO 6059	відповідає
Гідрокарбонати, мг / дм^3	Не визначається	19,5	5,0	МВ 1.5-02010793:2019	-
Марганець, мг / дм^3	<0,05	<0,01	18,0	МВ 1.15-02010793:2021	відповідає
Мідь, мг / дм^3	<1,0	0,12	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Сульфати, мг / дм^3	<250	5,0	5,0	МВ 1.16-02010793:2021	відповідає
Поліфосфати, мг / дм^3	<0,6	<0,01	16,0	МВ 1.10-02010793:2021	відповідає
Хлориди, мг / дм^3	<250	3,0	5,0	ДСТУ ISO 9297	відповідає
Цинк, мг / дм^3	<1,0	0,11	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Сухий залишок, мг / дм^3	<1000	54,0	5,0	МВ 1.17-02010793:2021	відповідає
Токсикологічні показники					
Кадмій, мг / дм^3	<0,001	<0,001	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Свинець, мг / дм^3	<0,01	<0,01	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Нікель, мг / дм^3	<0,02	0,01	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає
Нітрати, мг / дм^3	<10	8,47	25,0	МВ 1.9-02010793:2019	відповідає
Нітрити, мг / дм^3	<0,1	<0,003	25,0	МВ 1.19-02010793:2021	відповідає
Хром загальний, мг / дм^3	<0,05	<0,02	18,0	МВ 31.2-02010793:2023	відповідає

Аналізуючи результати, представлені в табл. 2, можна стверджувати, що використання мембранної очистки дозволяє отримати питну воду, яка за органоліптичними властивостями майже повністю відповідає встановленим нормам та не містить токсичних компонентів в неприпустимих кількостях. В той же час отриману воду не можна визначати як якісну та безпечну для питного водопостачання. Це пов'язано з тим, що, по-перше, очищена вода не відповідає встановленим нормам за водневим показником (pH=5,55), а по-друге, очищена вода характеризується неприпустимо низьким солевмістом та інших корисних мікроелементів – сухий залишок 54 мг / дм^3, вміст кальцію – 4 мг / дм^3, магнію – 0,2 мг / дм^3, гідрокарбонатів – 19,5 мг / дм^3, сульфатів – 5 мг / дм^3, хлоридів – 3 мг / дм^3.

Вважається, що якість та безпечність питної води, яку людина може вживати щоденно, визначається деяким оптимальним вмістом загальної кількості солей та деяких корисних мікроелементів[49,50]. Так, мінімальним значенням сухого залишку у питній воді в країнах Східної Європи вважається значення 100 мг / дм^3, для хлорсульфатних вод це значення має бути в діапазоні 200-400 мг / дм^3, а для гідрокарбонатних вод – в діапазоні 250-500 мг / дм^3. Оптимальним вмістом натрію у питній воді вважається значення 50 мг / дм^3 (у країнах Східної Європи) та 200 мг / дм^3 (за рекомендацією ВООЗ). Оптимальним вмістом кальцію у питній воді вважається 30 мг / дм^3 (у країнах Східної Європи), 20 мг / дм^3 (у Німеччині), має бути в діапазоні 60-125 мг / дм^3 (у Великій Британії). Оптимальним вмістом магнію у питній воді вважається значення 10 мг / дм^3 (у країнах Східної Європи), має бути в діапазоні 50-100 мг / дм^3 (у Великій Британії). Відомо, що постійне вживання питної води з недостатнім солевмістом може призводити до порушення водно-сольового балансу в організмі людини, зростання кількості серцево-судинних та інших захворювань. Тому, стає очевидним, що питна вода, отримана після мембранної очистки зворотнім осмосом потребує додаткової обробки з метою коригування мінерального складу.

Мінералізацію очищеної води можна забезпечити декількома способами: додаванням розчинних твердих солей або концентрованих розчинів або пропусканням води через природні джерела розчинних мінералів (мармур, вапняк, доломіт). Ці методи дозволяють скоригувати вміст мікроелементів, а також привести до норми водневий показник pH. Отже, додаткова мінералізація очищеної води є обов'язковою стадією на станціях очищення, оскільки дозволяє отримати питну воду належної якості для безпечного водопостачання в польових умовах Національної гвардії України.

4. ВИСНОВКИ

У результаті досліджень було встановлено:

- вода зі свердловини, яка розташована в західному регіоні України, неочищена за токсикологічними та органоліптичними показниками не відповідає нормам, які пред'являються для питної води: містить високу кількість нітратів (53,2 мг / дм^3) та важких металів ─ кадмію (0,0038 мг / дм^3), нікелю (0,22 мг / дм^3), свинцю (0,028 мг / дм^3) та цинку (0,033 мг / дм^3);
- існуюча станція очистки природної води для потреб НГУ в західному регіоні, яка потребує додаткових досліджень щодо встановлення ефективності, включає декілька основних стадій: фільтрування від механічних домішок (груба очистка), іонний обмін з використанням Na-катіоніту, хімічне пом'якшення (додавання таблетованої солі – натрію хлориду в кількості 3000 мг / дм^3), мембранна очистка зворотнім осмосом, знезараження УФ-випромінюванням;

[49] М Т Брик, «Питна вода і мембранні технології (огляд)» (2000) Т 18 *Наукові записки НаУКМА. Хімічні науки* 4 https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/f678d5b8-c97f-48a9-ad2c-641144f93636/content

[50] М В Кравченко та інші, «Застосування методу зворотного осмосу для доочистки питної води» (2021) № 4(40) *Екологічна безпека та природокористування* 32 https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.32-45

- обробка води методом іонного обміну дозволила покращити органоліптичні властивості води, а саме, прибрати смак та присмак (0 балів), а також зменшити вміст деяких важких металів: удвічі зменшився вміст кадмію – з 0,0038 до 0,0018 мг / дм^3 та свинцю – з 0,028 до 0,014 мг / дм^3, майже в 7 разів зменшився вміст нікелю – з 0,22 до 0,3 мг / дм^3; ефективність іонного обміну з використанням Na-катіоніту виявилась недостатньою, оскільки вміст важких металів в обробленій воді залишився неприпустимим;
- після обробки природної води методом іонного обміну майже в 27 разів зменшились показники жорсткості загальної – з 8,6 до 0,3 ммоль / дм^3 та кальцію – з 164,3 до 6 мг / дм^3, у 24 рази зменшився вміст магнію – з 4,86 до 0,2 мг / дм^3, показники, що не перевищували норми у вихідній воді зі свердловини, а зменшення концентрації кальцію і магнію є небажаним, оскільки це мікроелементи, які є корисними для організму людини і мають бути у складі питної води для щоденного споживання;
- після обробки вміст хлоридів майже не змінився (40 мг / дм^3), отже, що в даному випадку таблетовану сіль не додавали (при додаванні натрію хлориду в кількості 3000 мг / дм^3 у воду потрапляє натрію близько 1180 мг / дм^3 та хлоридів близько 1820 мг / дм^3); збільшення вмісту натрію більше ніж у 7 разів після обробки (з 7,5 до 56 мг / дм^3) пов'язано з іонним обміном з використанням Na-катіоніту, а більша частина іонообмінних процесів пов'язана з видаленням іонів кальцію та магнію та частково з видаленням важких металів;
- для встановлення доцільності та ефективності застосування стадій іонного обміну та хімічного пом'якшення, а також визначення раціональної кількості таблетованої солі, яка додається на цьому етапі очистки, потребує подальших досліджень та випробувань; використання цих методів недостатньо для очистки природної води зі свердловини та отримання питної води, яка відповідає встановленим нормам;
- використання мембранної очистки зворотнім осмосом дозволяє отримати очищену питну воду, яка за органоліптичними властивостями майже повністю відповідає встановленим нормам та не містить токсичних компонентів в неприпустимих кількостях;
- очищену воду не можна визначати як якісну та безпечну для питного водопостачання, оскільки, по-перше, очищена вода не відповідає встановленим нормам за водневим показником (pH=5,55), а по-друге, характеризується неприпустимо низьким солевмістом та інших корисних мікроелементів – сухий залишок 54 мг / дм^3, вміст кальцію – 4 мг / дм^3, магнію – 0,2 мг / дм^3, гідрокарбонатів – 19,5 мг / дм^3, сульфатів – 5 мг / дм^3, хлоридів – 3 мг / дм^3;
- зважаючи на те, що постійне вживання питної води з недостатнім солевмістом може призводити до порушення водно-сольового балансу в організмі людини, зростання кількості серцево-судинних та інших захворювань, стає очевидним, що питна вода, отримана після мембранної очистки зворотнім осмосом потребує додаткової обробки з метою коригування мінерального складу.

Висловлюємо подяку Тетяні Зозуляк, доктору біологічних наук, старшому науковому співробітнику, керівниці центральної науково-дослідної лабораторії та лабораторії промислової токсикології Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, за допомогу в проведенні токсикологічного та гігієнічного аналізу проб води.

ВПЛИВ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ФОРМУВАННЯ ТА ВИНИКНЕННЯ ЕПІДЕМІЧНИХ УСКЛАДНЕНЬ

INFLUENCE OF MIGRATION PROCESSES ON THE FORMATION AND OCCURRENCE OF EPIDEMIC COMPLICATIONS

Наталія Виноград, доктор медичних наук, професор, e-mail: vynogradno@ukr.net, завідувачка кафедри епідеміології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6133-6841

Зоряна Василишин, кандидат медичних наук, доцент, e-mail: Zoryana624@gmail.com, доцент кафедри епідеміології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8120-6662

Людмила Козак, кандидат медичних наук, доцент, e-mail: kozaklyudmyla@ukr.net, доцент кафедри епідеміології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6835-2684

Уляна Шуль, кандидат медичних наук, доцент, e-mail: pylichka83@gmail.com, доцент кафедри епідеміології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1650-8944

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.04

Abstract. Migration processes, as a global phenomenon, have a significant impact on the epidemic situation in different regions of the world, contribute to the spread of infectious disease pathogens and the formation of epidemic complications. Population movements during emergencies across borders and within countries create favorable conditions for the transmission of pathogenic biological agents, such as Rotaviruses, Noroviruses, Mycobacteria of Tuberculosis, respiratory viruses, pathogens of natural focal extremely dangerous infections, etc. Migration in Ukraine is caused by a long-term military conflict since 2014, which intensified as a result of the full-scale Russian invasion in 2022, which requires assessment, monitoring and forecasting.

The purpose was to analyze the relationship between migration and epidemic complications, identify key challenges for public health in Ukraine, and propose substantiated preventive measures. The study is based on data from the World Health Organization, the Centers for Disease Control and Prevention of USA, the Public Health Center of Ukraine (2017–2025), the UN Refugee Agency, and the International Organization for Migration. An epidemiological method was applied to establish a connection between migration flows and changes in morbidity trends and risk assessment.

The impact of the active phase of the Russian-Ukrainian war on the epidemiological state of the territory and population was specified. Military operations, the destruction of 80% of Ukraine's thermal energy in 2024, and 50% of the energy infrastructure increased epidemiological risks due to the lack of heating, hot water, and proper conditions, including in medical institutions. As of 2023, according to the Office of the United Nations High Commissioner for Refugees, about 6.9 million Ukrainians have become refugees abroad, and 3.7 million have become internally displaced persons (IDPs). Overcrowding in shelters, deteriorating sanitary conditions, the destruction of medical infrastructure, and limited access to diagnostics and treatment have increased the risks of outbreaks of infectious diseases, including Rotavirus (8 outbreaks of rotaviral enteritis in 2022,

affecting 49 people, including 44 children), Norovirus (5 outbreaks in 2021, 69 patients; 4 outbreaks in 2025, 48 patients, including 38 children), and Tuberculosis, the incidence of which is increasing among IDPs due to violations of screening programs.

Various vectors of change in the epidemiological situation have been established depending on the nature of the direction and volume of migration processes. The mechanisms of the influence of migration processes on the epidemic process have been studied, covering demographic changes, social vulnerabilities and environmental violations. The scientific novelty lies in the comprehensive approach to analyzing the impact of migration on the epidemiological profile of Ukraine in war conditions, which reveals new aspects of the interaction of demographic, social and environmental factors.

The russian-Ukrainian war in the active phase is accompanied by migration processes of the population, which has changed the long-term trend of the development of the epidemic process of endemic infectious diseases. To prevent significant epidemic complications, it is necessary to strengthen epidemiological surveillance, improve access to medical services for IDPs and refugees, and optimize international cooperation to counter cross-border health threats. Key components of anti-epidemic protection should be mandatory diagnostics of socially significant infections, deployment of mobile medical teams in places of temporary residence of IDPs, and vaccination campaigns for vulnerable population groups.

Keywords: migration, epidemic complications, public health, Ukraine, globalization, epidemiological surveillance.

ВСТУП

Міграція населення є складним суспільним процесом, що впливає на соціально-економічні, демографічні та епідеміологічні аспекти життя. За даними ООН, на початку XXI століття кількість мігрантів у світі сягнула 175 мільйонів осіб, і ця цифра продовжує зростати[51]. В Україні міграційні процеси набули особливого значення через війну, яка розпочалася у 2014 році та посилилася повномасштабним вторгненням росії у 2022 році. Станом на 2023 рік, за даними Управління Верховного комісара Організації Об'єднаних Націй у справах біженців (UNHCR), близько 6,9 мільйонів українців стали біженцями за кордоном, а 3,7 мільйонів є внутрішньо переміщеними особами (ВПО). У 2025 році, за оновленими оцінками Центру економічної стратегії, кількість біженців станом на листопад 2024 року становила 5,2 мільйона, але з урахуванням триваючого відтоку і часткового повернення та тих, хто виїхав через війну, загальна кількість може сягати 6,8 мільйона[52]. За 2023-2024 роки найбільше українців прийняли у Німеччині (1,17 млн), Польщі (960 тис.) та Чехії (381 тис.). Інші держави прихистили також велику кількість наших громадян: Словаччина (115,9 тис.), Англія (253 тис.), Іспанія та Італія (до 200 тис.), Нідерланди (150 тис.), Австрія (85 тис.), Бельгія (75 тис.), Норвегія, Франція, Швейцарія понад 60 тис. кожна[53]. Динаміка 2024 року показує чистий відтік близько 0,5 млн осіб, і прогнозується додатковий відтік 0,2 млн у 2025 році.

[51] 'Global health estimates: Infectious diseases' [online] (World Health Organization (WHO), n.d.) <*https://www.who.int/data/global-health-estimates*> accessed 30 May 2025.
[52] 'Ukraine refugee situation' [online] (United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), 2025) <*https://www.unhcr.org/ukraine-emergency.html*> accessed 30 May 2025.
[53] ibid.

Переміщення населення створюють умови для поширення інфекційних хвороб, таких як рота-норовірусна інфекції, туберкульоз і гострі респіраторні вірусні інфекції (ГРВІ), через перенаселеність, обмежений доступ до медичних послуг і погіршення санітарних умов[54, 55, 56].

Нашою метою було здійснення аналізу впливу міграційних процесів на формування епідемічних ускладнень в Україні та оптимізація рекомендації щодо запровадження протиепідемічного забезпечення населення і території в залежності від інтенсивності, обсягів і направленості переміщення населення в часі війни.

Ключові слова: міграція, епідемічні ускладнення, охорона здоров'я, Україна, глобалізація, епідеміологічний нагляд.

МЕТОДОЛОГІЯ

Дослідження базується на аналізі наукової літератури, даних Всесвітньої організації охорони здоров’я (ВООЗ)[57], Центрів з контролю та профілактики захворювань США (CDC)[58], звітів Центру громадського здоров’я України (ЦГЗ) за 2017-2025 роки[59], а також даних UNHCR[60] та Міжнародної організації з міграції (МОМ)[61].

Використано епідеміологічний метод для оцінювання спалахів інфекційних хвороб, пов’язаних із міграційними процесами. Особлива увага приділена рота-, норовірусній інфекціям, туберкульозу та ГРВІ як прикладам інфекційних патологій, чутливих до міграційних чинників. Визначено ризики щодо кишкових, дихальних, зоонозних трансмісивних і нетрансмісивних інфекцій. Додатково проаналізовано вплив війни на інфраструктуру охорони здоров’я та санітарні умови в Україні на основі звітів Європейської Комісії[62].

РЕЗУЛЬТАТИ

Із початком повномасштабної війни у 2022 році, Україна зіштовхнулася з безпрецедентною внутрішньою міграцією — мільйони людей були змушені залишити свої домівки. Міністерство соціальної політики України у 2023 році повідомляло про 4,9 мільйона ВПО, і ця цифра залишалася відносно стабільною з незначним зменшенням[63]. Для 2025 року, враховуючи різні джерела, кількість ВПО оцінюється в діапазоні 3,7-6,9 мільйона, залежно від методології підрахунку та регіональних даних[64]. Станом на кінець 2024 року, за даними досліджень міграційних процесів в Україні, 72 % ВПО перемістилися до інших областей, тоді як 27 % залишилися в межах області походження. Найбільш значні міжобласні переміщення зафіксовано з Донецької до

[54] 'Crisis in Ukraine' [online] (International Organization for Migration (IOM), 2024) <*https://www.iom.int/ukraine*> accessed 30 May 2025.
[55] 'Туберкульоз і міграція: глобальний контекст' [online] (Центр громадського здоров’я України, 01 Липень 2022) <*https://phc.org.ua/news/tuberkuloz-i-migraciya-globalniy-kontekst*> дата звернення 30 Травень 2025.
[56] Lopman B, 'Global Burden of Norovirus and Prospects for Vaccine Development' (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2024) <*https://www.cdc.gov/norovirus/downloads/global-burden-report.pdf*> accessed 30 May 2025.
[57] 'Global health estimates: Infectious diseases' [online] (World Health Organization (WHO), n.d.) <*https://www.who.int/data/global-health-estimates*> accessed 30 May 2025.
[58] Ibid.
[59] Ibid.
[60] Ibid.
[61] Ibid.
[62] 'Communicable diseases in Ukraine during the period of 2018–2023: Impact of the COVID-19 pandemic and war' [online] (European Commission, 2024) <*https://ec.europa.eu/health/*> accessed 30 May 2025.
[63] 'Звіт про внутрішнє переміщення населення в Україні — Р14: жовтень 2023 року' [online] (International Organization for Migration (IOM) 2023) <*https://dtm.iom.int/sites/g/files/tmzbdl1461/files/reports/IOM_Gen%20Pop%20Report_R14_Displacement_ENG-UKR.pdf*> accessed 30 May 2025.
[64] 'Звіт про внутрішнє переміщення населення в Україні — Р18: жовтень 2024 року' [online] (International Organization for Migration (IOM) 2024)
<*https://dtm.iom.int/sites/g/files/tmzbdl1461/files/reports/IOM_Ukraine_GPS_Internal%20Displacement%20Report_R18_October_2024_UA.pdf*> accessed 30 May 2025.

Дніпропетровської області (269 тис. осіб) та з Донецької області до міста Києва (117 тис. осіб). Найвищі показники внутрішньообласних переміщень спостерігалися в Херсонській (93 %), Донецькій (86 %) та Харківській (83 %) областях. Високий рівень переміщень у межах прифронтових регіонів, зокрема Харківської (366 тис. ВПО) та Запорізької (176 тис. ВПО) областей, разом із концентрацією ВПО у східній частині Харківської та Дніпропетровської областей, свідчить про прагнення переселенців залишатися поблизу регіонів походження[65, 66]. Ця тенденція підкреслює соціально-економічні та психологічні чинники, що впливають на вибір місця проживання ВПО, навіть у зонах підвищеного ризику, та вказує на необхідність цілеспрямованої підтримки цих груп для забезпечення їхньої безпеки та доступу до базових послуг (проживання, медичного супроводу, роботи).

Від початку активної фази війни здійснюється посилений моніторинг за епідемічною ситуацією щодо ендемічних інфекційних захворювань у всіх регіонах країни. Слід зазначити, що в перші місяці від початку активної фази бойових дій в жодному регіоні не відбулося значних епідемічних ускладнень з груп дихальних і кишкових інфекцій завдяки високому рівню організації протиепідемічного забезпечення[67, 68].

Оцінювання показників інтенсивності епідемічного процесу від початку війни було не коректним, оскільки здійснювалося з урахування чисельності населення станом на 1 січня 2022 року. Відповідно до того, не належно використовувалися і порогові рівні захворюваності для визначення епідемічного стану території та населення. Це триває і досі, тому офіційна статистика не дозволяє реально оцінити епідемічну ситуацію в конкретних локаціях[69].

Ще однією проблемою стала втрата контролю за соціально значимими інфекціями, такими як туберкульоз і ВІЛ/СНІД. Частина хворих зі східних регіонів з об'єктивних причин втратили можливість отримання безперервного курсу лікування, оскільки залишилися на окупованих територіях активних бойових дій70 або мігрували до інших регіонів чи країн[71].

Туберкульоз був і залишається серйозною проблемою в Україні, особливо серед мігрантів і ВПО. Має місце зростання кількості стійких форм туберкульозу у східних регіонах. У 2022 році ЦГЗ зазначив зростання захворюваності на туберкульоз серед ВПО через обмежений доступ до діагностики та лікування[72]. За даними ВООЗ, Україна входить до країн із високим тягарем

---

[65] Ibid.

[66] 'Мінсоцполітики оприлюднило статистику про кількість ВПО в Україні за областями (23 жовтня 2024 року)' [online] (Аналітичний центр з прав людини 2024) <*https://acmc.ua/minsoczpolityky-oprylyudnylo-statystyku-pro-kilkist-vpo-v-ukrayini-za-oblastyamy/* дата звернення 30 Травень 2025.

[67] Виноград Н, 'Протиепідемічний захист населення і території у період активної фази російсько-української війни у 2022 році' (2023) 1 Превентивна медицина Теорія і практика 24–7. <*https://duieih.kiev.ua/documents/journal/01_2023_24_03.pdf*> дата звернення 30 Травень 2025.

[68] 'Щорічний звіт про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2023 рік' [online] (Міністерство охорони здоров'я України, 2024) URL:
<*https://moz.gov.ua/storage/uploads/386da5b2-66ed-4e85-932c-d9828ba76a7a/%D0%A9%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82-%D0%B7%D0%B0-2023-%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf*> дата звернення 30 Травень 2025.

[69] Ibid.

[70] 'Russian-occupied regions of Ukraine at risk from infections and epidemics' (Atlantic Council [online]) <*https://www.atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/russian-occupied-regions-of-ukraine-at-risk-from-infections-and-epidemics/*> accessed 10 July 2022.

[71] 'Туберкульоз і міграція: глобальний контекст' [online] (Центр громадського здоров'я України, 01 Липень 2022) <*https://phc.org.ua/news/tuberkuloz-i-migraciya-globalniy-kontekst*> дата звернення 30 Травень 2025.

[72] 'Щорічний звіт про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2023 рік' [online] (Міністерство охорони здоров'я України, 2024) URL:
<*https://moz.gov.ua/storage/uploads/386da5b2-66ed-4e85-932c-d9828ba76a7a/%D0%A9%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82-%D0%B7%D0%B0-2023-%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf*> дата звернення 30 Травень 2025.

мультирезистентного туберкульозу, що становить додатковий ризик у перенаселених умовах[73]. Війна порушила програми скринінгу та лікування, що призвело до зростання недіагностованих випадків.

Низка інфекцій дихальних шляхів, зокрема грип, поліетіологічна група ГРВІ мають високу контагіозність і часто викликають епідемії в умовах міграції. У 2022-2023 роках спостерігалося зростання захворюваності на ГРВІ серед ВПО через скупченість у притулках і обмежений доступ до вакцинації[74]. Руйнування енергетичної інфраструктури (50 % потужностей знищено у 2024 році) ускладнює підтримання належних умов у медичних закладах, що сприяє бактеріальним ускладненням ГРВІ[75]. У 2023 році було зафіксовано збільшення випадків дифтерії серед неповнолітніх у Закарпатті, що пов'язують з низьким рівнем вакцинації серед приїжджих з інших областей[76].

Ротавірусна інфекція становить значний ризик для ВПО в Україні, особливо для дітей до 5 років, через скупченість, антисанітарію та порушення доступу до медичних послуг. Спалахи в 2022 році (8 епізодів, 49 постраждалих) підкреслюють вразливість цієї групи. Регіони з високою концентрацією ВПО, такі як Дніпропетровська, Харківська та Львівська області, потребують посиленого епідеміологічного нагляду та профілактичних заходів[77].

Норовірус є провідною причиною гострого гастроентериту, спричиняючи 685 мільйонів випадків щорічно в світі[78]. В Україні спалахи норовірусної інфекції часто пов'язані з внутрішньою міграцією та погіршенням санітарних умов у притулках для ВПО. У 2021 році ЦГЗ зареєстрував 5 спалахів (69 хворих), а в 2025 році — 4 спалахи в Рівненській та Київській областях (48 хворих, з них 38 дітей)[79,80]. Обмежена лабораторна діагностика ускладнює оцінку реальної захворюваності, а перенаселеність у тимчасових притулках сприяє швидкому поширенню вірусу[81]. Зросла кількість випадків захворювань на ботулізм як наслідок порушень санітарно-гігієнічних вимог до виготовлення і зберігання харчових продуктів. Так, за даними ЦГЗ, лише у 2023 році захворіли 85 осіб, з них 4 дітей, а від початку 2025 року у Волинській, Дніпропетровській, Запорізькій, Львівській, Одеській, Тернопільській, Херсонській, Хмельницькій, Черкаській, Київській областях та у Києві підтверджено 25 випадків ботулізму[82].

Через нестачу чистої води в прифронтових містах, особливо в Миколаївській, Херсонській та Донецькій областях, ВООЗ попереджала про можливість виникнення спалахів холери[83].

---

[73] 'Global health estimates: Infectious diseases' [online] (World Health Organization (WHO), n.d.) <*https://www.who.int/data/global-health-estimates*> accessed 30 May 2025.

[74] Hintermeier M, Gencer H, Bozorgmehr K, 'COVID-19 among migrants, refugees, and internally displaced persons: systematic review, meta-analysis and qualitative synthesis' (2024) 12(3) The Lancet Global Health 401–14 <*https://doi.org/10.1016/S2214-109X(23)00563-4*> accessed 30 May 2025.

[75] 'Crisis in Ukraine' [online] (International Organization for Migration (IOM), 2024) <*https://www.iom.int/ukraine*> accessed 30 May 2025.

[76] 'Додатковий раунд з імунізації проти дифтерії та правця: як перевірити свій вакцинальний статус і отримати щеплення безоплатно' [online] (Міністерство охорони здоров'я України, 21 Серпень 2024) <*https://moz.gov.ua/uk/dodatkovij-raund-z-imunizaciyi-proti-difteriyi-ta-pravcya-yak-pereviriti-svij-vakcinalnij-status-i-otrimati-sheplennya-bezoplatno*> дата звернення 30 Травень 2025.

[77] Щорічний звіт про стан здоров'я населення України (н 25)

[78] Додатковий раунд з імунізації проти дифтерії та правця (н 29)

[79] 'Епідеміологічний нагляд за інфекційними хворобами в Україні' [online] (Центр громадського здоров'я України 2023) <*https://www.phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvan/infekciyniy-kontrol/epidnaglyad-za-ipnmd*> дата звернення 30 Травень 2025.

[80] Щорічний звіт про стан здоров'я населення України (н 25)

[81] Eiset A, Wejse C, 'Review of infectious diseases in refugees and asylum seekers —current status and going forward' (2017) 38 Public Health Reviews 22 <*https://doi.org/10.1186/s40985-017-0065-4*> accessed 20 July 2016.

[82] 'Увага, ботулізм! Симптоми та профілактика серйозного захворювання' (Центр громадського здоров'я України 29 2024) [online] <*https://phc.org.ua/news/uvaga-botulizm-simptomi-ta-profilaktika-seryoznogo-zakhvoryuvannya*> дата звернення 30 Травень 2025.

[83] Міністерство охорони здоров'я України, Наказ МОЗ України Про оптимізацію комплексу протиепідемічних заходів при виявленні захворювань, що викликані холерними та іншими патогенними вібріонами (185 2004) URL: <*https://zakononline.com.ua/documents/show/98498___98498*> дата звернення 30 Травень 2025.

Недостатня вакцинація дітей створює ризик відновлення циркуляції вірусу поліомієліту[84]. Спостерігається стійка тенденція до зростання захворюваності на такі імунокеровані інфекції як кір, кашлюк, грип, правець, вірусний гепатит В, особливо у західному регіоні держави[85, 86].

Встановлено, що більша частина України є ензоотичною щодо трансмісивних інфекцій. Трансформація ландшафтів внаслідок екосистемного впливу різних чинників, зумовлює зміни у популяціях визначальних складових паразитарних систем.

Так, у західних областях України (Закарпатська, Львівська, Волинська) відзначається високий ризик іксодового кліщового бореліозу (ІКБ) та вірусного кліщового енцефаліту (ВКЕ) через поширення кліщів Ixodes ricinus, лісисті території та значну кількість ВПО. Масові переміщення ВПО (понад 350 000 у Закарпатській області) та перебування військових у лісах підвищують ймовірність укусів[87,88]. У 2022 році захворюваність на ІКБ у західних регіонах зросла на 15 % порівняно з довоєнним періодом[89]. Низький рівень вакцинації проти ВКЕ (менше 10 % населення в зонах ризику) та зростання активності на відкритому повітрі серед ВПО і військових посилюють загрозу[90].

В Україні з початку серпня 2024 року зареєстровано 41 верифікований випадок захворювання на гарячку Західного Нілу (ГЗН), а з початку поточного року — 50 випадків. У літній період хворобу діагностували у Київській області та Києві, і один випадок зареєстровано в Полтавській області[91].

У центральних, східних і південних регіонах України спостерігається підвищений ризик поширення ГЗН через низку чинників, зумовлених воєнними діями. Скупченість населення в тимчасових укриттях, таких як намети, гуртожитки чи евакуаційні центри, а також перебування військових у польових умовах, зокрема в зонах ризику (болота, водойми, лісостепові території), сприяють контакти з комарами-переносниками[92].

Відсутність даних щодо захворюваності на окупованих територіях ускладнює оцінювання епідемічної ситуації, але зрозуміло, що порушення інфраструктури територій та переміщення тварин підвищують ризик виникнення зоонозних захворювань[93, 94].

Міграційні процеси впливають на епідемічну ситуацію через низку соціально-економічних чинників, одним із яких є зміна демографічного складу населення. В Україні війна призвела до значного відтоку молодого та працездатного населення, особливо жінок репродуктивного віку та дітей, що сприяє постарінню населення в контрольованих Україною регіонах. За даними ООН, населення України скоротилося з 44,3 мільйонів у 2021 році до 37,7 мільйонів у 2023 році, а

[84] 'Vaccination is the only protection against polio: MoH, WHO, and UNICEF urge' [online] (UNICEF, WHO and Ministry of Health of Ukraine 24 October 2024). <*https://www.unicef.org/ukraine/stories/vaccination-only-protection-against-polio*> accessed 30 May 2025.
[85] 'Епідеміологічний нагляд за інфекційними хворобами в Україні' (н 32)
[86] Щорічний звіт про стан здоров'я населення України (н 25)
[87] 'Report looks at vector-borne disease risk in Ukraine' [online] (Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 17 March 2022) <*https://www.rstmh.org/news-blog/news/report-looks-at-vector-borne-disease-risk-in-ukraine*> accessed 30 May 2025.
[88] 'Щорічний звіт про стан здоров'я населення України (н 25)
[89] Ibid.
[90] 'Report looks at vector-borne disease risk in Ukraine (n 40)
[91] 'Щорічний звіт про стан здоров'я населення України (н 25)
[92] Виноград Н, Шуль У, 'Прогнозування модифікації природних комариних осередків особливо небезпечних інфекцій в Україні під впливом кліматичних змін' (2021) 3 Інфекційні хвороби 4–12 <*https://doi.org/10.11603/1681-2727.2021.3.12444*> дата звернення 30 Травень 2025.
[93] 'Ukraine refugee situation' [online] (United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), 2025) <*https://www.unhcr.org/ukraine-emergency.html*> accessed 30 May 2025.
[94] Vynograd N, Grychtoł S, Kołodziej W, et al. 'Epizootic-epidemiological features of rabies in the eastern European region at the current stage' (2024) 73(1) Proceeding of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences 254 <*https://doi.org/10.25040/ntsh2024.01.18*> accessed 30 May 2025.

у 2024 році зросло до 38 мільйонів[95]. Це підвищує вразливість до інфекційних хвороб, особливо серед літніх людей[96].

Важливим чинником є інтенсивність міграції, що може сприяти переміщенню збудників інфекційних захворювань між регіонами, оскільки мігранти можуть бути хворими чи носіями патогенів (наприклад, туберкульозу, ВІЛ-інфекції, кору, гепатитів тощо). За відсутності належного медичного нагляду, це становить небезпеку для приймаючої спільноти. Особливо небезпечним є контакт між нещепленими дітьми у нових громадах. Мігранти, через психологічні травми і стрес, можуть мати страх перед новою владою, а незнання мови або інші бар'єри заважають своєчасному зверненню за медичною допомогою. Це затримує діагностику інфекцій і сприяє їх подальшому поширенню[97,98].

Міжнародні організації та системи охорони здоров'я часто не встигають адекватно реагувати на масову міграцію. Відсутність єдиних протоколів та обміну даними між країнами погіршує здатність запобігати спалахам захворювань[99]. Також важливим фактором впливу на рівень інфекційної захворюваності є соціальні умови. Так, ВПО та біженці часто проживають у перенаселених умовах, таких як табори, притулки чи тимчасові помешкання, з обмеженим доступом до чистої води, належних санітарних умов та медичних послуг. Наприклад, рота- та норовіруси, вірус гепатиту А, що передаються фекально-оральним механізмом, легко поширюється в таких умовах. Крім того, доступ до профілактичних медичних послуг (вакцинації, обстежень, лікування) часто обмежений[100, 101].

Екологічні фактори, руйнування інфраструктури внаслідок війни, зокрема водопостачання та каналізації, сприяють контамінації довкілля патогенними біологічними агентами. У 2024 році 80 % об'єктів теплової енергії України було знищено, що ускладнює доступ до опалення та гарячої води, підвищуючи ризик виникнення інфекційних хвороб[102].

Яскравими прикладами зв'язку міграційних процесів і епідемічних ускладнень є Європейська міграційна криза 2015-2016 рр., коли масовий наплив біженців із Сирії, Афганістану та Іраку спричинив виклики у медичній сфері. Зокрема, зросла кількість випадків кору і туберкульозу в ряді країн Європейського Союзу (ЄС)[103,104,105]. А пандемія COVID-19 яскраво продемонструвала, як швидке переміщення людей сприяє глобальному поширенню вірусу. Міграційні потоки, особливо неконтрольовані, ускладнювали контроль за епідемічною ситуацією[106]. Глобалізація та транскордонна міграція, зокрема через Польщу, Німеччину та Чехію, які прийняли найбільшу

[95] 'Global health estimates: Infectious diseases' [online] (World Health Organization (WHO), n.d.) <*https://www.who.int/data/global-health-estimates*> accessed 30 May 2025.
[96] 'Туберкульоз і міграція: глобальний контекст' [online] (Центр громадського здоров'я України, 01 Липень 2022) <*https://phc.org.ua/news/tuberkuloz-i-migraciya-globalniy-kontekst*> дата звернення 30 Травень 2025.
[97] 'Communicable diseases in Ukraine during the period of 2018–2023: Impact of the COVID-19 pandemic and war' [online] (European Commission, 2024) <*https://ec.europa.eu/health/*> accessed 30 May 2025.
[98] 'Crisis in Ukraine' [online] (International Organization for Migration (IOM), 2024) <*https://www.iom.int/ukraine*> accessed 30 May 2025.
[99] 'Global health estimates: Infectious diseases' (n 48)
[100] 'Vaccination is the only protection against polio: MoH, WHO, and UNICEF urge' [online] (UNICEF, WHO and Ministry of Health of Ukraine 24 October 2024). <*https://www.unicef.org/ukraine/stories/vaccination-only-protection-against-polio*> accessed 30 May 2025.
[101] Lopman B, 'Global Burden of Norovirus and Prospects for Vaccine Development' (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2024) <*https://www.cdc.gov/norovirus/downloads/global-burden-report.pdf*> accessed 30 May 2025.
[102] 'Crisis in Ukraine' (n 51)
[103] Eiset A, Wejse C, 'Review of infectious diseases in refugees and asylum seekers —current status and going forward' (2017) 38 Public Health Reviews 22 <*https://doi.org/10.1186/s40985-017-0065-4*> accessed 20 July 2016.
[104] Michael P, Kyriakidis N, Panagopoulos P, 'The Syrian refugees crisis brings challenges to the health authorities in Europe: hepatitis A virus is a case in point' (2017) 27(3) European Journal of Public Health 186–87 <*https://doi.org/10.1093/eurpub/ckx187.186*> accessed 30 May 2025.
[105] Pavli A, Maltezou H, 'Refugee crisis as a potential threat to public health' (2017) 24(6) Journal of Travel Medicine <*https://doi.org/10.1093/jtm/tax056*> accessed 30 May 2025.
[106] Shetty A. K, 'Infectious Diseases among Refugee Children' (2019) 6(12) Children (Basel, Switzerland) 129 <*https://doi.org/10.3390/children6120129*> accessed 01 November 2019.

кількість українських біженців (1,17 млн, 993 тис. і 395 тис. відповідно станом на січень 2025 року), сприяє швидкому поширенню кишкових інфекцій у туристичних і міграційних хабах[107]. Масовий відтік українців до країн ЄС, зокрема Польщі, Німеччини та Чехії, створив додаткове епідеміологічне навантаження. У березні 2022 року в Польщі, яка прийняла понад 2 мільйони біженців, спостерігалося уповільнення зниження кількості випадків COVID-19, частково через міграційні потоки. У Німеччині, де ймовірність контакту з інфікованою особою була нижчою, ніж у Польщі, приплив біженців сприяв короткостроковому зростанню нових випадків[108].

Воєнні конфлікти, економічна нерівність, кліматичні зміни та соціально-політична нестабільність змушують мільйони людей щороку змінювати місце проживання, що супроводжується масовими переміщеннями населення, дестабілізацією систем охорони здоров'я та підвищенням ризику виникнення інфекційних захворювань. Вимушене переміщення людей в межах України призвело до появи нових викликів у сфері громадського здоров'я. Хоча держава гарантує безкоштовну медичну допомогу ВПО, на практиці є проблеми: перенавантажені лікарні, нестача фахівців, проблеми з логістикою медикаментів, особливо в сільських районах[109].

Сучасні екосистемні зміни довкілля в Україні сприяють розширенню та зміні структури ареалів резервуарів і векторів збудників, виникненню і поширенню трансмісивних захворювань (ІКБ, ВКЕ і ГЗН), а також інших зоонозних інфекцій, зокрема сказу, лептоспірозу, туляремії, геморагічної гарячки з нирковим синдромом, сибірки[110,111,112,113,114]. Геополітична ситуація в державі вимагає розуміння спектру біологічних загроз як для цивільного населення, так і для специфічних контингентів системи реагування, які перебувають на територіях природної циркуляції збудників. Згідно зі звітом Global Vector Hub, ризик трансмісивних інфекцій в нашій державі оцінюється як низький до помірного, але залежить від екологічних умов, кліматичних чинників і умов проживання переміщених осіб та військових, регіональних і воєнних умов[115].

Руйнування критичної інфраструктури, зокрема каналізаційних і дренажних систем, призводить до утворення стоячих водойм, які є оптимальним середовищем для розмноження комарів. Воєнні дії, зокрема знищення дамб і спричинені затоплення, разом із підвищенням температур і змінами гідрологічного режиму, посилюють активність комарів, як векторів ГЗН[116].

Міжнародна підтримка, включаючи також і переміщення військових і гуманітарного персоналу з регіонів Європи чи Африки, які є ендемічними щодо ГЗН, малярії, гарячок Денге і Чикунгун'я, чим створює ризик транскордонного занесення цих інфекції. Дефіцит засобів

[107] Ibid.

[108] Hintermeier M, Gencer H, Bozorgmehr K, 'COVID-19 among migrants, refugees, and internally displaced persons: systematic review, meta-analysis and qualitative synthesis' (2024) 12(3) The Lancet Global Health 401–14 <*https://doi.org/10.1016/S2214-109X(23)00563-4*> accessed 30 May 2025.

[109] Виноград Н, 'Протиепідемічний захист населення і території у період активної фази російсько-української війни у 2022 році' (2023) 1 Превентивна медицина Теорія і практика 24–7.

[110] 'Crisis in Ukraine' [online] (International Organization for Migration (IOM), 2024) <*https://www.iom.int/ukraine*> accessed 30 May 2025.

[111] 'Ukraine refugee situation' [online] (United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), 2025) <*https://www.unhcr.org/ukraine-emergency.html*> accessed 30 May 2025.

[112] 'Vector-borne diseases' [online] (World Health Organization (WHO), 26 September 2024) <*https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases*> accessed 30 May 2025.

[113]Виноград Н, Шуль У, 'Прогнозування модифікації природних комариних осередків особливо небезпечних інфекцій в Україні під впливом кліматичних змін' (2021) 3 Інфекційні хвороби 4–12 <*https://doi.org/10.11603/1681-2727.2021.3.12444*> дата звернення 30 Травень 2025.

[114] Vynograd N, Grychtoł S, Kołodziej W, et al. 'Epizootic-epidemiological features of rabies in the eastern European region at the current stage' (2024) 73(1) Proceeding of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences 254 <*https://doi.org/10.25040/ntsh2024.01.18*> accessed 30 May 2025.

[115] 'Report looks at vector-borne disease risk in Ukraine' [online] (Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 17 March 2022) <*https://www.rstmh.org/news-blog/news/report-looks-at-vector-borne-disease-risk-in-ukraine*> accessed 30 May 2025.

[116] Виноград Н, Шуль У (н 66)

індивідуального захисту, таких як репеленти та москітні сітки, недостатня обізнаність населення щодо шляхів передачі та профілактики, а також обмежені можливості для ранньої діагностики додатково ускладнюють контроль над їхнім поширенням[117,118,119,120,121].

ОБГОВОРЕННЯ

Міграційні процеси в Україні, зумовлені війною, створюють нові виклики для громадського здоров'я. Масове переміщення населення, руйнування інфраструктури та обмежений доступ до медичних послуг сприяють поширенню інфекційних хвороб[122,123,124]. Рота-, норовірусна інфекції, туберкульоз і ГРВІ є особливо чутливими до міграційних факторів через їх високу контагіозність і залежність від соціальних умов[125,126]. Недостатній епідеміологічний нагляд, зокрема обмежена лабораторна діагностика, ускладнює контроль спалахів[127]. Із урахуванням того, особлива увага приділялася в епідемічні сезони ризику відслідковуванню циркуляції збудника холери, адже значна кількість ВПО була з ендемічних щодо цього захворювання територій[128,129]. У сезони епідемічного ризику захворювань групи кишкових ризик оцінювався як помірний, а інший період – як низький.

Додатковим чинником ризику епідемічних ускладнень є низький рівень вакцинації серед ВПО та біженців проти кору, кашлюку, епідемічного паротиту[130]. Серед ВПО ризик цих захворювань оцінено як помірний.

Трансмісивні та зоонозні інфекції є актуальними для України на сучасному етапі в розрізі усіх регіонів [131,132,133,134]. Встановлено зміни епідемічних ризиків сказу від низького у 2022 році до

---

[117] 'Crisis in Ukraine' [online] (International Organization for Migration (IOM), 2024) <*https://www.iom.int/ukraine*> accessed 30 May 2025.

[118] 'Ukraine refugee situation' [online] (United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), 2025) <*https://www.unhcr.org/ukraine-emergency.html*> accessed 30 May 2025.

[119] 'Vector-borne diseases' [online] (World Health Organization (WHO), 26 September 2024) <*https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases*> accessed 30 May 2025.

[120]Виноград Н, Шуль У, 'Прогнозування модифікації природних комариних осередків особливо небезпечних інфекцій в Україні під впливом кліматичних змін' (2021) 3 Інфекційні хвороби 4–12 <*https://doi.org/10.11603/1681-2727.2021.3.12444*> дата звернення 30 Травень 2025.

[121] Vynograd N, Grychtoł S, Kołodziej W, et al. 'Epizootic-epidemiological features of rabies in the eastern European region at the current stage' (2024) 73(1) Proceeding of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences 254 <*https://doi.org/10.25040/ntsh2024.01.18*> accessed 30 May 2025.

[122] 'Crisis in Ukraine' (n 70)

[123] 'Туберкульоз і міграція: глобальний контекст' [online] (Центр громадського здоров'я України, 01 Липень 2022) <*https://phc.org.ua/news/tuberkuloz-i-migraciya-globalniy-kontekst*> дата звернення 30 Травень 2025.

[124] Lopman B, 'Global Burden of Norovirus and Prospects for Vaccine Development' (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2024) <*https://www.cdc.gov/norovirus/downloads/global-burden-report.pdf*> accessed 30 May 2025.

[125] 'Global health estimates: Infectious diseases' [online] (World Health Organization (WHO), n.d.) <*https://www.who.int/data/global-health-estimates*> accessed 30 May 2025.

[126] Lopman B, 'Global Burden of Norovirus (n 77)

[127] [127] 'Туберкульоз і міграція: глобальний контекст' (76)

[128] Міністерство охорони здоров'я України, Наказ МОЗ України Про оптимізацію комплексу протиепідемічних заходів при виявленні захворювань, що викликані холерними та іншими патогенними вібріонами (185 2004) <*https://zakononline.com.ua/documents/show/98498___98498*> дата звернення 30 Травень 2025.

[129] 'Щорічний звіт про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2023 рік' [online] (Міністерство охорони здоров'я України, 2024) <*https://moz.gov.ua/storage/uploads/386da5b2-66ed-4e85-932c-d9828ba76a7a/%D0%A9%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82-%D0%B7%D0%B0-2023-%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf*> дата звернення 30 Травень 2025.

[130] Ibid.

[131] 'Crisis in Ukraine' [online] (International Organization for Migration (IOM), 2024) <*https://www.iom.int/ukraine*> accessed 30 May 2025.

[132]'Ukraine refugee situation' [online] (United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR), 2025) <*https://www.unhcr.org/ukraine-emergency.html*> accessed 30 May 2025.

[133] 'Vector-borne diseases' [online] (World Health Organization (WHO), 26 September 2024) <*https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases*> accessed 30 May 2025.

[134]Виноград Н, Шуль У, 'Прогнозування модифікації природних комариних осередків особливо небезпечних інфекцій в Україні під впливом кліматичних змін' (2021) 3 Інфекційні хвороби 4–12 <*https://doi.org/10.11603/1681-2727.2021.3.12444*> дата звернення 30 Травень 2025.

помірного у 2024 році. Для групи трансмісивних захворювань епідемічні ризики залишаються низькими впродовж усього періоду активної фази війни.

Міжнародна співпраця, зокрема з UNHCR та МОМ, є критично важливою для забезпечення медичної допомоги та профілактики в регіонах із високими міграційними потоками[135,136]. Консультативна і матеріальна підтримка є вагомим компонентом в реагуванні на епідемічні загрози, як це мало місце при епідемії вірусного гепатиту А у Вінниці у 2023 році[137,138,139,140].

ВИСНОВКИ

Міграційні процеси, спричинені війною в Україні, значно підвищують ризик епідемічних ускладнень через перенаселеність, погіршення санітарних умов і обмежений доступ до медичних послуг. Рота- і норовірусна інфекція, вірусний гепатит А, туберкульоз і ГРВІ, кір, кашлюк, ВІЛ/СНІД, ендемічні природно осередкові захворювання є ключовими загрозами, що посилюються в умовах внутрішньої та зовнішньої міграції. Епідемічні ризики для ендемічних захворювань коливаються від низького до помірного в залежності від сезонності розвитку епідемічного процесу. Епідемічний ризик сказу зріс до помірного внаслідок неблагополучної епізоотологічної ситуації.

Для мінімізації ризиків необхідні покращення лабораторної діагностики, доступність до медичних послуг і профілактична робота. Важливим є посилення міжнародної співпраці з UNHCR, МОМ і ВООЗ для обміну даними та координації гуманітарної допомоги.

---

[135] 'Crisis in Ukraine' (n 84)

[136] 'Global health estimates: Infectious diseases' [online] (World Health Organization (WHO), n.d.) <*https://www.who.int/data/global-health-estimates*> accessed 30 May 2025.

[137] 'Епідеміологічний нагляд за інфекційними хворобами в Україні' [online] (Центр громадського здоров'я України 2023) <*https://www.phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvan/infekciyniy-kontrol/epidnaglyad-za-ipnmd*> дата звернення 30 Травень 2025.

[138] 'Спалах вірусного гепатиту А на Вінниччині: 60 людей госпіталізовано' [online] (Міністерство охорони здоров'я України, 24 Жовтень 2024) <*https://moz.gov.ua/uk/spalah-virusnogo-gepatitu-a-na-vinnichchini-60-ljudej-gospitalizovano*> дата звернення 30 Травень 2025.

[139] 'Щорічний звіт про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2023 рік' [online] (Міністерство охорони здоров'я України, 2024) URL:
<*https://moz.gov.ua/storage/uploads/386da5b2-66ed-4e85-932c-d9828ba76a7a/%D0%A9%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B7%D0%B2%D1%96%D1%82-%D0%B7%D0%B0-2023-%D1%80%D1%96%D0%BA.pdf*> дата звернення 30 Травень 2025.

[140] 'Vector-borne diseases' (n 86)

ВИСОКОРИЗИКОВІ ЛІКАРСЬКІ ЗАСОБИ В СИСТЕМІ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

HIGH-RISK MEDICINES IN THE LIFE SAFETY SYSTEM

Марта Заяць, кандидат фармацевтичних наук, zayatsmarta@gmail.com, ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», ORCID: 0000-0002-6839-0207

Зоряна Заяць, кандидат медичних наук, доцент, zzoriana1508@gmail.com, Львівський медичний університет ORCID: 0000-0003-2224-2257

Ірина Корнійчук, кандидат медичних наук, ira.korniychuk11@gmail.com, Львівський університет безпеки життєдіяльності ORCID: 0000-0003-0438-1341

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.05

Анотація. Медикаментозна безпека є важливою складовою безпеки життєдіяльності, оскільки від правильності застосування лікарських засобів залежить не тільки ефективність терапії, а й здоров'я пацієнтів. Високоризикові ліки, зокрема антикоагулянти, антитромботичні засоби, анестетики та інші, є особливо небезпечними через ймовірність спричинення серйозних побічних ефектів, таких як кровотечі, зупинка дихання та інші небезпечні ускладнення, що можуть призвести до летальних випадків. У даному дослідженні розглядаються методи зменшення ризиків, пов'язаних з використанням таких ліків. Проаналізовано 15 переліків високоризикових лікарських засобів, що використовуються в різних країнах (США, Канада, Австралія). Виявлено, що існують певні відмінності в підходах до класифікації цих ліків, але всі вони включають препарати, що мають високий ризик при неправильному застосуванні. Розроблені алгоритми для мінімізації помилок при їх використанні, включаючи стандартизацію процесів, навчання медичних працівників і моніторинг пацієнтів.

Ключові слова: високоризикові ліки, медикаментозна безпека, безпека життєдіяльності, ризики при використанні лікарських засобів, антикоагулянти, антитромботичні засоби, анестетики, побічні ефекти, лікування в невідкладній допомозі.

Abstract. Medication safety is a critical component of life safety, as the proper use of pharmaceuticals directly impacts both the effectiveness of therapy and the health of patients. High-risk medications, such as anticoagulants, antithrombotic agents, anesthetics, and others, are particularly hazardous due to the potential for severe adverse effects, including bleeding, respiratory failure, and other dangerous complications that may lead to fatal outcomes. This study addresses methods for reducing risks associated with the use of such medications. A total of 15 lists of high-risk medications used in different countries (USA, Canada, Australia) were analyzed. The study revealed that there are certain differences in approaches to classifying these medications, but all lists include drugs that pose a high risk when misused. Algorithms to minimize errors in the use of these drugs have been developed, including process standardization, medical staff training, and patient monitoring.

Keywords: high-risk medications, medication safety, life safety, risks associated with pharmaceuticals, anticoagulants, antithrombotic agents, anesthetics, adverse effects, emergency care.

ВСТУП

Медикаментозна безпека є важливою складовою загальної безпеки життєдіяльності, оскільки від раціональності застосування лікарських засобів залежить здоров'я пацієнтів і ефективність фармакотерапії. Високоризикові лікарські засоби, такі як ліки для лікування серцево-судинних захворювань, антикоагулянти, імуносупресори, психотропні та інші складають окрему категорію ліків, що потребують особливої уваги та ретельного контролю.

Глобальний фармацевтичний ринок у 2023 році оцінювався в 1,38 трильйона доларів США, з прогнозами досягнення 1,92 трильйона доларів США до 2027 року[141]. Є тенденція до стійкого зростання, зокрема завдяки впровадженню інноваційних медичних технологій у таких галузях, як онкологія, імунологія, ендокринологія тощо. Станом на 2025 рік у Державному реєстрі ЛЗ зареєстровано майже 15000 ліків (готові ЛЗ та субстанції) та їх кількість постійно зростає протягом останніх років[142].

Безпека життєдіяльності в контексті медикаментозного використання включає не тільки оцінку ризиків для пацієнтів, але й їхню взаємодію з навколишнім середовищем. Всі ліки, навіть найпоширеніші, є ксенобіотиками, оскільки вони є чужими речовинами для організму, що можуть взаємодіяти з біологічними системами, іноді з непередбачуваними наслідками.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), побічні ефекти від високоризикових ліків є однією з головних причин госпіталізацій, ускладнень і навіть смертності серед пацієнтів. На сьогодні існує чимало досліджень, що стосуються побічних ефектів та механізмів ризиків, проте питання ефективного контролю та методів зменшення цих ризиків залишається відкритим.

Зараз у світі існує багато методів для оцінки та моніторингу медикаментозної безпеки, проте жоден з них не є універсальним. Система моніторингу побічних ефектів ще не повністю інтегрована у більшість медичних установ, немає єдиної бази для оцінки взаємодій між лікарськими засобами та індивідуальних ризиків для кожного пацієнта. Більш того, проблема навчання медичних працівників у цій галузі часто ігнорується, хоча вона є ключовою для забезпечення ефективного використання препаратів. Також важливою є проблема токсичного впливу ксенобіотиків на навколишнє середовище, що ускладнює управління медикаментозною безпекою на глобальному рівні.

Дослідження в цій галузі є критично важливим, оскільки використання високоризикових препаратів без належного контролю може призвести до серйозних наслідків, включаючи летальні випадки. За допомогою цього дослідження передбачається розробити більш ефективні стратегії для зниження ризиків, пов'язаних із застосуванням таких ліків. Це передбачає вивчення можливостей для інтеграції новітніх технологій, таких як електронні системи моніторингу та інструменти для передбачення ризиків, а також підвищення кваліфікації медичних працівників щодо медикаментозної безпеки та управління ксенобіотиками. Важливо також розглядати наслідки, що пов'язані із забрудненням навколишнього середовища цими хімічними сполуками.

Таким чином, дослідження спрямоване на вивчення сучасних підходів до управління ризиками високоризикових лікарських засобів та зменшення негативного впливу ксенобіотиків на навколишнє середовище. Зниження ризиків при використанні таких препаратів має значення для поліпшення загальної безпеки пацієнтів та підвищення якості медичного обслуговування, а також для захисту навколишнього середовища від токсичних забруднень. Рекомендації для подальших досліджень зосереджуються на вдосконаленні методів моніторингу, управлінні ризиками, а також на інтеграції сучасних технологій у клінічну практику.

МЕТОДОЛОГІЯ

Для цього дослідження у якості матеріалів були використані діючі переліки високоризикових лікарських засобів (n=15), що застосовуються в різних країнах вподовж останніх років. Окрім того, використовувалися закордонні інформаційні потоки *PubMed, ResearchGate, Google Scholar,* (n=135), що містять відомості про високоризикові лікарські засоби, а також підходи до їх менеджменту. Також були

[141] IQVIA Institute, 'The Global Use of Medicines 2024: Outlook to 2028', https://www.iqvia.com/insights/the-iqvia-institute/reports-and-publications/reports/the-global-use-of-medicines-2024-outlook-to-2028, (дата звернення: 20 травня 2025).
[142] Державний реєстр лікарських засобів України, 'Інформаційний фонд', http://www.drlz.com.ua, (дата звернення: 20 травня 2025).

використані матеріали з Державного реєстру лікарських засобів (ДРЛЗ). Методи дослідження включають: бібліографічний метод, що полягав у зборі та систематизації наукових публікацій та офіційних документів, які стосуються високоризикових препаратів; пошуковий метод, за допомогою якого були визначені найбільш значущі джерела інформації через наукові платформи та бази даних; інформаційний метод, що застосовувався для обробки та аналізу отриманих даних з наукових баз та клінічних протоколів; метод порівняльного аналізу, що дозволив зіставити різні підходи до класифікації високоризикових ліків в різних країнах, визначити їх спільні риси та відмінності та системний підхід, який дозволив інтегрувати дані з різних джерел для комплексного оцінювання медикаментозної безпеки та управління ризиками при використанні високоризикових лікарських засобів.

РЕЗУЛЬТАТИ

Згідно з проведеним аналізом публікацій 1997-2024 років, встановлено, що науковці здебільшого сходяться на загальному розумінні терміну «високоризикові ліки», проте існують певні відмінності в деталях його трактування:

1. Це препарати, які збільшують ймовірність значної шкоди для пацієнта при їх неправильному застосуванні[143]. Помилки можуть бути менш або більш поширеними, але наслідки для пацієнта в таких випадках значно більш небезпечні[144].

2. Це препарати, які мають підвищену ймовірність заподіяння серйозної шкоди або навіть смерті пацієнту в разі їх неправильного або помилкового використання[145].

3. Це препарати, що мають високий ризик заподіяння травм або шкоди пацієнту при їх неналежному застосуванні[146].

4. Це ліки, які характеризуються підвищеним ризиком завдання серйозної шкоди пацієнту при помилковому застосуванні. Вони мають вузький терапевтичний діапазон, тому навіть незначні помилки в дозуванні або випадкове введення можуть призвести до тяжких наслідків[147].

Результати аналізу сучасної закордонної літератури щодо визначень, пов'язаних з високоризиковими лікарськими засобами, показують, що наразі у світі немає єдиного трактування цього терміну. Загалом, високоризикові ліки вважаються значною небезпекою для пацієнтів, оскільки вони можуть спричиняти серйозні побічні реакції, включаючи летальні випадки. Критерії віднесення препаратів до цієї категорії варіюються: деякі джерела враховують частоту помилок, інші – тяжкість потенційних наслідків. У більшості визначень наголошується, що ризики серйозної шкоди пацієнту при використанні високоризикових ліків виникають переважно через їх неправильне або помилкове застосування.

У 2017 році Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) ініціювала глобальну програму *«Medication Without Harm»,* яка містить рекомендації щодо безпечного використання лікарських засобів, зокрема високоризикових. Метою цієї ініціативи є зменшення серйозної шкоди, пов'язаної з прийомом ліків на 50% у світі впродо наступних п’яти років[148].

---

[143] World Health Organization, 'Medication without harm: policy brief', Geneva: World Health Organization, 2023, https://www.who.int/publications/i/item/9789240062764.

[144]Institute for Safe Medication Practices (ISMP), 'ISMP List of High-Alert Medications in Acute Care Settings', 2024, https://www.ismp.org/system/files/resources/202401/ISMP_HighAlert_AcuteCare_List_010924_MS5760.pdf.

[145] Cohen M.R., Smetzer J.L., Tuohy N.R., and Kilo C.M., 'High-alert medications: safeguarding against errors', in: *Medication errors,* 2nd ed., Washington (DC): American Pharmaceutical Association, 2007, pp. 317-411.

[146] New South Wales Government Clinical Excellence Commission, 'High-risk medications', https://www.cec.health.nsw.gov.au/keep-patients-safe/medication-safety/high-risk-medicines, (дата звернення: 29 травня 2024).

[147] Golembiewski J., and Wheeler P.J., 'High-alert medications in the perioperative setting', J Perianesth Nurs., 2007, vol. 22(6), pp. 435-437, https://doi.org/10.1016/j.jopan.2007.09.002.

[148] World Health Organization, 'Global patient safety challenge: medication without harm', Geneva: World Health Organization, 2017, https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/255263/WHO-HIS-SDS-2017.6-eng.pdf?sequence=1.

Однією з провідних організацій, що займаються забезпеченням безпеки лікарських засобів, є *ISMP (Institute for Safe Medication Practices)* в США. У 2000-х роках ISMP вперше опублікувала перелік *«High-alert medications»,* який включає лікарські засоби, що потребують особливих заходів безпеки при їх використанні.

Згідно з результатами аналізу літератури, *ISMP* визначила кілька основних лікарських засобів, які належать до високоризикових. 47% усіх серйозних побічних ефектів були спричинені 7 групами лікарських засобів, серед яких метотрексат, варфарин, нестероїдні протизапальні засоби (НПЗЗ), дигоксин, опіоїди, ацетилсаліцилова кислота та бета-блокатори. 82% серйозних побічних ефектів були результатом застосування 30 лікарських засобів або груп, а 73% летальних випадків стали результатом використання 10 основних лікарських засобів.

Ці дані стали основою для подальшого вивчення підходів до раціонального використання високоризикових препаратів. Переліки високоризикових ліків регулярно оновлюються ISMP з урахуванням нових даних про безпеку та клінічних випадків. Останнє оновлення переліку відбулося в 2024 році[149].

Лікарські засоби, що потрапляють до категорії високоризикових, становлять вищий ризик заподіяння шкоди пацієнту, якщо їх застосовувати неправильно. Це стосується також препаратів, які використовуються в невідкладній допомозі, де навіть незначна помилка в дозуванні чи введенні може призвести до серйозних наслідків, включаючи летальні випадки. Наприклад, препарати, такі як адреналін, опіоїди, антикоагулянти, використовуються у критичних ситуаціях і вимагають підвищеної обережності.

Нами проаналізовано 15 діючих переліків високоризикових лікарських засобів, та відібрано 3, які використовуються в закладах невідкладної допомоги у організаціях ISMP (США), *ISMP Canada* та *APINCHS* (Австралія). Згідно з отриманими даними, кількість лікарських засобів і груп ліків, що підлягають класифікації як високоризикові, варіюється залежно від переліку. А саме:

—*ISMP* (США) визначає 52 лікарських засоби та 19 груп ліків, що відносяться до високоризикових;

—*ISMP Canada* – 65 лікарських засобів і 24 групи ліків високого ризику.

—*APINCHS* пропонує перелік з 30 лікарських засобів та 24 груп ліків (рис. 1).

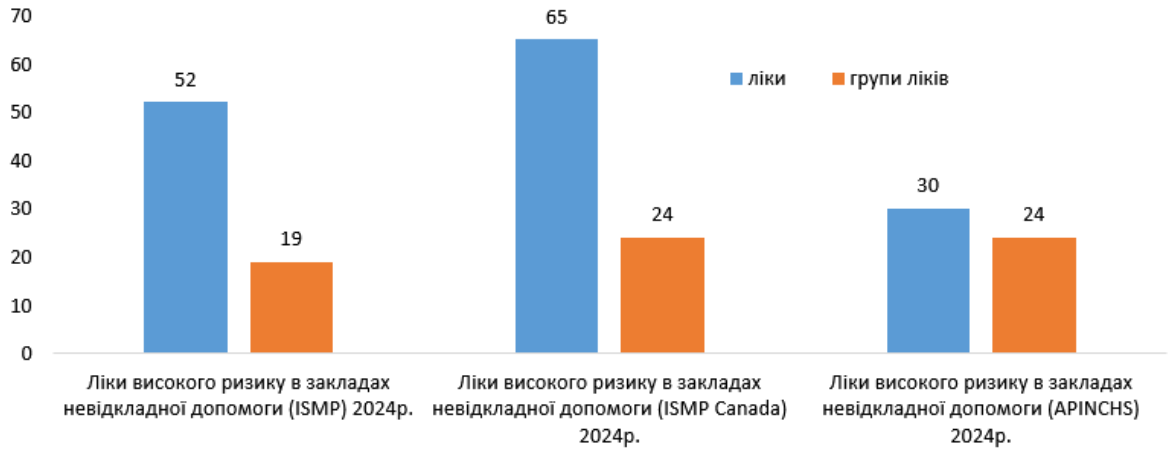


Рисунок 1. Результати власного дослідження порівняння переліків високоризикових ліків для невідкладної допомоги.

[149] Makris U.E., Pugh M.J., Alvarez C.A., et al., 'Exposure to High-Risk Medications is Associated With Worse Outcomes in Older Veterans With Chronic Pain', Am J Med Sci., 2015, vol. 350(4), pp. 279-285, https://doi.org/10.1097/MAJ.0000000000000552.

Це порівняння показує, що різні організації та країни мають різні підходи до класифікації високоризикових ліків, що може бути зумовлено різними національними стандартами безпеки та клінічними практиками. Така варіативність підкреслює необхідність уніфікації підходів до управління високоризиковими препаратами для забезпечення максимального рівня безпеки пацієнтів, особливо в екстрених ситуаціях.

У більшості алгоритмів формування власного переліку входить етап «сканування закордонних діючих переліків» (рис. 1.)

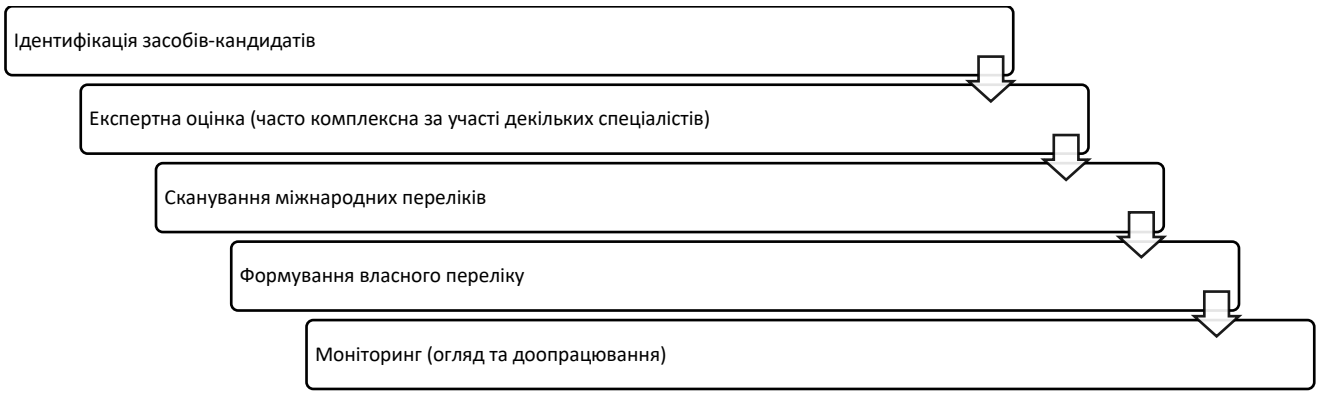


Рисунок 2. Класичні етапи відбору високоризикових ліків

Тому нами опрацьовано 214 ЛЗ та групи ліків і сформовано перелік засобів, що входять у всі три переліки високоризикових ліків для невідкладної допомоги (табл. 2)

Таблиця 2

Високоризикові ліки для невідкладної допомоги в Європі, Канаді та Австралії

Лікарський засіб / Група	АТС код	*ISMP*	*ISMP Canada*	*APINCHS*
1. Антитромботичні засоби	B01	+	+	+
2. Антикоагулянти	B01A	+	+	+
3. Прямі інгібітори тромбіну	B01AE	+	+	+
4. Антинеопластичні засоби	L01	+	+	+
5. Міорелаксанти	M03	+	+	+
6. Варфарин	B01AA03	+	+	+
7. Пропофол	N01AX10	+	+	+
8. Кетамін	N01AX03	+	+	+
9. Ривароксабан	B01AF01	+	+	+
10. Дабігатран	B01AE07	+	+	+
11. Альтеплаза	B01AD02	+	+	+
12. Інсулін	A10AB01	+	+	+
13. Магнію сульфат	B05XA05	+	+	+

Усі ці лікарські засоби та фармакотерапевтичні групи (n=13) увійшли до всіх переліків високоризикових ліків для невідкладної допомоги у Європі, Канаді та Австралії, оскільки вони мають підвищену ймовірність спричинення серйозних побічних ефектів або навіть летальних випадків при неправильному застосуванні чи помилці. Зокрема, такі препарати, як варфарин, ривароксабан, пропофол і кетамін, використовуються в умовах невідкладної допомоги, де помилки в дозуванні чи введенні можуть призвести до критичних наслідків.

Наявність підвищеного ризику при використанні цих препаратів для життя людини обумовлена різними факторами, включаючи:

— вузький терапевтичний діапазон — деякі лікарські засоби мають маленьку різницю між мінімальною ефективною та максимальною безпечною дозою, що може призвести до передозування або недостатньої терапевтичної відповіді.

— взаємодії з іншими лікарськими засобами — високоризикові ліки можуть вступати в небезпечні взаємодії з іншими препаратами, що підвищує ймовірність побічних ефектів.

— токсичність та побічні ефекти — ці препарати можуть спричиняти тяжкі токсичні реакції, які потребують негайного втручання, особливо в умовах невідкладної допомоги.

— невідкладні стани — ліки, що використовуються для лікування критичних станів, таких як інфаркти, інсульти, аритмії, можуть викликати серйозні ускладнення в разі неправильного дозування або помилок при введенні.

Для визначення конкретних ризиків для людини при застосування вищенаведених ліків, нами опрацьовані дані доказової медицини у ресурсах *Medscape, UpToDate Pubmed* та софрмовано табл.3 з описом потенційних наслідків для здоров'я та життя людини.

Таблиця 3

Ризики, що загрожують життю людини при неправильному застосування високоризикових ліків

Лікарський засіб / Група	**Ризик**	**Потенційна загроза для життя**
Антитромботичні засоби (B01)	Кровотечі, тромбоцитопенія, внутрішньочерепні кровотечі	Інсульт, смерть
Антикоагулянти (B01A)	Кровотечі, гематоми, передозування	Внутрішні кровотечі, смерть, інсульт
Прямі інгібітори тромбіну (B01AE)	Кровотечі, порушення згортання крові	Геморагічний шок, смерть
Антинеопластичні засоби (L01)	Токсичність, інфекції, нейтропенія, анемія	Інфекції, кровотечі, смерть
Міорелаксанти (M03)	Депресія ЦНС, дихальні порушення	Респіраторна недостатність, смерть
Варфарин (B01AA03)	Кровотечі, інтоксикація, передозування	Тромбоцитопенія, гематоми, смерть
Пропофол (N01AX10)	Зупинка дихання, зниження тиску, алергічні реакції	Дихальна недостатність, кома, смерть
Кетамін (N01AX03)	Дисоціативний стан, аритмії, гіпертензія	Судоми, кома, смерть
Ривароксабан (B01AF01)	Кровотечі, геморагічні ускладнення	Геморагічний шок, смерть
Дабігатран (B01AE07)	Кровотечі, порушення функції печінки	Мозкові кровотечі, смерть
Альтеплаза (B01AD02)	Кровотечі, інсульт, тромбоцитопенія	Тромбоцитопенія, смерть
Інсулін (A10AB01)	Гіпоглікемія, алергічні реакції, передозування	Судоми, кома, смерть
Магнію сульфат (B05XA05)	Гіпотензія, аритмії, токсичність	Респіраторна недостатність, кома, смерть

Антитромботичні засоби (B01) і антикоагулянти (B01A) є основними препаратами для профілактики утворення тромбів. Їх неправильне дозування або помилки в застосуванні можуть призвести до серйозних кровотеч, які загрожують життю пацієнта.

Прямі інгібітори тромбіну (B01AE) також можуть викликати небезпечні кровотечі, а їх застосування вимагає ретельного моніторингу.

Антинеопластичні засоби (L01), такі як препарати для хіміотерапії, мають високу токсичність і можуть спричиняти нейтропенію, що підвищує ризик інфекцій. Ці препарати також можуть спричиняти анемію.

Міорелаксанти (M03) використовуються для розслаблення м'язів, проте вони можуть спричиняти порушення дихання, що є критичним для пацієнта, особливо при анестезії.

Варфарин (B01AA03) є антикоагулянтом, що використовують для запобігання тромбозу. Передозування варфарином може призвести до внутрішніх кровотеч.

Пропофол (N01AX10) і кетамін (N01AX03) є анестетиками, що можуть викликати зупинку дихання або серцеві аритмії при неправильному введенні.

Ривароксабан (B01AF01) і дабігатран (B01AE07) є сучасними антикоагулянтами, які мають вищий ризик кровотеч, особливо при одночасному застосуванні з іншими ліками або при неправильному дозуванні.

Альтеплаза (B01AD02) — тромболітичний препарат, який застосовується при інсульті або тромбоемболії. Його помилкове застосування може призвести до тромбоцитопенії і кровотеч.

Інсулін (A10AB01) має великий ризик гіпоглікемії при передозуванні або неправильному застосуванні, що може призвести до судом, коми або смерті.

Магнію сульфат (B05XA05) застосовують при лікуванні гіпомагніємії та при судомах, але його надмірне використання може спричинити респіраторну недостатність або аритмії.

Ці лікарські засоби мають високий рівень небезпеки через ризик серйозних побічних ефектів при помилковому застосуванні, тому для мінімізації помилок варто використовувати стандартизовані алгоритми, приклад якого змодельовано у таблиці 4.

Таблиця 4

Стандартизований алгоритм з мінімізації помилок при застосуванні високоризикових лікарських засобів

Крок	Опис	Інструменти / Засоби
1. Стандартизація процесів	Використання єдиних стандартів для всіх етапів — від призначення до введення лікарського засобу. Створення єдиних протоколів та правил для роботи з ліками.	Стандартизовані електронні лікарські картки, чіткі протоколи призначення, стандартизовані маркування ліків (Tall man lettering).
2. Навчання медичного персоналу	Проведення регулярних тренінгів для медичних працівників щодо безпеки застосування високоризикових препаратів.	Навчальні курси, тренінги, інструкції, онлайн-курси, симуляції екстрених ситуацій.
3. Моніторинг пацієнтів	Постійне спостереження за пацієнтами, застосування систем для моніторингу стану здоров’я та побічних ефектів лікарських засобів.	Медичні монітори, електронні системи для відстеження доз, контроль рівня глюкози, функцій печінки та нирок, тести на згортання крові.
4. Виявлення і корекція помилок	Вчасне виявлення потенційних помилок та корекція доз або методів введення лікарських засобів.	Інтерфейси для перевірки доз, автоматичне попередження про можливі помилки, подвійна перевірка дози лікарем та фармацевтом, системи зворотного зв'язку для медперсоналу.
5. Надзвичайні ситуації	Забезпечення готовності до непередбачених ситуацій, таких як передозування або алергічні реакції, шляхом розробки чітких протоколів для кожної ситуації.	Наявність антидотів, протоколів для лікування передозування, аварійні препарати, навчання медиків, резервні засоби для реанімації, підготовлені інструменти для екстрених випадків.

Наведемо опис алгоритму на прикладі конкретних високоризикових ліків.

1. Стандартизація процесів.

Усе починається з єдиних стандартів для призначення ліків та їх використання. Сюди входить створення протоколів національного або міжнародного рівня для кожного виду лікарських засобів, що включають правила дозування, вибір препарату та маршрути застосування. Протоколи повинні бути чітко визначені і підтримуватися в електронних системах, що дозволяють автоматично перевіряти правильність доз та належність до індикованих препаратів.

Приклад: При використанні варфарину для профілактики тромбозу, стандартизовані протоколи вимагатимуть від лікаря надання чітких вказівок щодо дозування залежно від

рівня МНО (міжнародного нормалізованого співвідношення). Всі лікарі мають слідувати єдиним стандартам дозування.

2. Навчання медичного персоналу.

Регулярне навчання персоналу щодо безпечного застосування високоризикових ліків є критичним для зменшення медичних помилок. Медичні працівники повинні знати не тільки про терапевтичні властивості ліків, а й про потенційні ризики та способи їх мінімізації. Тренінги включають симуляції реальних клінічних випадків, на яких розігруються ситуації, пов'язані з помилками в дозуванні та введенні ліків.

Приклад: для лікарів, які працюють з опіоїдами (наприклад, фентаніл), повинні бути проведені навчання щодо коректного дозування та способів визначення ризику передозування, а також реакцій на передозування.

3. Моніторинг пацієнтів.

Безперервний моніторинг є важливою частиною забезпечення безпеки пацієнтів. Особливо при використанні високоризикових ліків необхідно проводити регулярні перевірки таких показників, як рівень глюкози, функції нирок, рівень МНО для пацієнтів на антикоагулянтах. Використовувати електронні системи моніторингу, які автоматично фіксують відхилення від нормальних показників і попереджають медичний персонал про можливі ускладнення.

Приклад: При використанні інсуліну важливо регулярно перевіряти рівень глюкози в крові, оскільки помилки в дозуванні можуть призвести до гіпоглікемії, що небезпечно для пацієнта.

4. Виявлення і корекція помилок.

Для запобігання помилок важливо застосовувати подвійну перевірку ліків на всіх етапах: від призначення до введення. Це особливо важливо для препаратів з вузьким терапевтичним діапазоном, таких як метотрексат або варфарин. Автоматизовані системи можуть допомогти виявляти помилки в дозуванні або виборі лікарського засобу ще на етапі призначення.

Приклад: При введенні кетаміну, система повинна перевіряти дозу та відповідність пацієнту, щоб уникнути передозування і запобігти дихальній недостатності.

5. Надзвичайні ситуації.

Для кожного високоризикового препарату має бути розроблений чіткий план дій на випадок помилки або надзвичайної ситуації. Це включає наявність антидотів або засобів, що нейтралізують побічні ефекти, а також конкретні протоколи для лікарів. Всі медичні працівники повинні бути навчені швидко реагувати в екстрених ситуаціях і знати, які дії необхідно виконати в першу чергу.

Приклад: при передозуванні варфарином слід негайно застосувати вітамін К для корекції рівня МНО і запобігання кровотечам.

Таким чином, забезпечення безпеки при застосуванні таких лікарських засобів безпосередньо пов'язане з безпекою життєдіяльності людини, адже їхнє неправильне застосування може значно загрожувати життю пацієнта. Це підкреслює необхідність ефективного моніторингу, навчання медичних працівників та впровадження сучасних технологій для зниження ризиків при використанні високоризикових препаратів.

ВИСНОВКИ

Застосування високоризикових лікарських засобів є критичним компонентом фармакотерапії, особливо в умовах невідкладної допомоги, де кожна помилка в дозуванні або неправильне введення препарату може мати серйозні наслідки для здоров'я пацієнта. Як показали дослідження, лікарські засоби, такі як антикоагулянти, антитромботичні засоби, анестетики та інші, здатні викликати

серйозні побічні ефекти, які включають кровотечі, інсульти, серцеві порушення, респіраторну недостатність та навіть летальні випадки.

Високоризикові препарати мають вузький терапевтичний діапазон, що створює умови для передозування або недостатньої терапевтичної відповіді. Кожна помилка у їх використанні може призвести до серйозних ускладнень. Наприклад, варфарин або ривароксабан можуть призвести до кровотеч, а кетамін та пропофол – до зупинки дихання. Такі наслідки ставлять під загрозу не лише здоров'я, але й життя пацієнтів.

Для забезпечення безпеки застосування високоризикових ліків необхідно впровадити стандартизацію процесів через створення чітких протоколів призначення, введення та моніторингу дозувань лікарських засобів, а також стандартизоване маркування препаратів. Важливим кроком є навчання медичного персоналу, що повинно охоплювати усі аспекти безпечного використання ліків – від призначення до виявлення можливих побічних ефектів та помилок.

Постійний моніторинг пацієнтів з використанням сучасних електронних систем дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормальних показників і вжити необхідних заходів. Така практика є важливою частиною контролю за використанням високоризикових препаратів і здатна знизити кількість помилок, пов'язаних із дозуванням та введенням ліків.

Кожен високоризиковий лікарський засіб повинен супроводжуватися протоколами для надання допомоги при передозуванні або виникненні інших серйозних ускладнень. Це можливо виконати через забезпечення антидотами та швидку доступність засобів для реанімації. Медичні працівники повинні бути готові діяти відповідно до стандартних процедур, що визначаються для кожної конкретної ситуації.

Проблема впливу ксенобіотиків на навколишнє середовище є важливою складовою безпеки життєдіяльності. Лікарські засоби можуть потрапляти в навколишнє середовище через неправильне утилізування, забруднення водних ресурсів та вплив на екосистеми. Тому необхідно розробити стратегії з мінімізації екологічних ризиків, пов'язаних з високоризиковими препаратами.

Безпека життєдіяльності, зокрема в контексті медикаментозної безпеки, тісно пов'язана з управлінням ризиками, що виникають при застосуванні лікарських засобів. Високоризикові препарати мають безпосередній вплив на здоров’я пацієнта, і навіть незначні помилки можуть призвести до серйозних наслідків для життя. Використання сучасних технологій моніторингу та стандартизованих протоколів дозволяє значно зменшити ймовірність помилок і покращити безпеку пацієнтів.

Управління цими ризиками повинно бути невід'ємною частиною системи безпеки життєдіяльності, оскільки кожен неправильний крок може призвести до втрати здоров'я або навіть життя пацієнта. Тому важливо, щоб на всіх етапах – від призначення ліків до їхнього введення – забезпечувалася максимальна безпека через впровадження сучасних методів моніторингу, навчання медичних працівників і відповідальне ставлення до кожного лікарського засобу, особливо високоризикового.

АНАЛІЗ ВИКОНАННЯ ОБСЯГІВ ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЩЕПЛЕНЬ НА ПІДСТАВІ АНАЛІТИЧНИХ ТАБЛИЦЬ ЕЛЕКТРОННО-СТАТИСТИЧНОЇ ФОРМИ «УКРВАК-08» ЗА 2024 РІК

ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF PREVENTIVE VACCINATIONS BASED ON ANALYTICAL TABLES OF THE ELECTRONIC STATISTICAL FORM 'UKRVAK-08' FOR 2024

Наталія Іванченко, генеральний директор ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України",

ORCID**:** https://orcid.org/0000-0002-0112-6962

Марія Озірковська, заступник генерального директора з епідеміологічного нагляду (спостереження) та профілактики інфекційних хвороб ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", e-mail: maria.ozirkovska@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5648-880X.

Мар'яна Дуденко, завідувачка відділу імунопрофілактики ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", ORCID https://orcid.org/0009-0000-1007-807X.

Ольга Гресь, ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", ORCID:

https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-1495-5134.

Вікторія Сергієнко, доктор медичних наук, професор, проректор з наукової роботи, Державне некомерційне підприємство "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького" , e-mail: serhiyenkov@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6414-0956**.**

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.06

Анотація. У статті проведено аналіз стану виконання профілактичних щеплень у Львівській області за 2024 рік на основі електронної статистичної форми «Укрвак-08». Заплановано охопити 515 тис. осіб, однак фактично щеплено лише 464,5 тис. (90%). Найвищі рівні імунізації зафіксовано щодо гепатиту В (99,5% однією дозою) та гемофільної інфекції (97,2%), найнижчі – проти поліомієліту (64,7%) та дифтерії, правця і кашлюку (66%). Порівняно з 2023 роком, спостерігається як позитивна, так і негативна динаміка: зростання охоплення вакцинацією серед дорослих, а також немовлят проти гемофільної інфекції, поліомієліту й кашлюку; водночас зменшення охоплення серед дітей 6 і 16 років. У низці громад (Турківська, Івано-Франківська, Шегинівська) рівень охоплення щепленнями не перевищує 40%. Основними чинниками відставання є нерівномірне постачання вакцин, низька реєстрація протипоказань та недостатня організація роботи пологових стаціонарів. Загальний рівень охоплення щепленнями у Львівській області є нижчим за середньодержавні показники, що створює ризики поширення вакцинокерованих інфекцій.

Ключові слова: профілактичні щеплення, рівень охоплення, вакцинація дітей, вакцинокеровані інфекції, електронна звітність, Львівська область, імунопрофілактика, аналіз динаміки вакцинації, нерівномірне постачання вакцин.

Abstract. The article presents an analysis of the implementation of preventive vaccinations in Lviv region in 2024 based on the electronic statistical form "Ukrvak-08". Of the planned 515,000 people, only 464,500 (90%) received vaccinations. The highest immunization coverage was recorded for hepatitis B (99.5% with the first dose) and Haemophilus influenzae type b (97.2%), while the lowest rates were

observed for poliomyelitis (64.7%) and diphtheria, tetanus, and pertussis (66%). Compared to 2023, both positive and negative dynamics were noted: increased vaccination coverage among adults and infants for Hib, poliomyelitis, and pertussis; however, reduced coverage among children aged 6 and 16 years. In several communities (Turkivska, Ivano-Frankivska, Shehynivska), vaccination coverage remained below 40%. Key challenges include irregular vaccine supply, underreporting of contraindications, and insufficient organization of maternity ward immunization services. Overall, vaccination rates in the Lviv region remain below national averages, posing a threat of outbreaks of vaccine-preventable diseases.

Keywords: preventive vaccination, coverage level, childhood immunization, vaccine-preventable diseases, electronic reporting, Lviv region, immunoprophylaxis, vaccination dynamics analysis, uneven vaccine supply.

Фахівцями відділу імунопрофілактики ДУ “Львівський ОЦКПХ МОЗ” проведено аналіз виконання профілактичних щеплень у розрізі територіальних громад за 12 місяців 2024 року.

Для досягнення необхідного рівня захисту населення від вакцинокерованих інфекцій, щомісячно охоплення профілактичними щепленнями має збільшуватись на 8%. Таким чином, станом на 31.12.2024 року цільовим показником є охоплення щепленнями 96% населення. У Львівській області, враховуючи проведення корекції обсягів на 2024 рік, заплановано проведення щеплень за Календарем 515026 мешканцям. Тобто, цільовим показником станом на 01.12.2024 року є проведення 494425 щеплення, проте фактично станом на кінець грудня 2024 року здійснено 464499 щеплення, тобто, вакцинацією за Календарем охоплено 90% населення.

Станом на 31 грудня 2024 року рівні охоплення профілактичними щепленнями за Календарем у Львівській області наступні:

- проти туберкульозу дітей до року – 91,6%;
- проти поліомієліту серед дітей віком до 1 року – 75%, 18 місяців – 74,9%, 6 років – 57,6% та 14 років – 51,3%;
- проти дифтерії, кашлюку та правця серед дітей віком до 1 року – 80,6%, 18 місяців – 73,1%, 6 років – 56,4%, 16 років – 55,6% та серед дорослого населення – 64,4%;
- проти кору, епідемічного паротиту та краснухи серед дітей віком 1 рік – 92,3%, другою дозою серед дітей віком 6 років – 65,8%;
- проти гепатиту В діти до року однією дозою серед дітей віком до 1 року – 99,5%, трьома дозами – 73,2%;
- проти гемофільної інфекції серед дітей віком до 1 року – 97,2%, 1 рік – 95,2%.

У відповідних вікових категоріях імунізовано 96% населення проти гепатиту В однією дозою, проти гемофільної інфекції двома дозами щеплення (рисунок 1).

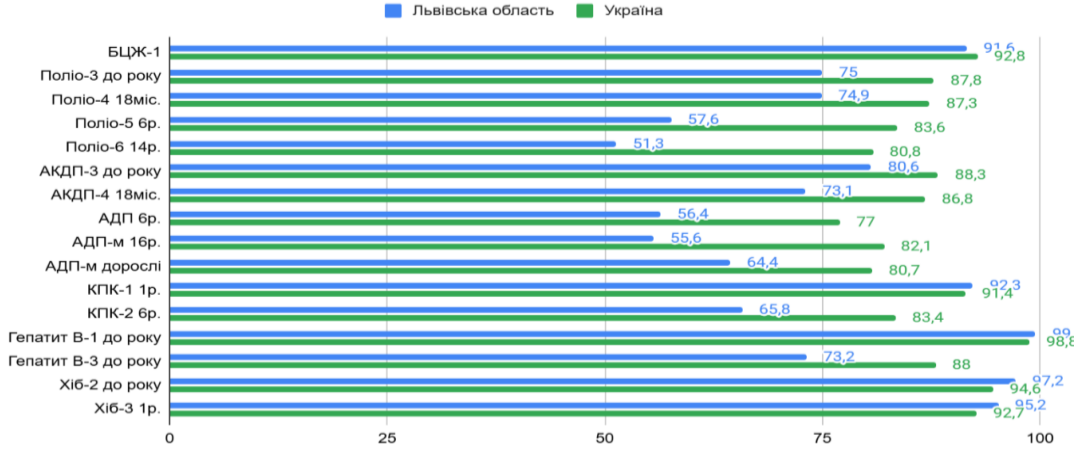


Рисунок 1. Стан імунізації за Календарем за 2024 рік у Львівській області в середньому по Україні

Стан імунізації за національним Календарем за 2024 рік у Львівській області, порівняно з середньодержавними показниками, є нижчим, зокрема:

- проти туберкульозу серед дітей до року – на 1,2%;
- проти поліомієліту серед дітей віком до 1 року – на 12,8%, 18 місяців – на 12,4%, 6 років – на 26% та 14 років – на 29,5%;
- проти дифтерії, кашлюку та правця серед дітей віком до 1 року – на 7,7%, 18 місяців – на 13,7%, 6 років – на 20,6%, 16 років – на 26,5% та серед дорослого населення – на 16,3%;
- проти кору, епідемічного паротиту та краснухи серед дітей віком 6 років – на 17,6%;
- проти гепатиту В трьома дозами серед дітей віком до 1 року – на 14,8%.

Вищими за середньодержавні показники є стан імунізації проти гемофільної інфекції (на 2,5%).

Різниця, що становить ≤1%, спостерігається при охопленні першою дозою щеплення проти кору, епідемічного паротиту та краснухи серед дітей віком 1 рік та проти гепатиту В серед немовлят (рисунок 2).

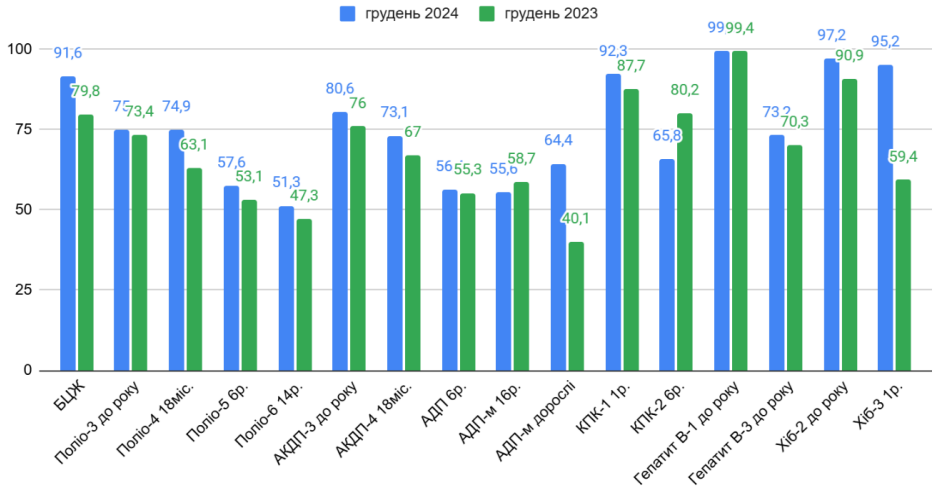


Рисунок 2. Охоплення профілактичними щепленнями за Календарем у Львівській області за 2024 та 2023 роки

При оцінці динаміки виконання обсягів імунізації у Львівській області за 2024 рік у порівнянні з 2023 роком спостерігається зниження рівнів вакцинації, зокрема:

- проти дифтерії та правця серед дітей віком 16 років (-3,1%);
- проти кору, епідемічного паротиту та краснухи серед дітей віком 6 років (-14,4%).

Підвищення рівня охоплення щепленнями спостерігається:

- проти туберкульозу серед дітей віком до 1 року (+11,8%);
- проти гемофільної інфекції серед дітей віком до 1 року (+6,3%) та 1 рік (+35,8%);
- проти поліомієліту серед дітей віком до 1 року (+1,6%), 18 місяців (+11,8%), 6 років (+4,5%), 14 років (+4%);
- проти кашлюку, дифтерії та правця серед дітей віком до 1 року (+4,6%), 18 місяців (+6,1%), 6 років (+1,1%) та серед дорослих (+24,3%);
- проти кору, епідемічного паротиту та краснухи серед дітей віком 1 рік (+4,6%);
- проти гепатиту В серед дітей віком до 1 року трьома дозами щеплення (+2,9%).

Позитивна динаміка охоплення дітей усіх вікових груп щепленнями проти поліомієліту пов'язана з більш регулярним постачанням оральної вакцини для профілактики поліомієліту, що забезпечило ефективне проведення заходів з імунопрофілактики. Покращення охоплення

щепленнями проти дифтерії та правця у більшості вікових груп, особливо серед дорослого населення, пов'язане з активним проведенням протягом другої половини 2024 року додаткових заходів з імунізації проти цих інфекцій, а також змінами нормативно-правової документації щодо профілактичних та періодичних медичних оглядів (рисунок 3).

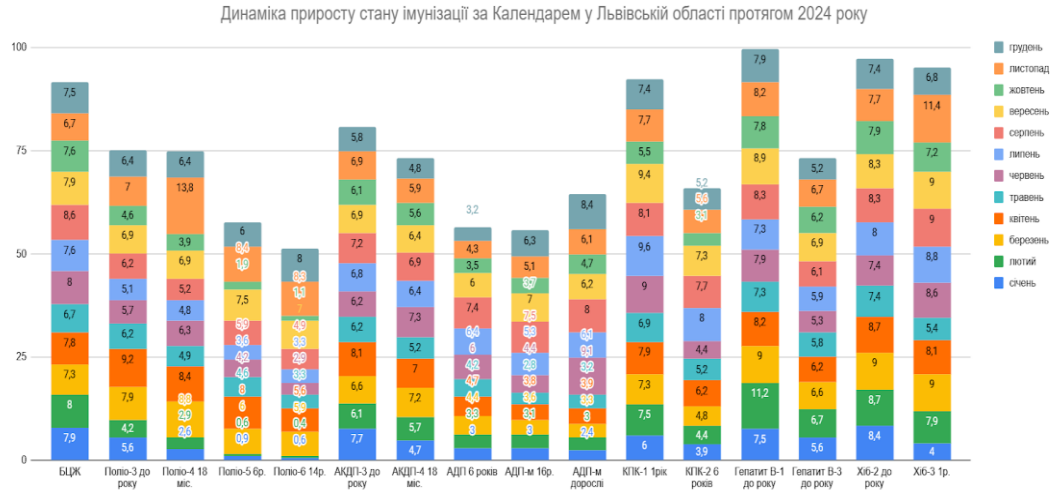


Рисунок 3. Динаміка приросту стану імунізації за Календарем у Львівській області протягом 2024 року

При оцінці динаміки виконання обсягів профілактичних щеплень за Календарем у грудні 2024 року, порівняно з попереднім місяцем, виявлено, що абсолютний приріст склав 9%. Найвищий приріст зафіксовано у рівнях охоплення щепленнями проти дифтерії та правця серед дорослих (+8,4%), проти поліомієліту серед дітей віком 14 років (+8%), першою дозою щеплення проти гепатиту В серед немовлят (+7,9%). Найнижчий приріст спостерігався у рівнях імунізації проти дифтерії та правця серед дітей віком 6 років (+3,2%), 18 місяців (+4,8%), проти кору, епідемічного паротиту та краснухи серед дітей віком 6 років, трьома дозами щеплення проти гепатиту В серед немовлят (+5,2%).

Постачання вакцин, які використовуються для імунізації дітей однакових вікових груп та забезпечення ними надавачів медичних послуг Львівської області часто є нерівномірним, що створює перешкоди для успішної імунізації населення та призводить до невідповідності між охопленням щепленнями проти різних антигенів в одній віковій категорії.

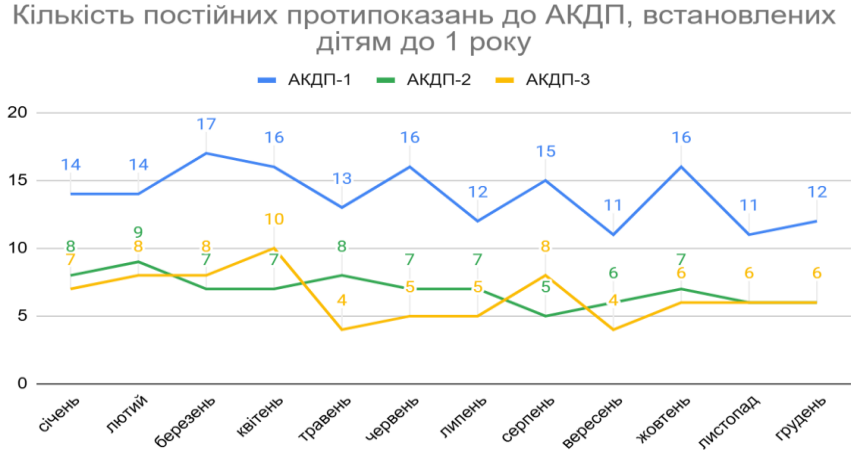


Рисунок 4. Кількість постійних протипоказань до АКДП, встановлених дітям до 1 року

Порівнюючи кількість дітей віком до 1 року, яким було встановлено постійні протипоказання до проведення щеплень проти кашлюку, дифтерії та правця, вказує на невідповідність між кількістю встановлених протипоказань до проведення щеплень АКДП-1, АКДП-2 та АКДП-3, враховуючи інтервали між щепленнями, зокрема, тенденцію до зменшення кількості дітей із встановленими протипоказаннями до щеплення АКДП-2, порівняно з АКДП-1. Проте протягом другої половини 2024 року відзначається позитивна динаміка у реєстрації протипоказань.

У Львівській області станом на 31.12.2024 профілактичними щепленнями проти кашлюку, дифтерії та правця за Календарем охоплено в середньому 66% населення, в Україні - 83%. Станом на кінець грудня на балансі закладів охорони здоров'я перебувало 5770 доз вакцини АКДП, 4711 доз вакцини АДП та 53944 дози вакцини АДП-м.

Низькою залишалася динаміка імунізації населення у Турківській, Івано-Франківській громадах (охоплено в середньому ≤40% населення відповідних громад) (таблиця 1).

Таблиця 1

Охоплення щепленнями проти кашлюку, дифтерії, правця у розрізі надавачів послуг станом на 31.12.2024

ОТГ	АКДП-3 до року	АКДП-4 (18 міс.)	АДП (6 р.)	АДП-м (16 р.)	АДП-м дорослі	Середнє
Турківська	27,3	45,3	45,5	38,1	30,4	37,3
Івано-Франківська	31,7	43,2	45,2	36,7	40	39,4
Судововишнянська	52	58	32,4	33,7	24,8	40,2
Солонківська	50	53,1	58	52,6	29,3	48,6
Яворівська	60,7	73,3	48,3	50,2	33,5	53,2
Львівська	70,1	60,5	40,4	44,6	60,2	55,2
Бродівська+Заболотцівська	62,5	51,8	53,3	40,9	68,7	55,4
Мурованська	33,3	48,7	56,5	101,1	38,1	55,5
Давидівська	63,6	90,9	50	47,1	29,7	56,3
Східницька	63,5	46,9	77,7	52	46,7	57,4
Сокальська+Белзька	48,9	72,3	67,2	66,8	40,1	59,1
Добротвірська	30,8	77,8	42,2	61,7	88,6	60,2
Щирецька	89,8	62	76,9	47,3	25,8	60,4
Жовківська+Куликівська	48,9	71,3	73,4	55	55	60,7
Шегинівська	59,6	82,5	77,6	43,1	44,4	61,4
Бібрська	105	65	67,3	42,9	29	61,8
Шептицька	60,2	53,5	62,3	48,3	87,3	62,3
Кам'янка-Бузька	53,1	74,5	74,2	68,2	47,9	63,6
Сколівська+Козівська	48,4	82,4	57	62,2	70,3	64,1
Меденицька	87,3	73,8	66,1	48,8	45,1	64,2
Жовтанецька	96	79,6	59,7	75,6	16,4	65,5
Старосамбірська	66,3	68,7	59,2	64,4	70,1	65,7
Новояричівська	79,1	92,5	59,1	64,7	36,5	66,4
Бориславська	58,1	51,8	76,3	98,2	55,2	67,9
Дрогобицька міська поліклініка	99,1	64,3	68	49,5	59,1	68,0
Золочівська+Поморянська	61	56,5	57,1	60,8	109,7	69,0

Продовження таблиці 1

ОТГ	АКДП-3 до року	АКДП-4 (18 міс.)	АДП (6 р.)	АДП-м (16 р.)	АДП-м дорослі	Середнє
Красненська	87,9	60,6	68,6	69,9	64	70,2
Мостиська	73,9	61,3	60,5	66	89,5	70,2
Трускавецька	94	111,3	68,6	47,7	36,6	71,6
Розвадівська	87,5	102,9	94,3	34	41,8	72,1
Моршинська	73,5	103,1	68	61,9	57,4	72,8
Новояворівський ЦПМСД	90,4	76,8	86,1	75,2	36,2	72,9
Рава-Руська	100	89,6	64,8	78,2	33,7	73,3
Дрогобицька РП	80,6	96,3	88	61,2	48	74,8
Пустомитівська	91,1	92,1	66,1	55,6	71,6	75,3
Великолюбінська	78,3	75	97,5	69,9	55,8	75,3
Сокільницька	63,6	87,9	69	84,5	71,6	75,3
Жидачівська	95,7	78,4	70,3	59	73,8	75,4
Новороздільська	89,7	71,4	74,4	73,7	69,1	75,7
Глинянська	115,8	80	61,4	60,6	60,7	75,7
Самбірська	73,5	86,8	43,9	48,8	125,5	75,7
Буська	50,2	105,3	78	68,6	78,7	76,2
Бісковицька	78,7	101,6	68,5	67,2	68	76,8
Оброшинська	106,9	115,2	56,3	56,2	54	77,7
Немирівська МЛ	65,4	71,6	70,3	84,5	100,4	78,4
Гніздичівська	115,6	71,4	100	53,6	52,2	78,6
Великомостівська	82,7	97,6	86,4	70,6	61,8	79,8
Лопатинська	81,4	90,2	80	80,2	70,1	80,4
Стрілківська	89,5	77,4	75	74,7	86,1	80,5
Журавненська	77,1	108,3	85,5	66,7	67,9	81,1
Тростянецька	104,8	100	55,8	96,8	49,1	81,3
Підберізцівська	84	103,7	55,6	106,6	59,9	82,0
Комарнівська	75	65	87,5	79,2	104,9	82,3
Ралівська	87,5	35	100	90	100	82,5
ФОПи, приватні медзаклади	157	78,1	53	59,6	67,2	83,0
Миколаївський міський ЦПМСД	74,7	85,6	56,1	73,5	130	84,0
Славська	68,5	90,8	78,5	81,9	103,5	84,6
Добромильська+Хирівська	116,5	91,1	81,7	73,6	64,9	85,6
Радехівська	92,3	99,4	86,2	78	72,5	85,7
Ходорівська	46,3	60,9	105,8	74,9	143,3	86,2
Підкамінська	70,4	68	103,1	80,3	120,5	88,5
Рудківська	86,4	80	105	97,1	76,4	89,0
Боринська РЛ	112,5	100	68,2	51	116	89,5
Городоцька	96,5	87,3	88,4	85,8	91,3	89,9
Болехівська АЗПСМ	0	56,2	93,3	106,7	196,1	90,5

Продовження таблиці 1

ОТГ	АКДП-3 до року	АКДП-4 (18 міс.)	АДП (6 р.)	АДП-м (16 р.)	АДП-м дорослі	Середнє
Перемишлянська	91,8	87	61,8	87,2	131,6	91,9
Модрицька АЗПСМ	200	100	83,3	37,8	67,3	97,7
Стрийська	106,3	98,8	96	89,9	100,4	98,3
Університетська лікарня	96,1	96,1	105,2	36,8	163,3	99,5
Добросинсько-Магерівська	105,4	112,2	84,4	82,9	130,7	103,1
Зимноводівська	83,8	120,3	85,1	96,1	137,5	104,6
Новокалинівська	109,7	151,4	71,1	147,9	71,4	110,3
Грабовецько-Дулібівська	600	280	21,6	61,9	26,7	198,0
ПО ОБЛАСТІ	**80,6**	**73,1**	**56,4**	**55,6**	**64,4**	**66,0**

У Львівській області станом на 31.12.2024 профілактичними щепленнями проти поліомієліту за Календарем охоплено в середньому 64,7% дітей, в Україні - 84,9%. Станом на кінець грудня на балансі закладів охорони здоров'я Львівської області перебувало 6156 доз ІПВ та 7789 доз ОПВ.

Низькими залишилися темпи вакцинації дітей у Шегинівській, Івано-Франківській, Шептицькій, Турківській громадах (охоплено в середньому ≤40% населення відповідних громад) (таблиця 2).

Таблиця 2

Охоплення щепленнями проти поліомієліту у розрізі надавачів послуг станом на 31.12.2024

ОТГ	Поліо-3 (до 1 р.)	Поліо-4 (18 міс.)	Поліо-5 (6 р.)	Поліо-6 (14 р.)	Середнє
Шегинівська	24,6	43,9	34,3	0	25,7
Івано-Франківська	25,2	40,9	38,3	23,1	31,9
Шептицька	33,4	29,9	51,8	27,6	35,7
Турківська	26,4	49,7	41,1	37,4	38,7
Бібрська	62,5	46	20,6	27	39,0
Глинянська	68,4	30	21,1	41,1	40,2
Новояворівський ЦПМСД	61,7	41,7	39,8	29,1	43,1
Судововишнянська	49,3	61,4	33,1	28,6	43,1
Розвадівська	65	58	33	16,4	43,1
Немирівська МЛ	57,7	26,9	63,7	33,8	45,5
Яворівська	59,2	57,1	35,8	31,3	45,9
Сколівська+Козівська	31,5	72,8	46,6	44,8	48,9
Оброшинська	86,2	66,7	39,4	5,1	49,4
Бісковицька	74,5	46,9	53,8	29	51,1
Давидівська	69,7	55,8	44	36,6	51,5
Болехівська АЗПСМ	0	43,8	146,7	16,9	51,9
Львівська	65,5	56,6	50,6	42,8	53,9
Старосамбірська	56,6	71,1	56,5	33,3	54,4
Сокальська+Белзька	42,3	60,4	58,9	61,4	55,8
Золочівська+Поморянська	56,7	52,4	61,5	65,9	59,1

Продовження таблиці 2

ОТГ	Поліо-3 (до 1 р.)	Поліо-4 (18 міс.)	Поліо-5 (6 р.)	Поліо-6 (14 р.)	Середнє
Щирецька	89,8	70	57,7	21	59,6
Мостиська	64,3	61,3	64,5	49,1	59,8
Жовківська+Куликівська	42,1	72,9	69,4	55,3	59,9
Самбірська	67,5	70,6	44,4	57,7	60,1
Східницька	61,5	39,1	71,8	69,4	60,5
Меденицька	76,2	52,3	52	70,1	62,7
Солонківська	50	51,6	67	84,3	63,2
Бродівська+Заболотцівська	60,5	59,5	75,4	64,3	64,9
Добромильська+Хирівська	85,7	57,3	49,6	71,1	65,9
Рудківська	79,5	77,5	44,1	65,2	66,6
Рава-Руська	100	79,9	53,6	33,1	66,7
Лопатинська	50,8	64,7	70	81,2	66,7
Ходорівська	33,3	54	90,1	89,7	66,8
Красненська	75,8	55,3	70	69,3	67,6
Дрогобицька міська поліклініка	83,1	66,8	70,3	51,8	68,0
Боринська РЛ	112,5	93,8	45,5	20,7	68,1
Ралівська	68,8	50	80	77,5	69,1
Дрогобицька РП	63,9	81,5	74,7	59,9	70,0
Добротвірська	31,5	81,9	84,5	87,2	71,3
Трускавецька	96	107	47,6	35,5	71,5
Тростянецька	81	57,9	65,4	82,7	71,8
Великомостівська	61,7	85,5	74,3	66,8	72,1
Журавненська	62,9	79,2	67,7	80	72,5
Великолюбінська	60	89,6	90	53,2	73,2
Буська	49,4	89,5	71,6	83,4	73,5
Жовтанецька	100	77,6	59,7	58,8	74,0
Миколаївський міський ЦПМСД	69,3	89,4	66,3	73,2	74,6
Сокільницька	42,4	106,1	78,6	72,7	75,0
Університетська лікарня	80,4	80,4	88,7	52,7	75,6
Підберізцівська	56	55,6	63	130,3	76,2
Новояричівська	80	81,7	65,2	79,7	76,7
Мурованська	72,2	87,2	72,5	74,7	76,7
Кам'янка-Бузька	53,1	78,6	93,3	81,7	76,7
Новороздільська	79,4	70,4	74,1	86,2	77,5
Бориславська	83,9	75	69,7	81,8	77,6
Комарнівська	56,2	80	127,5	48,3	78,0
Славська	54,8	92,3	74,1	96,3	79,4
Стрілківська	81,6	80,6	81,2	74,7	79,5
Моршинська	81,6	106,2	67	73,7	82,1

Продовження таблиці 2

ОТГ	Поліо-3 (до 1 р.)	Поліо-4 (18 міс.)	Поліо-5 (6 р.)	Поліо-6 (14 р.)	Середнє
Зимноводівська	84,5	92,4	81,7	71,3	82,5
Жидачівська	90,4	97,9	69	73,9	82,8
Перемишлянська	100	99,3	72,9	65,4	84,4
Пустомитівська	91,1	100	80,9	65,7	84,4
Добросинсько-Магерівська	104,1	137,8	71,1	31,6	86,2
Радехівська	92,9	94,3	95,6	65,3	87,0
Грабовецько-Дулібівська	200	60	9,9	86,2	89,0
Модрицька АЗПСМ	100	100	83,3	86,4	92,4
Новокалинівська	116,1	129,7	57,9	77,4	95,3
Стрийська	106	99,8	90,5	85,4	95,4
Гніздичівська	93,8	90,5	100	103,3	96,9
Городоцька	89,5	96,6	101,6	102,2	97,5
ФОПи, приватні медзаклади	157,2	114,2	68,8	54,4	98,7
Підкамінська	66,7	88	140,6	116,4	102,9
ПО ОБЛАСТІ	**75**	**74,9**	**57,6**	**51,3**	**64,7**

У Львівській області станом на 31.12.2024 профілактичними щепленнями проти кору, епідемічного паротиту та краснухи за Календарем охоплено в середньому 79,1% дітей, в Україні - 87,4%. Станом на кінець грудня на балансі закладів охорони здоров'я перебувало 8398 доз вакцини КПК.

При аналізі охоплення щепленнями проти кору, епідемічного паротиту та краснухи у розрізі ОТГ області визначено, що низькими залишалися темпи вакцинації дітей у Судововишнянській громаді - охоплено в середньому ≤40% дітей (таблиця 3).

Таблиця 3

Охоплення щепленнями проти кору, епідемічного паротиту та краснухи у розрізі надавачів послуг станом на 31.12.2024

ОТГ	КПК-1 1 рік	КПК-2 (6 р.)	Середнє
Судововишнянська	41,2	23,4	32,3
Сколівська+Козівська	49,6	35,7	42,7
Турківська	54	36,2	45,1
Болехівська АЗПСМ	16,7	80	48,4
Шегинівська	64,9	38,8	51,9
Добротвірська	63,4	41,4	52,4
Солонківська	59,4	53,6	56,5
Бродівська+Заболотцівська	51	63,7	57,4
Яворівська	65,8	49,5	57,7
Івано-Франківська	61,4	55,3	58,4
Старосамбірська	59,1	57,6	58,4
Бібрська	58	61,8	59,9
Львівська	70,2	54,6	62,4
Шептицька	66,5	64,8	65,7

Продовження таблиці 3

ОТГ	КПК-1 1 рік	КПК-2 (6 р.)	Середнє
Підберізцівська	74,1	57,4	65,8
Немирівська МЛ	70,1	63,7	66,9
Мурованська	71,8	65,2	68,5
Новороздільська	71,4	67,8	69,6
Розвадівська	83,8	55,7	69,8
Меденицька	78,6	63,8	71,2
Сокільницька	75,8	66,7	71,3
Східницька	64,1	78,6	71,4
Дрогобицька міська поліклініка	71,6	73,5	72,6
Самбірська	96,6	50,2	73,4
Жовківська+Куликівська	72,4	74,7	73,6
Грабовецько-Дулібівська	140	7,2	73,6
Золочівська+Поморянська	78,9	69,2	74,1
Лопатинська	82,4	66,7	74,6
Жидачівська	78,4	71,6	75,0
Сокальська+Белзька	83,4	67,2	75,3
Оброшинська	103,4	47,9	75,7
Трускавецька	88,7	64,6	76,7
Рудківська	85,8	68,3	77,1
Стрілківська	80,6	75	77,8
Пустомитівська	84,3	72,1	78,2
Красненська	79,1	78,6	78,9
Журавненська	85,3	72,6	79,0
Мостиська	75	84	79,5
Новояричівська	93,3	66,2	79,8
Щирецька	85,7	74,6	80,2
Ходорівська	96,1	64,5	80,3
Миколаївський міський ЦПМСД	101,1	60,2	80,7
Добромильська+Хирівська	88,5	73,7	81,1
Добросинсько-Магерівська	82,4	81,5	82,0
Славська	82,2	83	82,6
Модрицька АЗПСМ	100	66,7	83,4
Давидівська	106,1	60,7	83,4
Університетська лікарня	98	70,1	84,1
Новояворівський ЦПМСД	96,7	71,5	84,1
Новокалинівська	90,3	80,3	85,3
Рава-Руська	100	70,9	85,5
Бісковицька	104,2	70	87,1
Буська	95,7	78,7	87,2

Продовження таблиці 3

ОТГ	КПК-1 1 рік	КПК-2 (6 р.)	Середнє
Моршинська	104,2	71	87,6
Великолюбінська	83,3	92,5	87,9
Кам'янка-Бузька	83,4	94,3	88,9
Великомостівська	90,4	87,9	89,2
Зимноводівська	92,4	88,5	90,5
Гніздичівська	90,6	94,1	92,4
Ралівська	105	80	92,5
Дрогобицька РП	100	89,2	94,6
Боринська РЛ	125	65,2	95,1
Стрийська	101,5	89	95,3
Перемишлянська	105,8	89,2	97,5
Городоцька	93,6	103,2	98,4
Тростянецька	115	82,7	98,9
Бориславська	100,9	97	99,0
Радехівська	103,8	104	103,9
Жовтанецька	142,9	68,1	105,5
Підкамінська	88	125	106,5
Комарнівська	105	115	110,0
ФОПи, приватні медзаклади	157,3	98,4	127,9
Глинянська	225	49,1	137,1
ПО ОБЛАСТІ	**92,3**	**65,8**	**79,1**

У Львівській області станом на 31.12.2024 профілактичними щепленнями проти туберкульозу охоплено 91,6% немовлят, в Україні - 92,8%. Станом на кінець грудня на балансі закладів охорони здоров'я Львівської області перебувало 10980 доз вакцини БЦЖ. Рівні охоплення щепленнями проти туберкульозу серед дітей віком до 1 року у розрізі ОТГ області наведені у таблиці 4.

Таблиця 4

Охоплення щепленнями проти туберкульозу у розрізі надавачів послуг станом на 31.12.2024

ОТГ	БЦЖ (до 1 року)
Самбірська	63,9
Жовківська+Куликівська	73,8
Бориславська	77,3
Миколаївська МЛ	79,2
Буська	82,4
Турківська	84,6
Яворівська	87
Городоцька	87,9
Львівська	88,7
Новояворівська лікарня ім. Ю.Липи	88,9
Бродівська+Заболотцівська	89,7

Продовження таблиці 4

ОТГ	БЦЖ (до 1 року)
Ходорівська	90,4
Мостиська	91,1
Кам'янка-Бузька	91,6
Перинатальний центр	91,7
Дрогобицька МЛ №1	92,4
Обласна КЛ	93,1
Сколівська+Козівська	94,4
Старосамбірська	97,5
Жидачівська	97,7
Сокальська+Белзька	97,8
Стрийська	99,9
Шептицька	101,6
Новороздільська	117,1
Новояворівський ЦПМСД	142,5
ПО ОБЛАСТІ	**91,6**

У Львівській області станом на 31.12.2024 повний вакцинальний комплекс проти гепатиту В отримали 73,2% немовлят, в Україні - 88%. Станом на кінець грудня на балансі закладів охорони здоров'я Львівської області перебувало 9642 дози вакцини для профілактики гепатиту В у дітей.

Стан охоплення немовлят повним комплексом вакцинації проти гепатиту В у розрізі надавачів послуг з імунопрофілактики у Львівській області наведене у таблиці. Звертаємо увагу, що протягом року низькі темпи охоплення немовлят вакцинацією проти вірусного гепатиту В зберігаються у Турківській, Добротвірській, Старосамбірській, Шегинівській громадах (таблиця 5).

Таблиця 5

Охоплення щепленнями проти гепатиту В дитячого населення у розрізі надавачів послуг станом на 31.12.2024

ОТГ	Геп.В-3 до року
Турківська	16
Добротвірська	30,8
Шегинівська	38,6
Старосамбірська	38,6
Івано-Франківська	40,7
Сколівська+Козівська	42,7
Сокальська+Белзька	46,7
Жовківська+Куликівська	47
Буська	48,1
Солонківська	50
Кам'янка-Бузька	50,2
Шептицька	53,5
Ходорівська	56,2

Продовження таблиці 5

ОТГ	Геп.В-3 до року
Підберізцівська	60
Великолюбінська	60
Немирівська МЛ	61,5
Золочівська+Поморянська	62,3
Яворівська	62,5
Глинянська	63,2
Мостиська	63,5
Тростянецька	66,7
Львівська	66,9
Східницька	67,3
Судововишнянська	68
Жовтанецька	68
Бориславська	69,4
Сокільницька	69,7
Моршинська	71,4
Мурованська	72,2
Миколаївський міський ЦПМСД	72,9
Розвадівська	73,8
Рудківська	73,9
Підкамінська	74,1
Добромильська+Хирівська	74,7
Красненська	75,8
Новояворівський ЦПМСД	78,1
Городоцька	78,5
Славська	79,5
Самбірська	79,5
Новояричівська	80
Новороздільська	80
Великомостівська	80,2
Комарнівська	81,2
Дрогобицька міська поліклініка	82,8
Оброшинська	82,8
Журавненська	82,9
Зимноводівська	83,8
Стрілківська	84,2
Лопатинська	86,4
Радехівська	86,4
Новокалинівська	87,1
Меденицька	87,3
Давидівська	87,9

Продовження таблиці 5

ОТГ	Геп.В-3 до року
Бродівська+Заболотцівська	88,6
Бісковицька	95,7
Щирецька	96,6
Жидачівська	96,8
Бібрська	100
Університетська лікарня	100
Рава-Руська	100
Пустомитівська	103,3
Трускавецька	104
Перемишлянська	104,5
Дрогобицька РП	105,6
ФОПи, приватні медзаклади	115,4
Стрийська	116,3
Добросинсько-Магерівська	117,6
Ралівська	131,2
Гніздичівська	146,9
Боринська РЛ	200
Грабовецько-Дулібівська	700
ПО ОБЛАСТІ	**73,2**

Станом на 31.12.2024 у Львівській області пологові стаціонари наявні у 21 ОТГ. У листопаді 2024 року у пологових відділеннях області щеплення проти туберкульозу отримали 84% новонароджених, проти вірусного гепатиту В - 78,7%. У порівнянні з попереднім місяцем, вакцинація новонароджених проти гепатиту В відбувається активніше. Тим не менш, звертаємо увагу на наявність громад, де новонароджені не отримували щеплень (таблиця 6).

Таблиця 6

Охоплення щепленнями новонароджених у пологових відділеннях у грудні 2024 року

ОТГ	Кількість народжених у грудні дітей	Вакцинація проти туберкульозу		Вакцинація проти гепатиту В	
		Кількість	%	Кількість	%
Львівська	296	238	80,4%	213	72,0%
Городоцька	27	25	92,6%	21	77,8%
Жовківська	66	29	43,9%	29	43,9%
Кам'янка-Бузька	18	12	66,7%	9	50,0%
Бродівська	18	15	83,3%	15	83,3%
Буська	26	17	65,4%	19	73,1%
Бориславська	18	16	88,9%	12	66,7%
Самбірська	23	10	43,5%	23	100,0%
Старосамбірська	11	8	72,7%	6	54,5%
Турківська	14	11	78,6%	14	100,0%

Продовження таблиці 6

ОТГ	Кількість народжених у грудні дітей	Вакцинація проти туберкульозу		Вакцинація проти гепатиту В	
		Кількість	%	Кількість	%
Ходорівська	7	7	100,0%	0	0,0%
Сколівська	6	6	100,0%	3	50,0%
Стрийська	65	65	100,0%	63	96,9%
Новороздільська	1	1	100,0%	1	100,0%
Сокальська	21	21	100,0%	21	100,0%
Шептицька	27	25	92,6%	20	74,1%
Мостиська	2	0	0,0%	2	100,0%
Яворівська	9	9	100,0%	6	66,7%
Перинатальний центр	622	464	74,6%	399	64,1%
Львівська обласна клінічна лікарня	132	131	99,2%	69	52,3%
Миколаївська	7	0	0,0%	1	14,3%
Дрогобицька	40	37	92,5%	28	70,0%
Новояворівська	12	10	83,3%	9	75,0%
Всього в області	**1468**	**1157**	**78,8%**	**983**	**67,0%**

У Львівській області станом на 31.12.2024 профілактичними щепленнями проти гемофільної інфекції типу b за Календарем охоплено в середньому 96,2% дітей, в Україні - 93,7%. Станом на кінець грудня на балансі закладів охорони здоров'я Львівської області перебувало 4413 доз вакцини для профілактики гемофільної інфекції.

При аналізі охоплення щепленнями проти гемофільної інфекції у розрізі ОТГ області виявлено, що в середньому достатню кількість дітей охоплено щепленнями у 28 громадах. Низьким залишається охоплення вакцинацією проти зазначеної інфекції у Ходорівській громаді (охоплено в середньому ≤40% населення) (таблиця 7).

Таблиця 7

Охоплення щепленнями проти гемофільної інфекції у розрізі надавачів послуг станом на 31.12.2024

ОТГ	Hib-2 до року	Hib-3 (1 рік)	Середнє
Ходорівська	43,8	26,3	35,1
Немирівська МЛ	57,7	28,4	43,1
Сколівська+Козівська	63,7	36,5	50,1
Івано-Франківська	45,5	56,8	51,2
Турківська	43,7	60,2	52,0
Підберізцівська	80	29,6	54,8
Мурованська	61,1	53,8	57,5
Старосамбірська	68,7	46,4	57,6
Жовківська+Куликівська	60,3	59,3	59,8
Мостиська	62,6	59,7	61,2
Добротвірська	48,5	81,7	65,1

Продовження таблиці 7

ОТГ	Hib-2 до року	Hib-3 (1 рік)	Середнє
Жовтанецька	128	2,9	65,5
Шегинівська	110,5	21,1	65,8
Солонківська	58,3	73,4	65,9
Болехівська АЗПСМ	83,3	50	66,7
Яворівська	74,1	60	67,1
Судововишнянська	66,7	80,9	73,8
Лопатинська	71,2	76,5	73,9
Сокальська+Белзька	49,2	98,7	74,0
Перемишлянська	79,1	73,9	76,5
Сокільницька	81,8	72,7	77,3
Красненська	93,4	62,6	78,0
Східницька	78,8	78,1	78,5
Бродівська+Заболотцівська	90,9	66,2	78,6
Львівська	80,8	80	80,4
Новояворівський ЦПМСД	91,7	71,7	81,7
Стрілківська	84,2	80,6	82,4
Оброшинська	86,2	82,8	84,5
Шептицька	74,8	94,9	84,9
Великолюбінська	83,3	89,6	86,5
Моршинська	87,8	85,4	86,6
Великомостівська	82,7	91,6	87,2
Славська	78,1	97,3	87,7
Розвадівська	78,8	97,3	88,1
Меденицька	103,2	72,9	88,1
Щирецька	130,5	46	88,3
Бориславська	105,9	78,6	92,3
Трускавецька	145	40,9	93,0
Добромильська+Хирівська	87,9	100	94,0
Бібрська	127,5	63	95,3
Пустомитівська	91,1	100	95,6
Тростянецька	100	95	97,5
Комарнівська	75	120	97,5
Самбірська	100	95,5	97,8
Дрогобицька міська поліклініка	125,8	71,3	98,6
Кам'янка-Бузька	61,8	135,9	98,9
Модрицька АЗПСМ	100	100	100,0
Рава-Руська	100	100	100,0
Підкамінська	81,5	120	100,8
Золочівська+Поморянська	106,7	99,3	103,0
Зимноводівська	98,6	111	104,8

Продовження таблиці 7

ОТГ	Hib-2 до року	Hib-3 (1 рік)	Середнє
Городоцька	104	105,9	105,0
Новояричівська	84,5	127,5	106,0
Новороздільська	97,4	117,6	107,5
Гніздичівська	140,6	78,1	109,4
Добросинсько-Магерівська	101,4	117,6	109,5
Новокалинівська	129	90,3	109,7
Радехівська	113,6	108,3	111,0
Жидачівська	86,2	137,1	111,7
Дрогобицька РП	105,6	118,5	112,1
Стрийська	124	101,8	112,9
Журавненська	100	126,5	113,3
Ралівська	143,8	90	116,9
Давидівська	89,4	148,5	119,0
Буська	72,3	168,6	120,5
Миколаївський міський ЦПМСД	65,8	190,8	128,3
Рудківська	103,4	162,5	133,0
Університетська лікарня	113,7	160,8	137,3
Бісковицька	95,7	185,4	140,6
ФОПи, приватні медзаклади	200,5	123,5	162,0
Глинянська	78,9	316,7	197,8
Боринська РЛ	187,5	300	243,8
Грабовецько-Дулібівська	500	140	320,0
ПО ОБЛАСТІ	**97,2**	**95,2**	**96,2**

Враховуючи викладене вище, існує небезпека поширення інфекційних хвороб, що керуються засобами специфічної імунопрофілактики на території Львівської області.

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ ЕПІДЕМІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ІНФЕКЦІЙНОЇ ЗАХВОРЮВАНОСТІ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ ЗА 2020-2024 РОКИ

RETROSPECTIVE EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASE INCIDENCE IN LVIV REGION FOR 2020-2024

Наталія Іванченко, генеральний директор ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", ORCID*:*
https://orcid.org/0000-0002-0112-6962

Марія Озірковська, заступник генерального директора з епідеміологічного нагляду (спостереження) та профілактики інфекційних хвороб ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", e-mail*:* maria.ozirkovska@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0003-5648-880X.

Мар'яна Дуденко, завідувачка відділу імунопрофілактики ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", ORCID:
https://orcid.org/0009-0000-1007-807X.

Ольга Гресь, ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", ORCID https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0002-1495-5134.

Вікторія Сергієнко, доктор медичних наук, професор, проректор з наукової роботи, Державне некомерційне підприємство "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького" , e-mail: serhiyenkov@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6414-0956.

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.07

Анотація. У роботі представлено комплексний аналіз динаміки інфекційної захворюваності у Львівській області протягом 2020–2024 років. Оцінено захворюваність на гострі респіраторні вірусні інфекції, грип, кір, кашлюк, паротит, туберкульоз, гепатити, кишкові та паразитарні інфекції. Виявлено періоди підвищеної активності збудників, простежено сезонні коливання, регіональні спалахи та зони ризику. У порівнянні з загальнодержавними показниками, у ряді випадків рівень захворюваності в області був вищим, зокрема щодо ГРВІ, грипу, хронічних гепатитів та паразитозів. Отримані дані можуть бути використані для оптимізації епіднагляду, планування профілактичних заходів і реагування на загрози громадському здоров'ю.

Ключові слова: інфекційна захворюваність, епідеміологічний аналіз, Львівська область, спалахи, профілактика.

Abstract. This study presents a comprehensive analysis of infectious disease incidence dynamics in Lviv Oblast from 2020 to 2024. The data covers acute respiratory viral infections, influenza, measles, pertussis, mumps, tuberculosis, hepatitis, intestinal and parasitic infections. The analysis identifies epidemic peaks, seasonal trends, localized outbreaks, and high-risk areas. In several cases, regional morbidity exceeded national averages, particularly for ARVI, influenza, chronic hepatitis, and parasitoses. The findings provide a basis for improving epidemiological surveillance, planning preventive strategies, and enhancing public health response capabilities.

Keywords: infectious morbidity, epidemiological analysis, Lviv region, outbreaks, prevention.

Для отримання статистичних даних щодо рівня захворюваності на окремі інфекційні та паразитарні хвороби в Україні було використано офіційну форму звітності МОЗ — Форма №1[150]. Цей документ містить щомісячні та річні зведені дані, зібрані органами охорони здоров'я відповідно до вимог державного обліку. Відомості з цієї форми дозволяють проаналізувати динаміку поширення інфекцій, встановити епідеміологічні закономірності та використовуються для прогнозування і планування профілактичних заходів.

Гострі респіраторні вірусні інфекції, у тому числі коронавірусна хвороба (COVID-19): За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 17 713,66 на 100 тисяч населення (440 866 випадків). Найвищий показник було зареєстровано у 2021 році – 20 341,70 на 100 тисяч населення, а найнижчий у 2020 – 14 001,70 на 100 тисяч населення. Перевищення середнього показника спостерігалось у 2021, 2022 та 2024 роках на 14,8%, 1,9% та 9,4 % відповідно (рис.1).

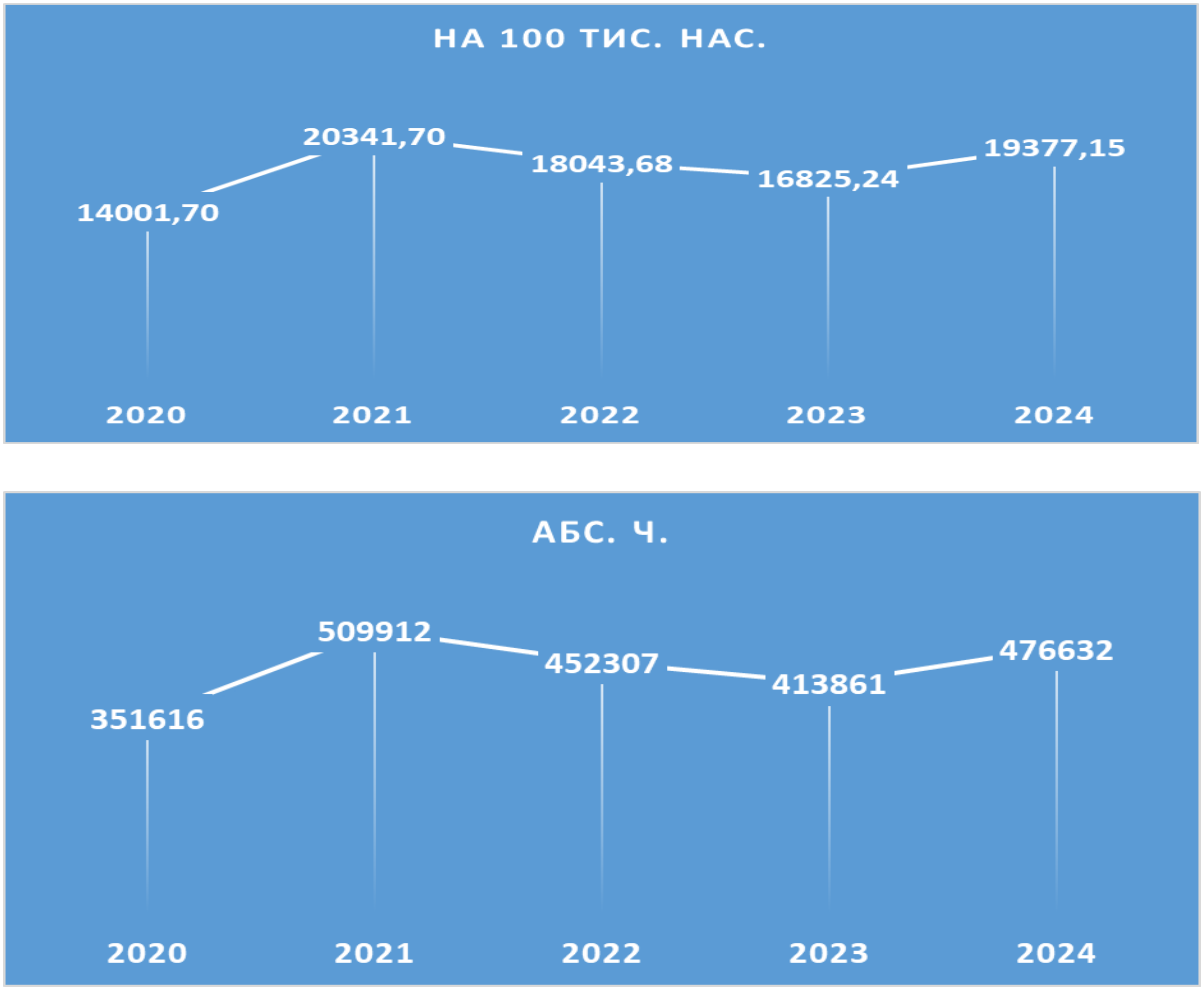


Рисунок. 1. Захворюваність на ГРВІ в Львівській області за 2020-2024 рр.

У порівнянні з Україною рівень захворюваності на ГРВІ у Львівській області було перевищено протягом всього досліджуваного періоду з найвищим показником у 2022 році (+43,4%) (рис.2).

[150] Форма №1 «Звіт про окремі інфекційні та паразитарні хвороби», затверджена Наказом МОЗ України № 378 від 10.07.2007 https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1022-07#Text

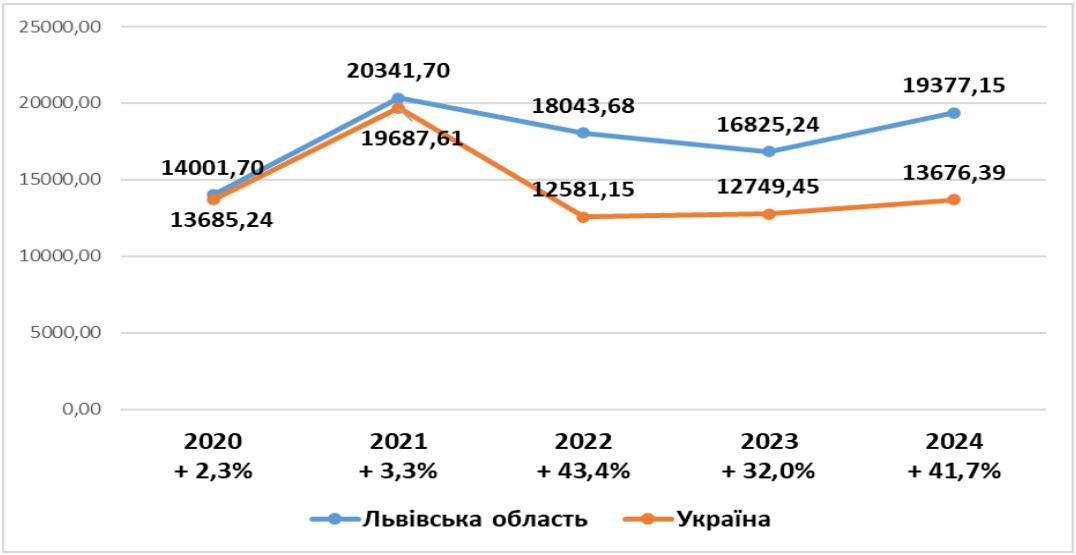


Рисунок 2. Захворюваність на ГРВІ в Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

Грип: За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 42,37 на 100 тисяч населення (1 054 випадки). Найвищий показник було зареєстровано у 2020 році – 103,18 на 100 тисяч населення, а найнижчий у 2021 р – 0,04 на 100 тисяч населення (рис.3).

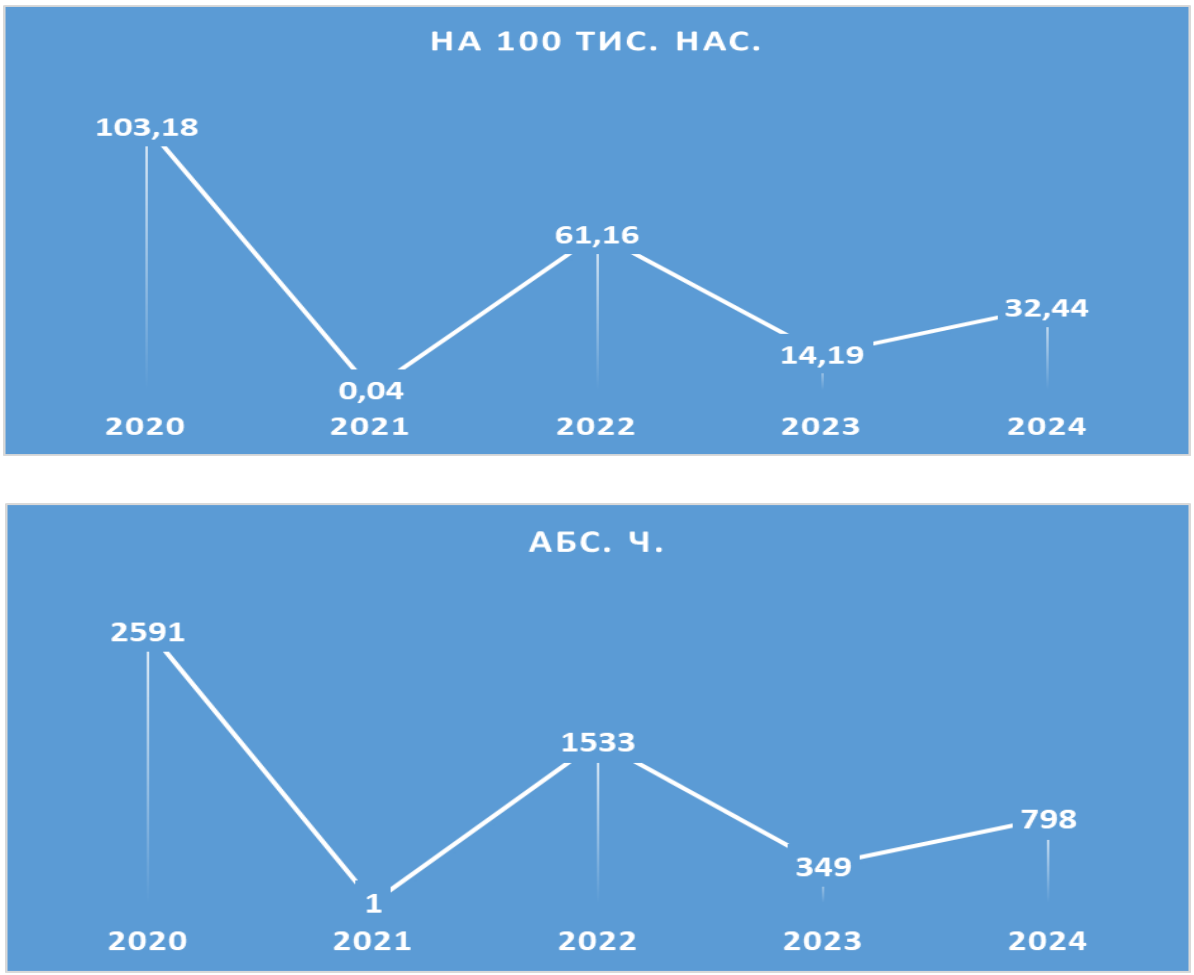


Рисунок 3. Захворюваність на грип в Львівській області за 2020-2024 рр.

У порівнянні з Україною рівень захворюваності на грип у Львівській області було перевищено у 2020 та 2022 роках на 77,6% та в 3,1 рази відповідно (рис.4).

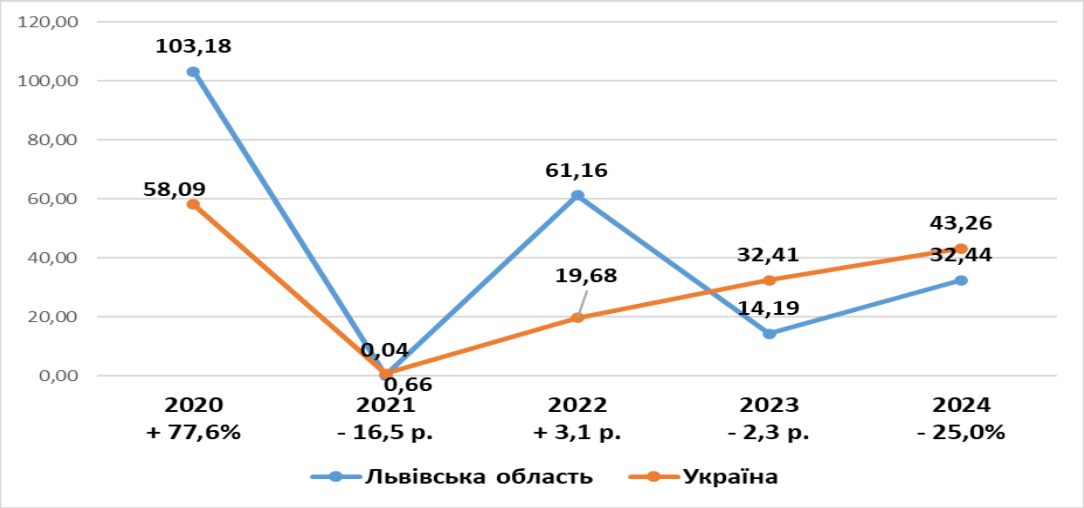


Рисунок 4. Захворюваність на грип у Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

Кашлюк: У 2020 році в Львівській області зареєстровано 128 вип. кашлюка (інт. пок. 5,10), проти 234 вип. (інт. пок. 9,32) за 2019 рік, спад на 45,3%. По Україні показник захворюваності на кашлюк у 2020 році складав 2,48 на 100 тисяч населення (1041 випадок).

Захворюваність серед дитячого населення становить 95,3% (122 вип.) із наступним розподілом по вікових групах: до 1 року - 35 вип. (28,7%), 1-4 роки - 42 вип. (34,4%), 5-9 років - 36 вип. (29,5%), 10-14 років - 8 вип. (6,6%), 15-17 років - 1 вип. (0,8%). Серед дорослих – 6 випадків, що становить 4,7%.

По Україні показник захворюваності на кашлюк у 2021 році складав 0,22 на 100 тисяч (91 випадок).

У 2022 році в Львівській області зареєстровано 1 випадок кашлюку- 0,04 на 100 тисяч населення.

По Україні показник захворюваності на кашлюк у 2022 році складав 0,08 на 100 тисяч (32 випадки).

У 2023 році зареєстровано 85 випадків кору (інт. пок. 3,39), проти 1 випадку (інт. пок. 0,04) за 2022 рік, ріст на 84 випадки. По Україні показник складав -інт. пок. 0,16 (65 вип.).

Серед дітей - 81 випадок (95,3%), найбільше випадків у віковій групі 5-9 років – 26 (32,1%). По Україні інт. пок. 1,72(707 вип.).

У 2024 році зареєстровано 669 випадків (27,20 на 100 тисяч населення) захворювань на кашлюк проти 85 випадків (3,39 на 100 тисяч населення) за аналогічний період 2023 року – ріст в 7,87 раз. Випадки захворювання на кашлюк реєструвались в усіх районах Львівської області з перевищенням середньообласного показника: Золочівському – 54 (33,85 на 100 тисяч населення), Львівському – 374 випадок (32,98 на 100 тисяч населення) та Яворівському – 58 (32,66 на 100 тисяч населення) районах (рис. 13).

Серед дітей зареєстровано 601 випадок (89,84%), у тому числі до 1 року – 159 (26,46%), 1-4 роки – 130 (21,63%), 5-9 років – 132 (21,96%), 10-14 років – 147 (24,46%), 15-17 років – 33 (5,49%). Серед дорослих зареєстровано 68 випадків, що становить 10,16%.

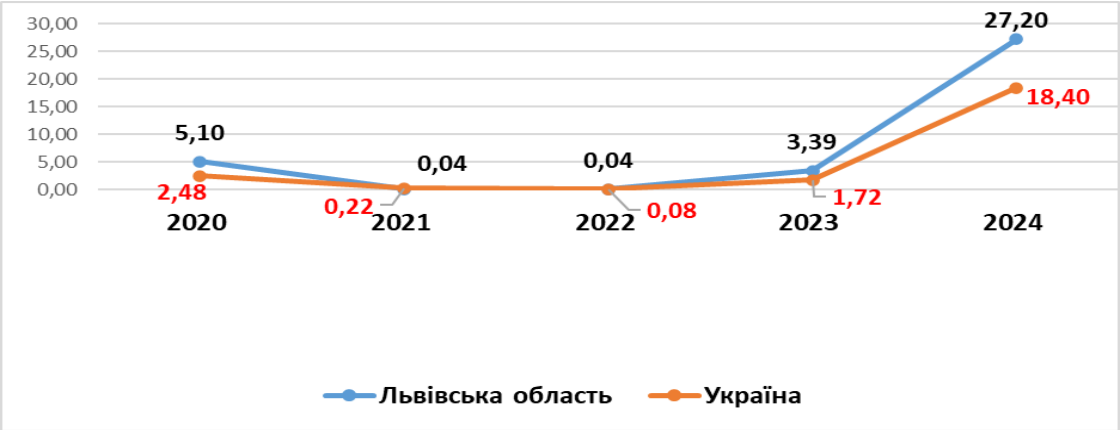


Рисунок 5. Захворюваність на кашлюк у Львівській області та в Україні за 2020 та 2024 рр.

Кір:

У 2020 році в Львівській області зареєстровано 7 випадків кору (інт. пок. 0,28), проти 6418 випадків (інт. пок. 255,5) за 2019 рік, зниження на 6411 випадків. По Україні у 2020 році показник захворюваності на кір показник складав 0,63 на 100 тисяч населення(264 вип.).

Захворюваність серед дитячого населення становить 85,7% (6 вип.). У віковій групах 1-4р. – 1 вип. (16,7%), 5-9р. – 4 вип. (66,7%), 10-14р. – 1 вип. (16,7%). Серед дорослих – 1 випадок.

У 2021 році випадки кору не реєструвались на території області. По Україні у 2021 році показник захворюваності на кір показник складав 0,04 на 100 тисяч населення(16 вип.).

У 2022 році в Львівській області зареєстровано 1 випадок кору- інт. пок. 0,04. По Україні у 2022 році показник захворюваності на кір показник складав 0,03 на 100 тисяч населення(11 вип.).

У 2023 році зареєстровано 7 випадків кору (інт. пок. 0,28), проти 1 випадку (інт. пок. 0,04) за 2022 рік, ріст на 6 випадків. В Україні було 65 випадків (інт. пок. 0,16). Серед дітей реєструвалось 2 випадки у віковій групі 10-14 років.

Захворюваність кором реєструвалася у Львівському районі.

За 2024 рік зареєстровано 10 випадків кору (0,41 на 100 тисяч населення) проти 7 випадків (0,28 на 100 тисяч населення) за аналогічний період 2023 року, ріст на 42,9% (на 3 випадки). В Україні зареєстровано 142 випадки, інтенсивний показник на 100 тисяч населення 0,35. Випадки кору реєструвалися в 2-х районах Львівській області – Стрийському (0,63 на 100 тисяч населення, 2 випадки) та Львівському (0,58 на 100 тисяч населення, 8 випадки) (рис. 7).

Зареєстровано 7 випадків серед дітей до 17 років (у вікових групах: 10-14 років - 6 випадків та 5-9 років - 1 випадок). Серед дорослого населення - 3 випадки (2 жінки віком 34 та 44 роки та 1 чоловік віком 18 років). За вакцинальним статусом дітей: 1 дитина отримала 2 щеплення з порушенням Календаря профілактичних щеплень; у 2 дітей – відсутні дані про вакцинацію проти кору. Серед дорослих: 1 – отримав 2 щеплення, 2 – вакцинальний статус невідомий.

Зареєстровано 3 спалахи кору: 2 - в Львівському та 1 - в Стрийському районах.

У порівнянні з Україною рівень захворюваності на кір (інтенсивний показник на 100 тис. населення) у Львівській області перевищував у 2022 та 2023 роках протягом всього досліджуваного періоду, з найвищим показником у 2023 році (+75,0%) (рис.4).



Рисунок 6. Захворюваність на кір у Львівській області та в Україні за 2020 та 2024 рр. (абсолютні числа)



Рисунок 7. Захворюваність на кір у Львівській області та в Україні за 2020 та 2024 рр. (інт. показники на 100 тис. нас.)

Епідемічний паротит: У 2020 році в Львівській області зареєстровано 33 випадки епідемічного паротиту (інт. пок. 1,31), проти 75 випадків (інт. пок. 2,99) за 2019 рік, зниження в 2,3 рази. В Україні було 163 випадки (інт. пок. 0,39)

Захворюваність серед дитячого населення становить 39,4% (15 вип.). У віковій групах 5-9р. – 2 вип. (13,3%), 10-14р. – 4 вип. (26,7%), 15-17р. – 9 вип. (60,0%). Серед дорослих – 18 випадків.

У 2021 році зареєстровано 6 випадків кору (інт. пок. 0,24), проти 33 випадків (інт. пок. 1,31) за 2020 рік, зниження в 5,5 разів (на 27 випадків). В Україні було 175 випадків (інт. пок. 0,42). Серед дітей реєструвалось 4 випадки (66,7%), по 2 випадки у вікових групах 1-4 р. та 5-9 років.

У 2022 році зареєстровано 22 випадки епідемічного паротиту (інт. пок. 0,89), проти 6 випадків (інт. пок. 0,24) за 2021 рік, ріст в 3,7 разів. В Україні було 190 випадки (інт. пок. 0,46).

У 2023 році зареєстровано 31 випадок епідемічного паротиту (інт. пок. 1,26), проти 22 випадків (інт. пок. 0,89) за 2022 рік, ріст на 40,9% (9 випадків). В Україні було 529 випадків (інт. пок. 1,29). Серед дітей реєструвалось 21 випадок, що становить 67,8%, найбільше випадків у вікових групах 5-9 та 10-14 років – по 8 випадків.

За 2024 рік зареєстровано 14 випадків епідемічного паротиту (0,57 на 100 тисяч населення) проти 31 випадку (1,26 на 100 тисяч населення) за аналогічний період 2023 року – зниження в 2,2 рази (на 17 випадків). В Україні було 142 випадків (інт. пок. 0,35). Випадки зареєстровані в 3 районах Львівської області: Львівському – 9 (0,79 на 100 тисяч населення), Дрогобицькому – 4 (1,80 на 100 тисяч населення) та Самбірському – 1 (0,45 на 100 тисяч населення). Найвищий показник захворюваності на 100 тисяч населення реєструється в Дрогобицькому районі.

Серед захворілих на епідемічний паротит 13 дітей, що становить 92,86%, та 1 дорослий –7,15%. Серед дитячого населення найбільше випадків зареєстровано у віковій групі 10-14 років – 5 випадків (38,5%), у вікових групах 1-4 роки – 3 випадки, 5-9 років – 4 випадки та 15-17 років – 1 випадок.

Інтенсивний показник захворюваності на епідемічний паротит у Львівській області у порівнянні з показниками по Україні перевищував його у 2020, 2022 та 2024рр (рис.8).

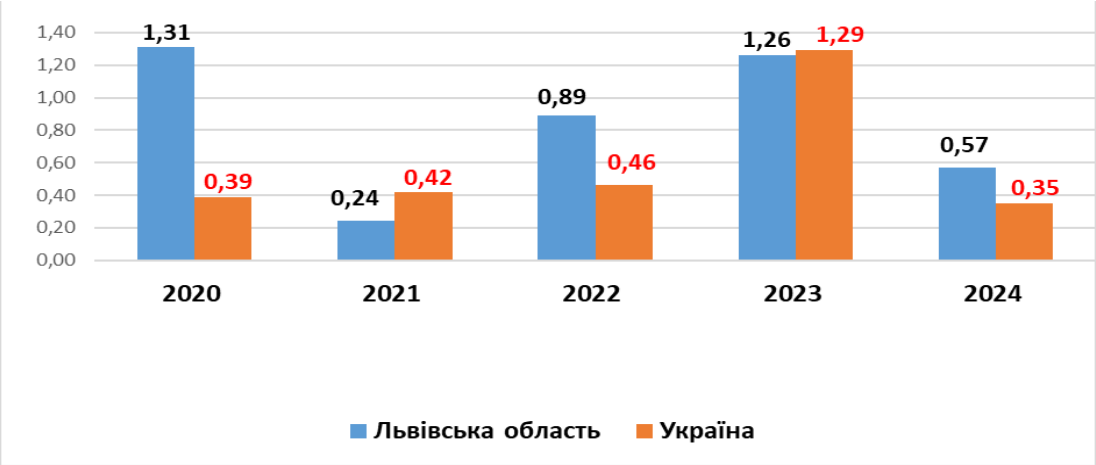


Рисунок 8. Захворюваність на епідемічний паротит у Львівській області та в Україні за 2020 та 2024 рр.

Краснуха: Інтенсивний показник захворюваності на краснуху у Львівській області у порівнянні з показниками по Україні перевищував його у 2022 та 2023рр. (рис.9).

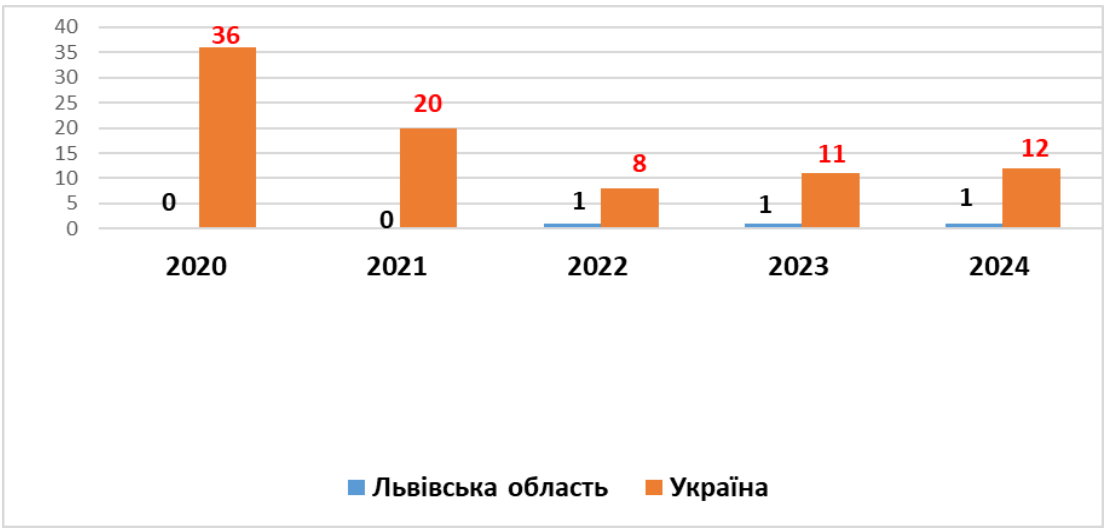


Рисунок 9. Захворюваність на краснуху у Львівській області та в Україні за 2020 та 2024 рр. (абсолютні числа)

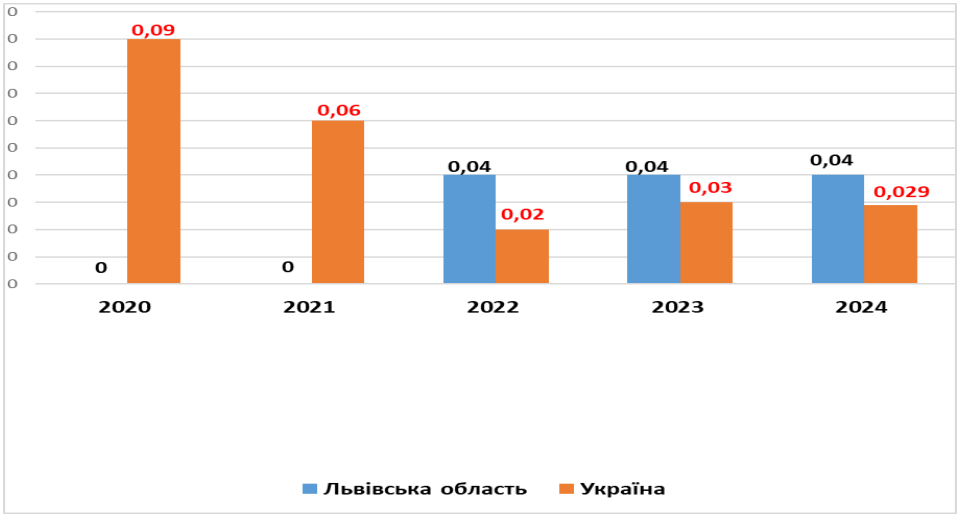


Рисунок 10. Захворюваність на краснуху у Львівській області та в Україні за 2020 та 2024 рр. (інт. показники на 100 тис. нас.)

Туберкульоз органів дихання: За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 38,16 на 100 тисяч населення (988 випадків). Найвищий показник було зареєстровано у 2023 році – 53,14 на 100 тисяч населення, а найнижчий у 2020 – 20,95 на 100 тисяч населення. Перевищення середнього показника спостерігалось у 2022, 2023 та 2024 роках на 0,68%, 39,26% та 12,19% відповідно (рис.11).

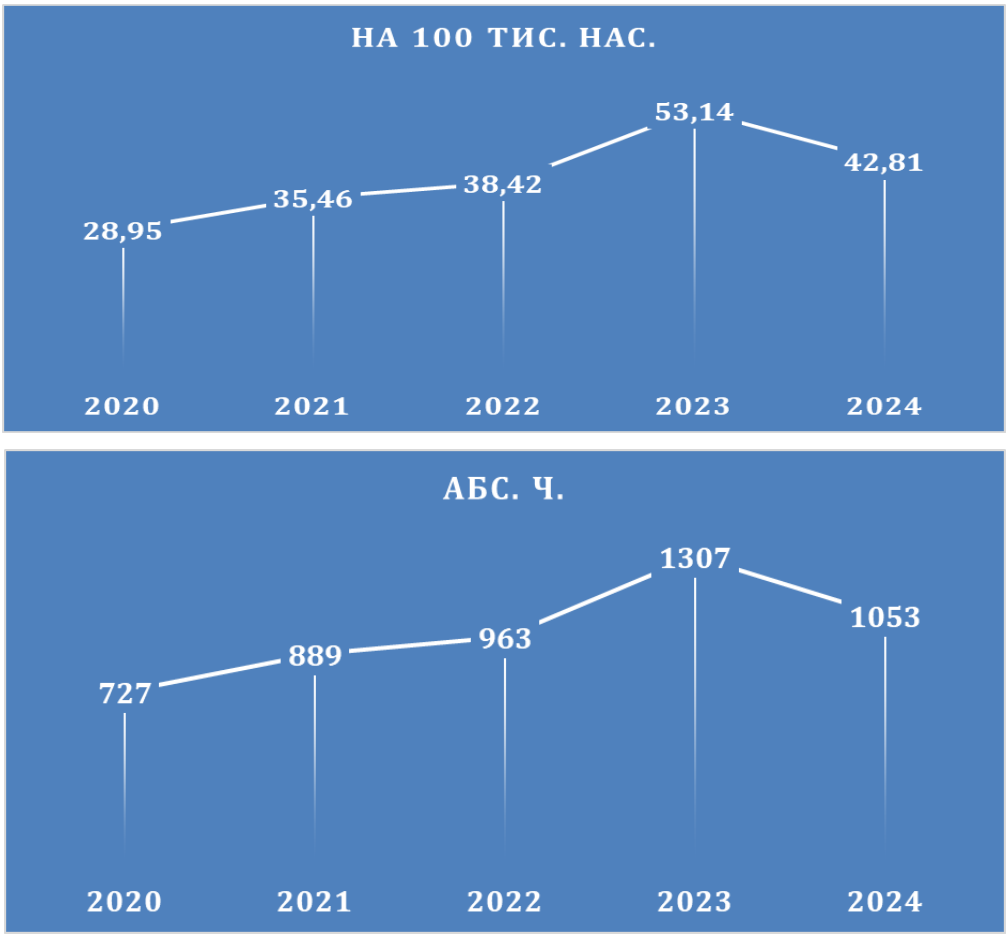


Рисунок 11. Захворюваність на туберкульоз органів дихання в Львівській області за 2020 та 2024 рр.

В порівнянні з показниками по Україні захворюваність на туберкульоз органів дихання у Львівській області була більшою у 2021 році (на 12,43%), у 2022 році (на 17,33%), у 2023 році (на 34,04%) та у 2024 році (на 34,79%), рис.12а та рис.12б.

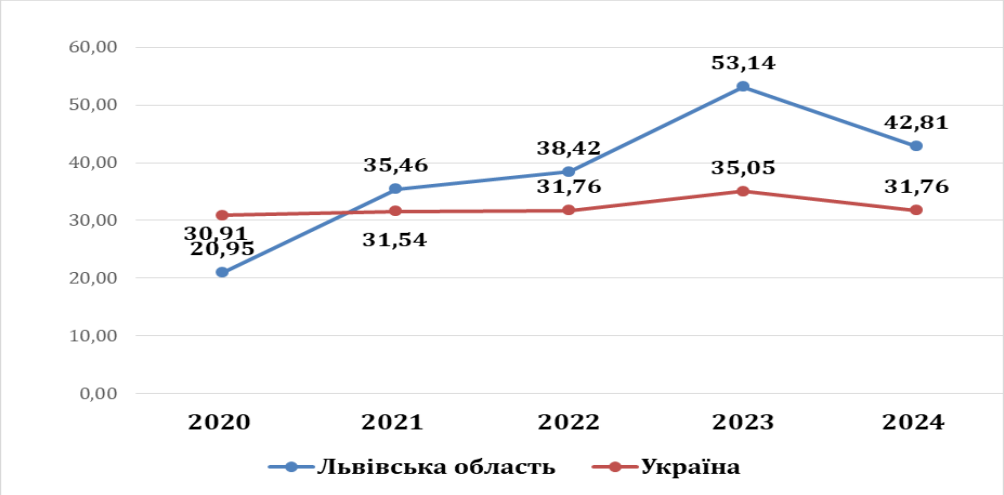


Рисунок 12а. Захворюваність на туберкульоз органів дихання в Львівській області та Україні за 2020 та 2024 рр.

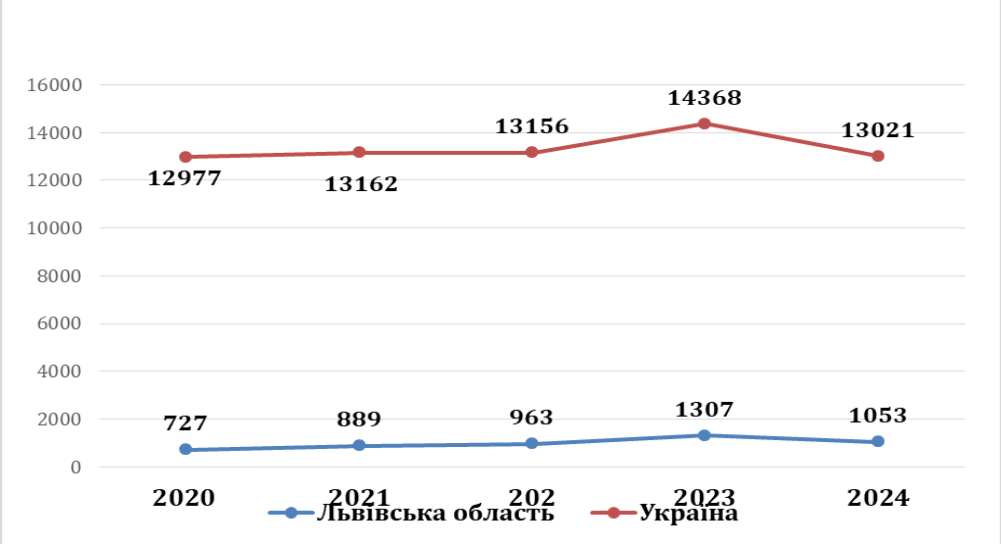


Рисунок 12б. Захворюваність на туберкульоз органів дихання в Львівській області та Україні за 2020 та 2024 рр.

Група гострих кишкових інфекцій

Сальмонельози. За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 7,60 на 100 тисяч населення (187 випадків). Найвищий показник захворюваності на сальмонельози спостерігався у 2022 році (8,98 на 100 тисяч населення) і перевищував показник по Україні (7,71 на 100 тисяч населення). Перевищення середньообласного показника захворюваності сальмонельозами було зареєстровано в 10-ти ОТГ: Стрийській 18 випадків (27,13), Пустомитівській 21 (17,59), Бродівській 9 (15,32), Сколівській 6 (13,45) та ОТГ міст: Трускавця 5 (24,75), Дрогобича 17 (17,89), Стрия 10 (17,03), Шептицького 13 (16,11), Борислава 5 (13,74), Львова 89 (12,64). Спалахів сальмонельозу було зареєстровано 2, постраждало 39 осіб. В біоматеріалі від хворих була виділена Salmonella enteritidis.

Найнижчий показник захворюваності на сальмонельози спостерігався у 2020 році (4,62 на 100 тисяч населення) і був нижчий від показника в Україні (8,95) у 2 рази.

Впродовж 2020-2024 років серед дітей 0-17 років захворюваність на сальмонельози реєструвалася від 50 випадків (10,3 на 100 тисяч населення) у 2020 році до 87 випадків (18,29 на 100 тисяч населення) у 2023 році. Серед вікових груп найбільш ураженою впродовж вказаного періоду була вікова група 1-4 роки, реєструвалося від 22 випадків (19,29) у 2020 році до 32 (35,39) у 2023 році.

Щорічно спостерігається зростання захворюваності у літній період починаючи з травня до вересня.

Найвища захворюваність сальмонельозами впродовж 2020-2024 років спостерігалася серед міського населення – 70,0%. Питома вага сільського населення є значно меншою – 30,0%.

Впродовж 2020-2024 років у Львівській області за етіологічною структурою сальмонельозних інфекцій циркулювали серотипи: Salmonella enteritidis до 80%, Salmonella tiphimurium до 19%, Salmonella paratyphi A та інші до 1%.

У 2023 року зареєстровано 1 випадок паратифу А (0,04 на 100 тисяч населення). В біоматеріалі від хворої була виділена Salmonella paratyphi A. Впродовж аналітичного періоду захворюваність не реєструвалася.

Найбільша кількість носіїв сальмонельозу виявлена у 2023 році - 16, у 15 осіб виділена Salmonella enteritidis – 94%, у 1 особи виділена Salmonella infantis – 6%.

У 2024 році спостерігається зниження рівня захворюваності на 23,98%, зареєстровано 168 випадків (6,83 на 100 тисяч населення) проти 221 випадку (8,82 на 100 тисяч населення) за 2023 рік. Питома вага дітей до 17 років складала 42,26%.

Ймовірними факторами інфікування хворих на сальмонельоз були: домашні кисломолочні продукти, заливні рибні і м'ясні страви, риба копчена, салати заправлені майонезом домашнього приготування з додаванням сирих яєць,

соуси, споживання яєць курячих та перепелиних у сирому вигляді, кремові кондитерські вироби домашнього приготування.

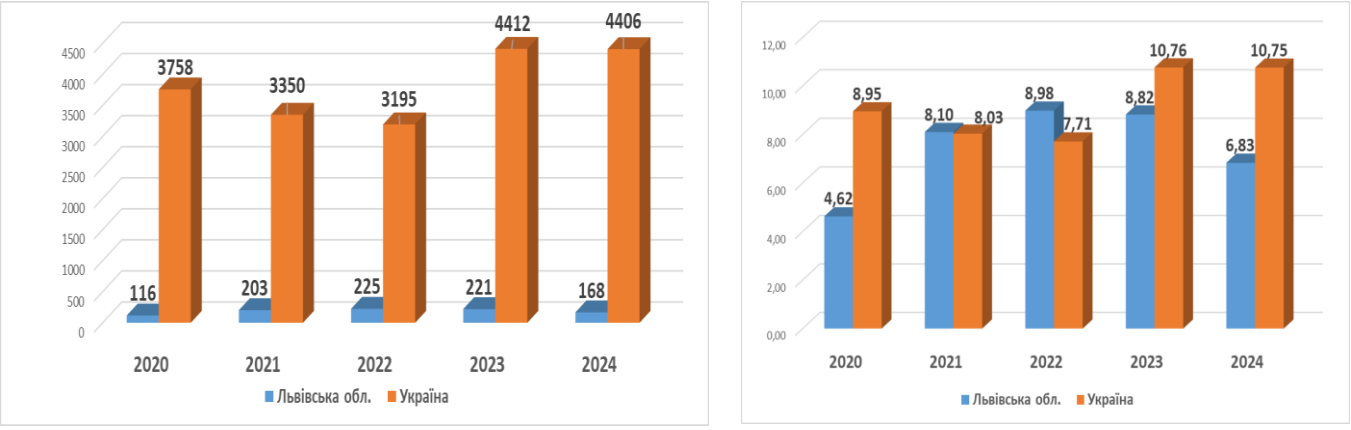


Рисунок 13. Захворюваність на сальмонельози в Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

Шигельози. За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 0,28 на 100 тисяч населення (7 випадків). Захворюваність шигельозами серед населення Львівській області в динаміці реєструвалася на низьких показниках.

Найвищий показник захворюваності на шигельози спостерігався у 2022 році (0,40 на 100 тисяч населення). Захворюваність реєструвалася лише у 3-х ОТГ: Стрийській 6 (9,04), Сколівській 3 випадки (6,73) та ОТГ м.Львова 1 (0,14). Перевищення середньообласного показника відмічалося у Стрийській (9,04) та Сколівській (6,73) ОТГ. Питома вага дітей 0-17 років складала 50%. Найнижчий показник захворюваності на шигельози спостерігався у 2020 році (0,08). Впродовж останніх 2-х років (2023, 2024) захворюваність на шигельози реєструвалася на одному рівні по 8 випадків (0,33 на 100 тисяч населення). У 2024 році зареєстровано 8 випадків, з них 7 шигельозів були підтверджені бактеріологічно: серогрупа B - Shigella flexneri - 57% (4 випадки - серовар 2a), серогрупа D - Shigella sonnei - 43% (3 випадки - серовар 1a).

Ймовірними факторами інфікування були: салати овочеві, молочні продукти, риба та кулінарні вироби домашнього приготування.

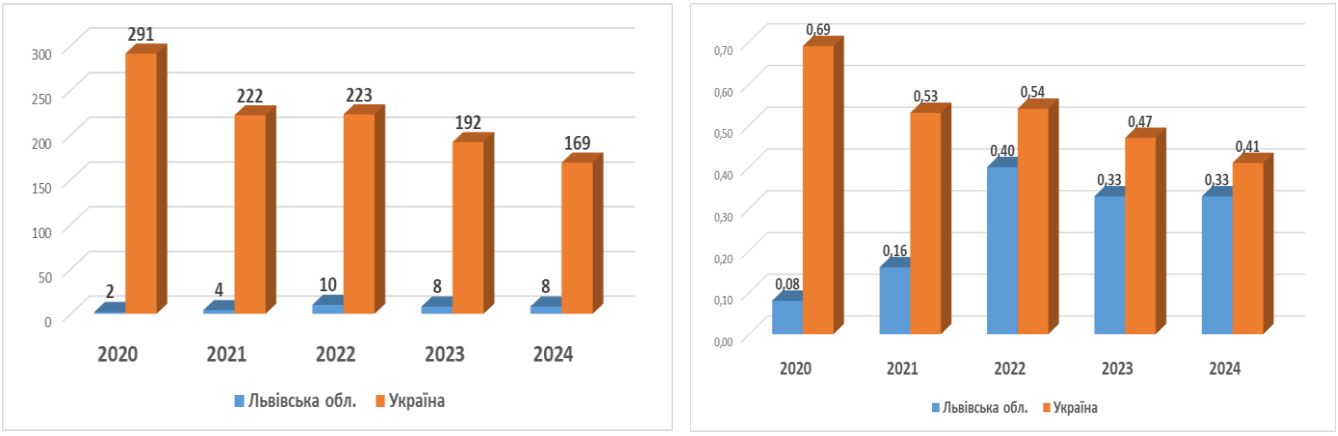


Рисунок 14. Захворюваність на шигельози в Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

Гастроентероколіти встановленої етіології. За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 76,63 на 100 тисяч населення (1885 випадків). Найвищий показник захворюваності на гастроентероколіти встановленої етіології у Львівській області реєструвався у 2022 році – 2940 випадків (117,28 на 100 тисяч населення). Перевищення середньообласного показника в рази відмічалося в ОТГ: Стрийській – 152 (229,10), Дрогобицькій – 153 (205,30), Пустомитівській – 234 випадки (195,96), Буській – 79 (169,75), Сокальській – 133 (144,33), Самбірській – 88 (129,48) та ОТГ міст: Трускавця 151 (747,56), Стрия 149 (253,73), Дрогобича 240 (252,63), Шептицького 173 (214,37), Борислава 75 (206,04), Самбора – 53 (153,49). Найнижчий показник захворюваності у Львівській області реєструвався у 2020 році - 860 випадків (34,25 на 100 тисяч населення). У 2024 році зареєстровано 1989 випадків (80,86) проти 2243 випадків (91,19) у 2023 році, зниження на 11,33%. Перевищення середнього показника у Львівській області в порівнянні з показником в Україні спостерігалося впродовж 2020 - 2024 років. Впродовж аналітичного періоду питома вага дітей 0-17 років складала в середньому 70%. Найбільш ураженою групою серед дітей 0 - 17 років, були діти у віковій групі 1 - 4 роки – 55,0%.

Помісячна захворюваність на гастроентероколіти встановленої етіології зростала у літній період починаючи з травня до вересня щорічно, найвищі показники реєструвалися у літні місяці: червень - серпень.

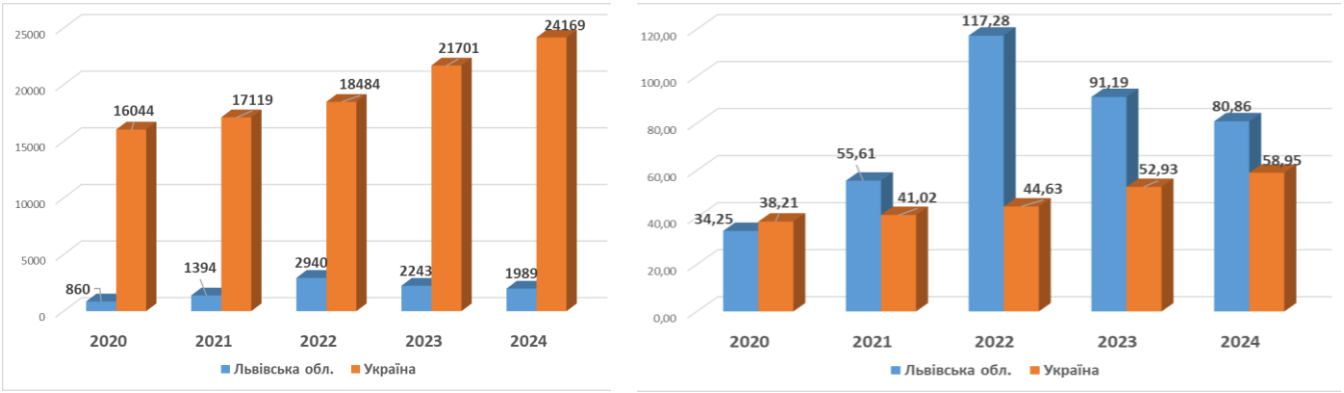


Рисунок 15. Захворюваність на гастроентероколіти встановленої етіології в Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

Гастроентероколіти невстановленої етіології. За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 110,50 на 100 тисяч населення (2718 випадків). Найвищий показник захворюваності на гастроентероколіти невстановленої етіології у Львівській області реєструвався у 2023 році – 3601 випадок (146,40 на 100 тисяч населення). Перевищення середньообласного показника в рази відмічалося в 6 ОТГ: Перемишлянській 123 випадки (318,64 на 100 тисяч населення), Сколівській 89 (199,55), Мостиській 102 (186,14), Пустомитівській 220 (184,24), Городоцькій 125 (181,91) та ОТГ м. Львова 2092 (297,03). Найнижчий показник захворюваності у Львівській області реєструвався у 2020 році - 1444 випадки (57,50 на 100 тисяч населення).

У 2024 році було зареєстровано 3438 випадків (139,77 на 100 тисяч населення) проти 3601 (146,40), зниження на 4,53%. Перевищення середнього показника у Львівській області в порівнянні з показником в Україні спостерігалося впродовж 2020 - 2024 років. Впродовж аналітичного періоду питома вага дітей 0-17 років – 65,0%. Найбільш ураженою групою серед дітей 0 -17 років, були діти у віковій групі 1-4 роки – 45,0%.

Помісячна захворюваність на гастроентероколіти невстановленої етіології була досить високою, щомісячно показники домінували над показниками гастроентероколітів встановленої етіології. Щорічно найвищі показники реєструвалися у літньо-осінній період: червень - серпень та вересень.

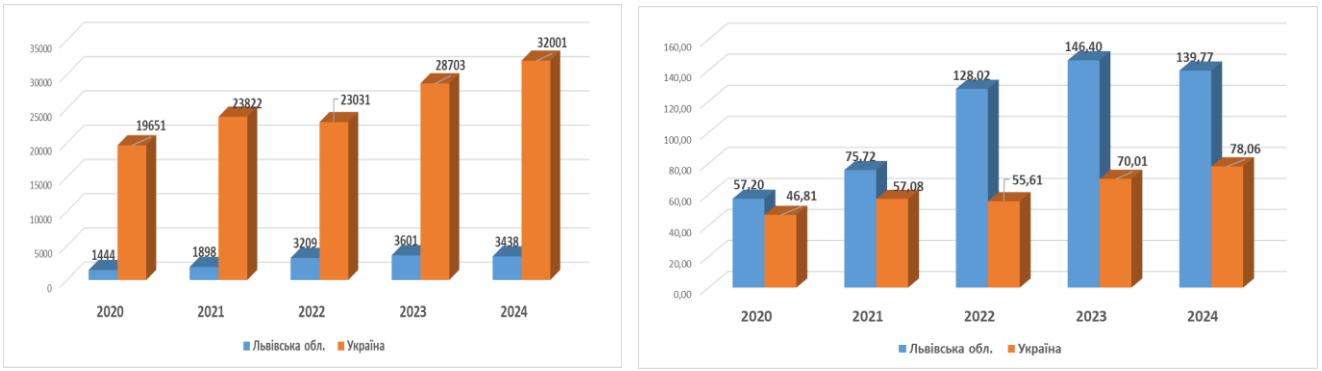


Рисунок 16. Захворюваність на гастроентероколіти невстановленої етіології в Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

Вірусний гепатит А. За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 1,02 на 100 тисяч населення (25 випадків). Захворюваність на вірусний гепатит А серед населення Львівській області в динаміці реєструвалася на низьких показниках. Найвищий показник захворюваності на вірусний гепатит А у Львівській області реєструвався в 2024 році – 35 випадків (1,42

на 100 тисяч населення) проти 24 випадків (0,98 на 100 тисяч населення) за 2023 рік, збільшення захворюваності на 45,8% (на 11 випадків). Питома вага дітей до 17 років складає 25,71% (9 випадків).

Випадки вірусного гепатиту А реєструвалися на території 4-х районів:

Львівський район – 20 випадків (ОТГ м. Львова – 17 випадків, Городоцькій ОТГ- 3),

Шептицький район – 13 випадків (Шептицька ОТГ – 10 (всі із спалаху), Радехівська ОТГ – 2 (1 із спалаху), Сокальська ОТГ-1),

Стрийський район – 1 (Жидачівська ОТГ),

Яворівський район – 1 (Мостиська ОТГ).

Перевищення середньообласного показника (1,42 на 100 тисяч населення) зареєстровано у Шептицькому районі (5,75) за рахунок спалаху та Львівському (1,76).

Найнижчий показник захворюваності у Львівській області реєструвався у 2021 році – 16 випадків (0,64 на 100 тисяч населення).

У 2021 році захворюваність була найнижчою серед всього населення, а діти були найбільш ураженою групою. Питома вага серед дітей 0-17 років складала 37,5%, найбільш ураженою була вікова група 10-14 років.

Починаючи з 2020 року щорічно реєструвалися спорадичні випадки захворювання, за винятком 2024 року, в грудні зросла захворюваність за рахунок спалаху.

Помісячний розподіл захворюваності на вірусний гепатит А значно коливався. У 2024 році захворюваність почала реєструватися з серпня. За період 2020-2024 року переважала осінньо-зимова сезонність.

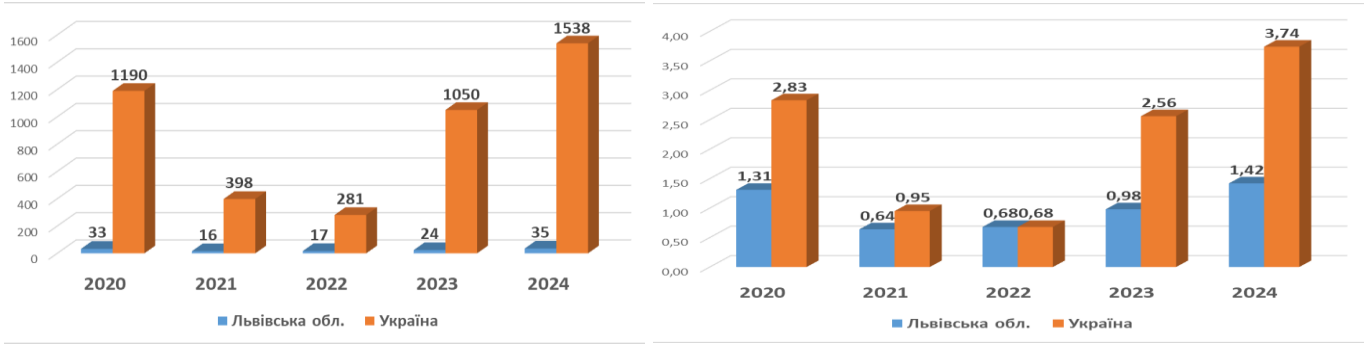


Рисунок 17. Захворюваність на вірусний гепатит А в Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

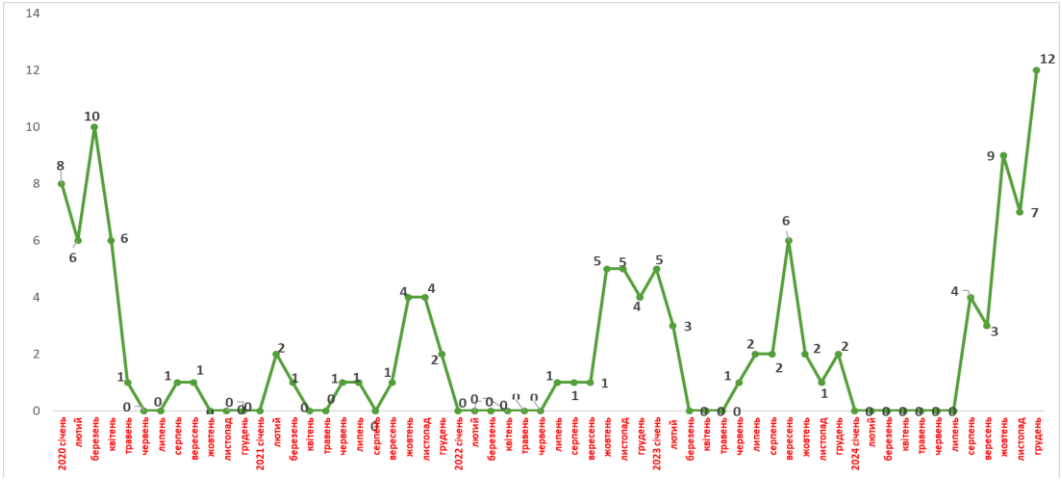


Рисунок 18. Розподіл місячної захворюваності на вірусний гепатит А у Львівській області за 2020-2024 рр.

Група парентеральних інфекцій

Вірусний гепатит В: зареєстрвано 430 випадків вірусного гепатиту В серед невакциновних проти вірусного гепатиту В осіб, з них серед дитячого населення 3 випадки. Середній багаторічний показник захворюваності 3,5. Захворюваність на вірусний гепатит В реєструвалась спорадичними випадками. Впродовж 2020-2024 років зареєстровано перевищення середньодержавного показника, з найвищими показниками у 2023, 2024 роках: Львівська область (4,19 на 100 тисяч населення) при середньодержавному показнику (1,85 на 100 тисяч населення) у 2023 році, Львівська область (5,73 на 100 тисяч населення) при середньодержавному показнику (1,73 на 100 тисяч населення) у 2024 році. У 2020 році зареєстровано зниження захворюваності на 37,86%. Зареєстровано 64 випадки (3,16 на 100 тисяч населення) проти 103 випадків (4,99 на 100 тисяч населення) у 2019 році. Не дивлячись на зниження показників захворюваності в області, реєструється перевищення середньодержавного показника: Львівська область (2,55 на 100 тисяч населення), проти (1,74 на 100 тисяч населення) в Україні. Найнижчі показники захворюваності у Львівській області реєструвались у 2021 році -55 випадків (2,19 на 100 тисяч населення), з перевищенням середньодержавного показника (1,22 на 100 тисяч населення). Найвищі показники захворюваності на вірусний гепатит В Львівській області реєструвалися у 2024 році - 141 випадок (5,73 на 100 тисяч населення) проти 105 випадків (4,27 на 100 тисяч населення) у 2023 році, зареєстровано ріст на 34,29%. Перевищення середньообласного показника (5,73 на 100 тисяч населення) зареєстровано в 2 районах: Яворівському (7,90 на 100 тисяч населення) та Львівському (7,67 на 100 тисяч населення). Для вірусного гепатиту В сезонність не характерна, спорадичні випадки реєструються протягом року. Захворюваність домінувала серед дорослого населення, питома вага захворілих склала 99,3% (427 випадків), питома вага захворілих дітей до 17 років склала 0,7% (3 випадки). Захворюваність у 3 дітей (0,63 на 100 тисяч населення) зареєстровано у 2024 році у Львівському районі в місті Львові. Діти не були вакциновані проти вірусного гепатиту В. За проаналізований період захворюваність переважала серед осіб вікової групи 50 років і старше, питома вага захворілих склала 56%. На другому місці вікова група 25-49 років, питома вага захворілих склала 43,7%. Однаково хворіли особи як чоловічої так і жіночої статі, питома вага захворілих склала 50% як серед жінок так і серед чоловіків. Найвища захворюваність вірусним гепатитом В спостерігалася серед міського населення – 309 випадків, питома вага захворілих склала 72%, менш ураженим є сільське населення – 121 випадок, питома вага склала 28%.

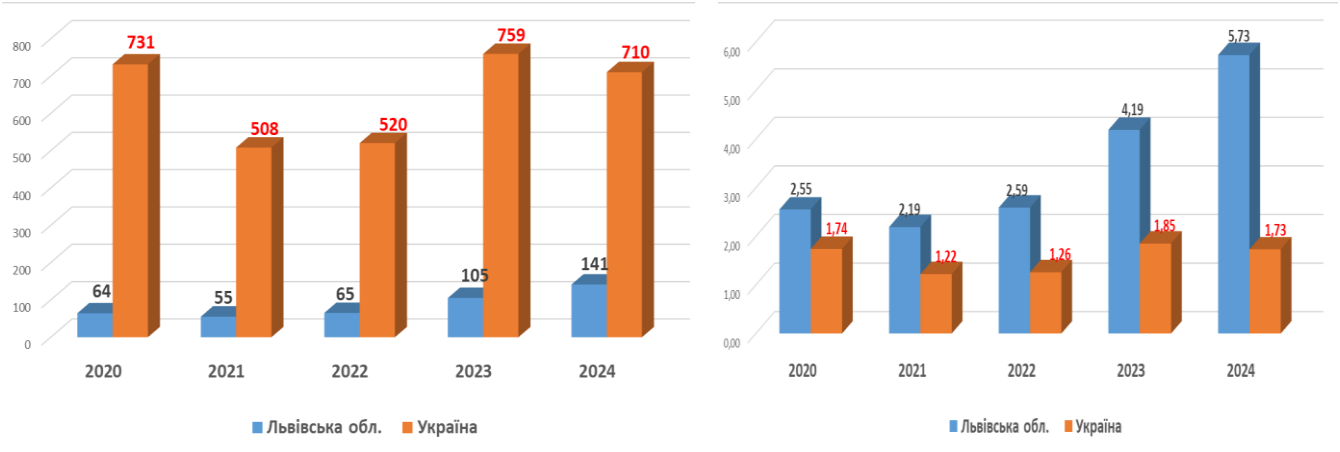


Рисунок 19. Захворюваність на вірусний гепатит В у Львівській області в порівнянні з Україною за 2020 - 2024 рр.

Вірусний гепатит С: зареєстровано 143 випадки вірусного гепатиту С серед дорослого населення області. Середній багаторічний показник захворюваності на вірусний гепатит С за 2020-2024 роки склав 1,12. Захворюваність на вірусний гепатит С реєструвалась спорадичними випадками. Впродовж 2020-2024 років зареєстровано перевищення середньодержавного показника, з найвищими показниками у 2022, 2023, 2024 роках: Львівська область 1,2 у 2022, 2023 при середньодержавному показнику 0,73; 1,07 відповідно. У 2024 році Львівська область 1,18 при середньодержавному показнику 1,04.

Найнижчі показники захворюваності у Львівській області реєструвались у 2020 році - 25 випадків (1,00 на 100 тисяч населення), проте з перевищенням середньодержавного показника (0,68 на 100 тисяч населення). Найвищі показники захворюваності на вірусний гепатит С у Львівській області реєструвалися у 2022 та 2023 роках - 30 випадків (1,2 на 100 тисяч населення). Перевищення середньообласного показника у 2023 році зареєстровано у Львівському районі – 15 випадків (1,32 на 100 тисяч населення), 50% від загальної захворюваності на вірусний гепатит С в області, з найвищими показниками в ОТГ м. Львова – 10 випадків, питома вага захворілих склала 66,7% у Львівському районі. За 2024 рік зареєстровано 29 випадків вірусного гепатиту С (1,18 на 100 тисяч населення) серед дорослого населення проти 30 випадків (1,22 на 100 тисяч населення) серед дорослого населення за 2023 рік. Перевищення середньообласного показника (1,18 на 100 тисяч населення) зареєстровано в 2 районах: Золочівському (1,9 на 100 тисяч населення) та Львівському (1,85 на 100 тисяч населення). Для вірусного гепатиту С сезонність не характерна, спорадичні випадки реєструються протягом року. За проаналізований період захворюваність на вірусний гепатит В переважала серед осіб вікової групи 50 років і старше, питома вага захворілих склала 55,2%. На другому місці вікова група 25 – 49 років, питома вага захворілих склала 37,8%. Захворюваність домінувала серед осіб жіночої статі, питома вага захворілих склала 65%, серед чоловічої статі 35 % захворілих. Найвища захворюваність вірусним гепатитом В спостерігалася серед міського населення –108 випадків, питома вага склала 75,5 %, менш ураженим є сільське населення – 35 випадків, питома вага склала 24,5%.

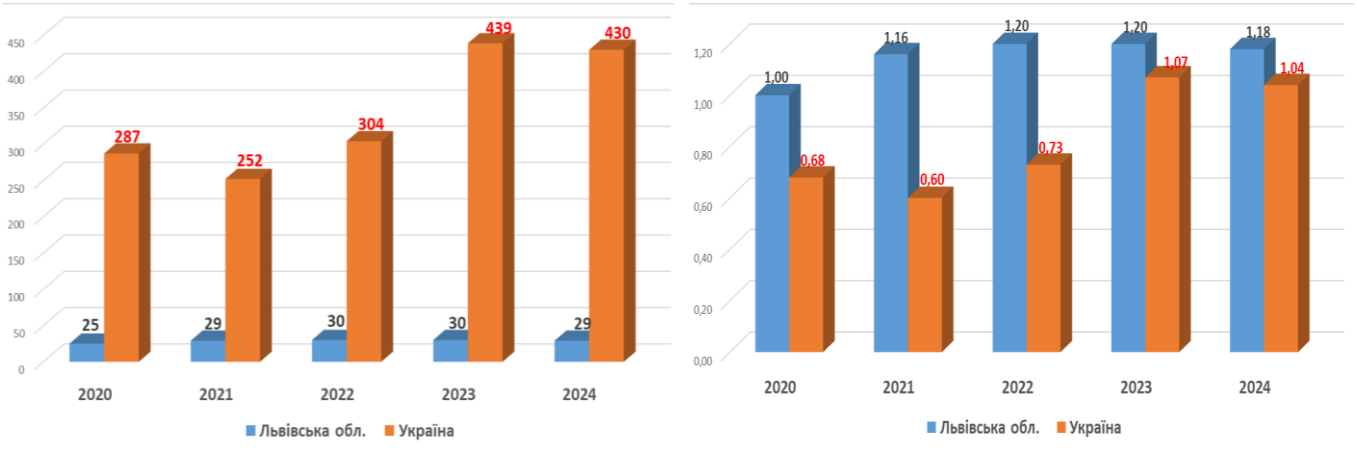


Рисунок 20. Захворюваність на вірусний гепатит С у Львівській області в порівнянні з Україною за 2020 - 2024 рр.

Хронічний вірусний гепатит В: зареєстрвано 380 випадків хронічного вірусного гепатиту В серед дорослих. Середній багаторічний показник захворюваності на хронічний вірусний гепатит В за проаналізований період склав 3,2. Впродовж 2021 та 2023, 2024 років зареєстровано перевищення середньодержавного показника, з найвищими показниками у 2023 році: Львівська область 4,59, при

середньодержавному показнику 3,39 та 2024 році: Львівська область 5,73 при середньодержавному показнику 4,03. У 2020 році зареєстровано зниження захворюваності на 40,84 % порівняно з 2019 роком. Зареєстровано 42 випадки (1,67 на 100 тисяч населення) проти 71 випадка (2,83 на 100 тисяч населення). Найвищі показники захворюваності на хронічний вірусний гепатит В у Львівській області реєструвались у 2024 році - 121 випадок (4,92 на 100 тисяч населення) проти 115 випадків (4,68 на 100 тисяч населення) за 2023 рік, ріст на 5,22%. Найвищий показник захворюваності зареєстровано в Львівському районі – 55 випадків (4,85 на 100 тисяч населення), 45,45% захворілих в Львівській області, з них у місті Львові – 41 випадок (5,93 на 100 тисяч населення) - 74,54% захворілих у Львівському районі. Для хронічного вірусного гепатиту В сезонність не характерна, спорадичні випадки реєструються протягом року. Найвища захворюваність хронічним вірусним гепатитом В спостерігалася серед міського населення –266 випадків, питома вага захворілих склала 70%, менш ураженим є сільське населення – 114 випадки, питома вага склала 30%.

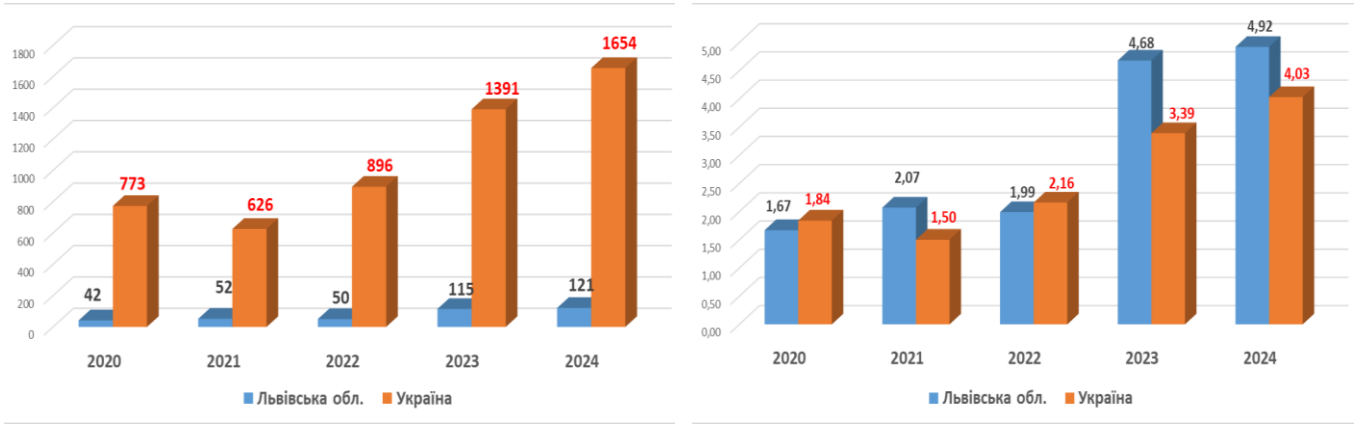


Рисунок 21. Захворюваність на хронічний вірусний гепатит В у Львівській області в порівнянні з Україною за 2020 - 2024 рр.

Хронічний вірусний гепатит С: зареєстрвано 1492 випадки хронічного вірусного гепатиту С, з них 3 випадки серед дітей. Захворюваність переважала серед дорослого населення, питома вага захворілих 99,8% (1489 випадків), серед дітей 0,2% (3випадки). Середній багаторічний показник захворюваності за проаналізований період склав 11,92. Захворюваність реєструвалась спорадичними випадками. Впродовж 2022 та 2023 років зареєстровано перевищення середньодержавного показника, з найвищими показниками у 2023 році: Львівська область 16,12 при середньодержавному показнику 14,99. З 2021 року зареєстровано зниження захворюваності на 10,58%. Зареєстровано 186 випадків (інт.пок. 7,42) проти 208 випадків (інт. пок. 8,28). Найнижчі показники захворюваності у Львівській області реєструвались у 2021 році – 186 випадків (7,42 на 100 тисяч населення).

Найвищі показники захворюваності на хронічний вірусний гепатит В у Львівській області реєструвалися у 2023 та 2024 роках. У 2023 зареєстровано 404 випадки (16,12 на 100 тисяч населення) проти 249 випадків (9,93 на 100 тисяч населення) за аналогічний період минулого року, ріст на 62,25%. Найвищі показники захворюваності зареєстровано у: Львівському районі – 201 випадок (17,71 на 100 тисяч населення), 49,75% захворілих в області, з них, в ОТГ міста Львова – 165 випадків (23,43 на 100 тисяч населення), 82,09% захворілих у Львівському районі. За 2024 рік зареєстровано 445 випадків хронічного гепатиту С (18,09 на 100 тисяч населення) проти 404 випадків (16,42 на 100 тисяч населення), з них 1 випадок у дитини за аналогічний період минулого

року, ріст на 10,15%. Найвищий показник реєструється у Львівському районі - 232 випадки (20,45 на 100 тисяч населення), 52,13% захворілих в Львівській області, з них у м. Львові - 187 випадків (27,03 на 100 тисяч населення). Найвища захворюваність хронічним вірусним гепатитом В спостерігалася серед міського населення –1183 випадки, питома вага захворілих склала 79,3 %, менш ураженим є сільське населення – 309 випадків, питома вага склала 20,7%. Для хронічного вірусного гепатиту В сезонність не характерна, спорадичні випадки реєструються протягом року.

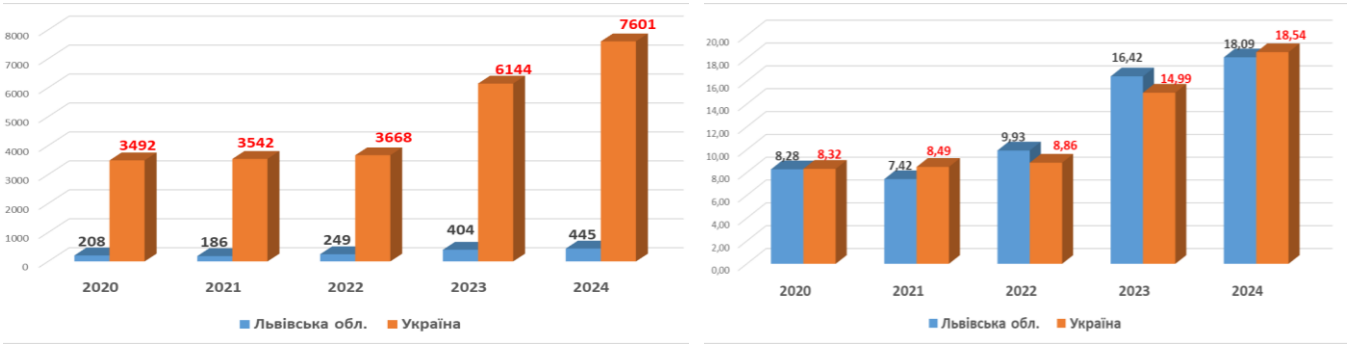


Рисунок 22. Захворюваність на хронічний вірусний гепатит С у Львівській області в порівнянні з Україною за 2020 - 2024 рр.

Ентеровірусна інфекція

Ентеровірусна інфекція: за період 2020-2024 роки зареєстрвано 2375 випадків ентеровірусної інфекції, з них серед дітей 1937 випадків, питома вага захворілих дітей склала 81,6%, дорослих 18,4%. Середній багаторічний показник захворюваності склав 19. Найнижчі показники захворюваності у Львівській області реєструвались у 2020 році – 248 випадків (9,89 на 100 тисяч населення), з них серед дітей 205 випадків (42,2 на 100 тисяч населення). Найвищі показники захворюваності на ентеровірусну інфекцію реєструвалися у 2023 році - 715 випадків (28,52 на 100 тисяч населення), з них 580 випадків серед дітей (81,12% захворілих), проти 485 випадків (19,35 на 100 тисяч населення), з них 398 серед дітей (82,06% захворілих) у 2022 році. У 2023 році найвищі показники зареєстровано у Львівському районі, а саме у місті Львові 587 випадків (83,34 на 100 тисяч населення), з них 473 випадки серед дітей (питома вага захворілих дітей 80,58%), проти 376 випадків (53,39 на 100 тисяч населення), з них 307 серед дітей (81,65%) за 2022 рік. Захворюваність домінувала серед міського населення області - 587 випадків (82% захворілих в області), серед сільського населення – 128 випадків (18% захворілих в області). Захворюваність домінувала серед осіб чоловічої статі – 487 випадків (68,2%), серед осіб жіночої статі – 228 випадків (31,8%). Групою ризику серед дитячого населення є вікова група 14 років - зареєстровано 260 випадків. Зниження захворюваності на 29,80% (на 213 випадків) зареєстровано у 2024 році. Зареєстровано 502 випадки (20,41 на 100 тисяч населення), з них 367 випадків серед дітей (питома вага захворілих 73,11%), проти 715 випадків (29,07 на 100 тисяч населення), з них 580 серед дітей (81,12%), з найвищими показниками в Львівському районі, а саме у місті Львові: 425 випадків (61,44 на 100 тисяч населення), з них 296 серед дітей (69,65%) проти 587 випадків (84,9 на 100 тисяч населення), з них 473 випадків серед дітей (80,58%) за 2023 рік. Захворюваність була вищою серед міського населення області - 425 випадків, (84,7% захворілих в області), серед сільського населення – 77 випадків, (15,3 % захворілих в області). Для ентеровірусної інфекції характерна літньо – осіння сезонність, з підйомом захворюваності у літні місяці року.

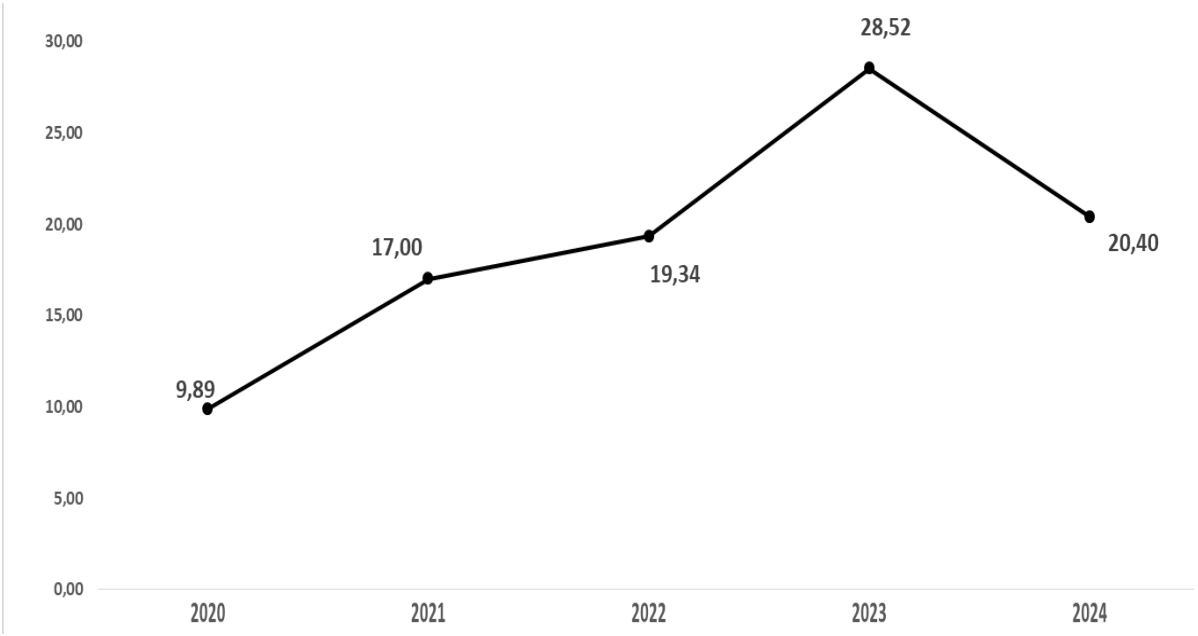


Рисунок 23. Захворюваність на ентеровірусну інфекцію у Львівській області за 2020 - 2024 рр. (на 100 тисяч населення)

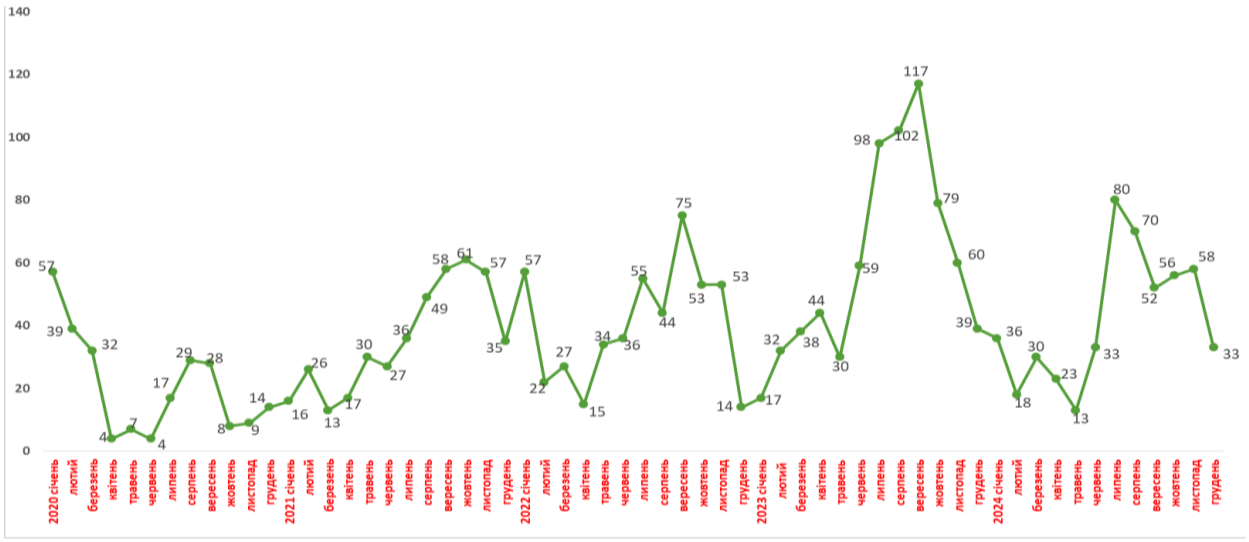


Рисунок 24. Помісячний розподіл захворюваності на ентеровірусну інфекцію у Львівській області за 2020 - 2024 рр. (на 100 тисяч населення)

Вірусний менінгіт: зареєстрвано 31 випадок вірусного менінгіту, з них серед дітей 28 випадків, питома вага захворілих склала 90,32%, серед дорослого населення 9,68%. Середній багаторічний показник захворюваності склав 0,24. Захворюваність реєструвалась спорадичними випадками. Найнижчі показники захворюваності у Львівській області реєструвались у 2021 році - 1 випадок (0,04 на 100 тисяч населення). Найвищі показники реєструвалися у 2023, 2024 роках -12 випадків (0,49 на 100 тисяч населення), з перевищенням середньодержавного показника (0,2 на 100 тисяч наелення). Для вірусного менінгіту характерна літньо - осіння сезонність з максимумом захворювань у жовтні - листопаді, що пов'язано зі сприятливими умовами для активізації механізмів передачі збудника. Найвища захворюваність - серед міського населення – 76,6% (23 випадки), менш ураженим є сільське населення – 23,4% (7 випадків).

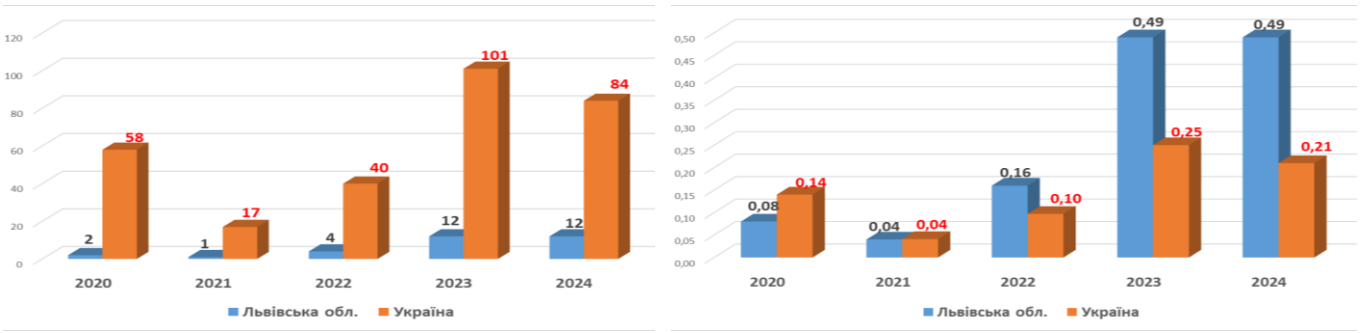


Рисунок 25. Захворюваність на вірусний менінгіт у Львівській області в порівнянні з Україною за 2020 - 2024 рр.

Група інфекцій з контактним механізмом передачі

Хвороба Лайма: впродовж 2020-2024 років захворюваність на хворобу Лайма у Львівській область мала тенденцію до поступового зростання. У 2024 році показник захворюваності становив 17,60 на 100 тисяч населення проти 6,73 на 100 тисяч населення у 2020 році - ріст в 2,62 рази (на 264 випадки). Найвищий показник захворюваності за 5 років був зареєстрований у 2024 році, що відповідає тенденції до зростання.

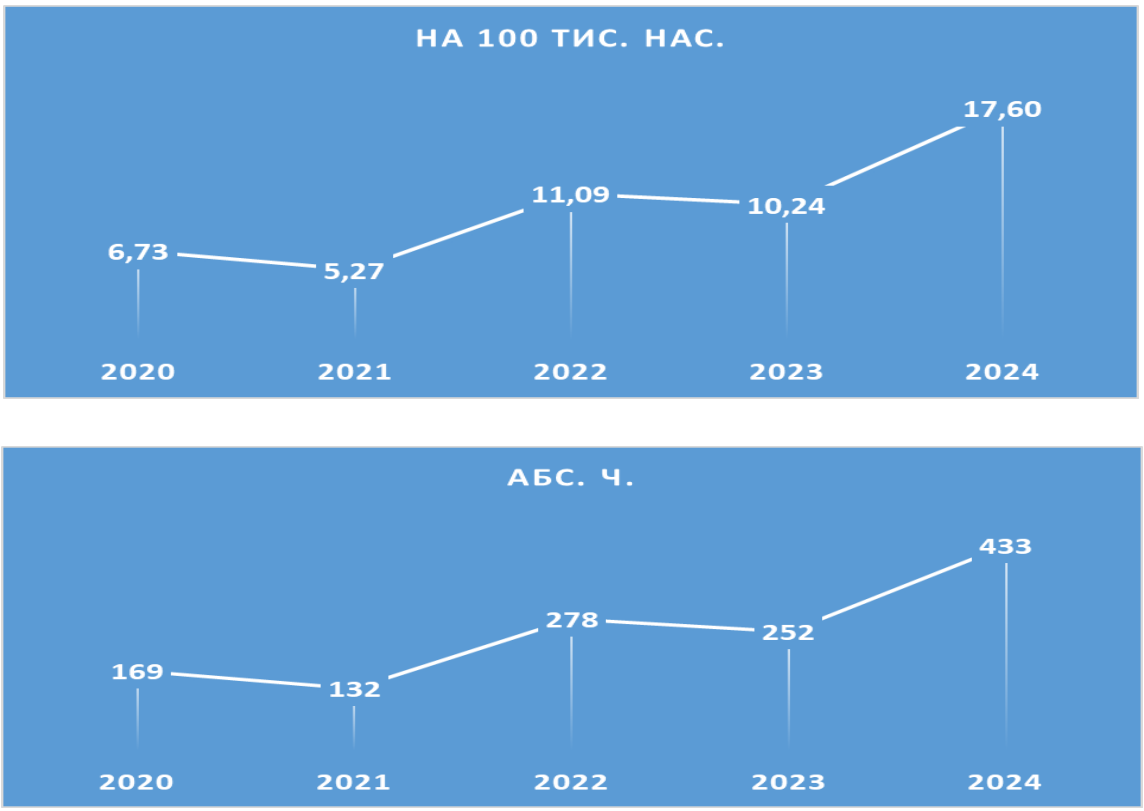


Рисунок 26. Захворюваність на хворобу Лайма у 2020-2024 рр.

В порівнянні з показниками по Україні захворюваність на хворобу Лайма у Львівській області була більшою у 2020 році (на 2,91%), у 2022 році (на 18,48%) та у 2024 році (на 32,38%). У 2021 та 2023 роках захворюваність в області реєструвалась нижче загальнодержавної на 9,91% та 14,52% відповідно. Середній показник захворюваності у Львівській області за 5 років становить 10,19 на 100 тисяч населення проти 9,40 по Україні, що на 8,4% менше.

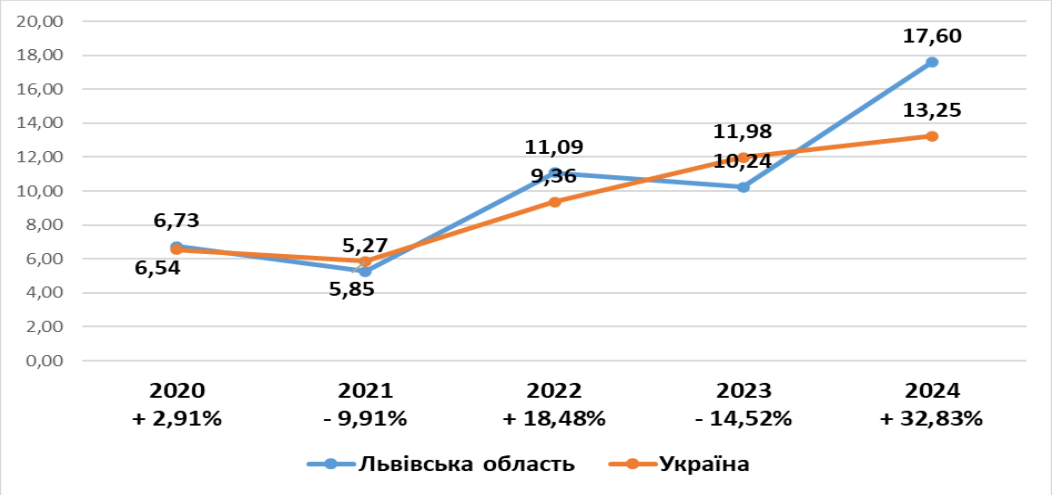


Рисунок 27. Захворюваність на хворобу Лайма у 2020-2024 рр. в порівнянні з державними рівнями

Лептоспіроз:

За 2020-2024 роки в Львівській області середній показник захворюваності становив 0,84 на 100 тисяч населення (21 випадок). Найвищий показник було зареєстровано у 2022 році – 1,24 на 100 тисяч населення, а найнижчий у 2020 – 0,20 на 100 тисяч населення. Перевищення середнього показника спостерігалось у 2022, 2023 та 2024 роках на 47,6%, 35,7% та 45,2% відповідно (рис.).

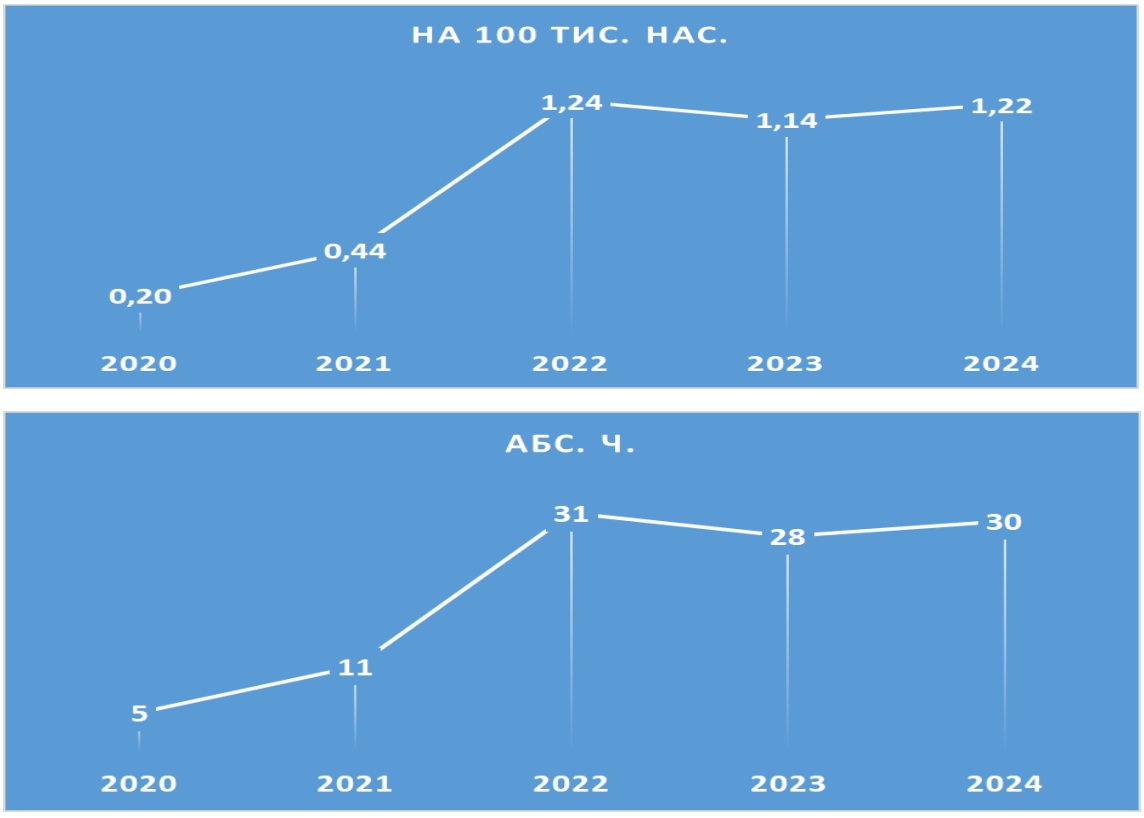


Рисунок 28. Захворюваність на лептоспіроз в Львівській області за 2020-2024 рр.

Перевищення середньодержавного рівня спостерігалось з 2021 по 2024 рік з найвищим показником у 2022 році (у 3,6 р.) (рис.).

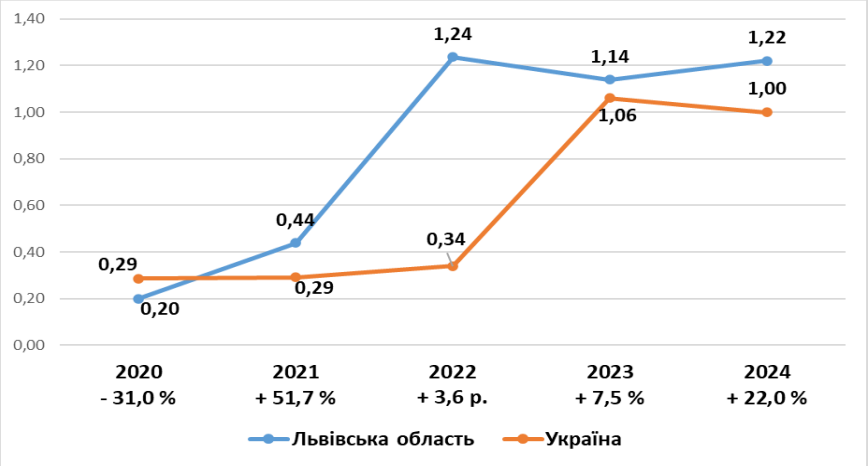


Рисунок 29. Захворюваність на лептоспіроз у Львівській області в порівнянні з Україною за 2020-2024 рр.

Група паразитарних хвороб

За 2020-2024 роки в Львівський області середній показник захворюваності гельмінтозами становив 136,0 на 100 тисяч населення (3385 випадків). Перевищення середньообласного показника у 2023 році - 163 на 100 тисяч населення (4001 випадок). Найнижчі показники у 2024 році - 3050 вип. (123,99 на 100 тисяч населення)

Спостерігається зниження захворюваності на 23,77 % (на 951 випадок).

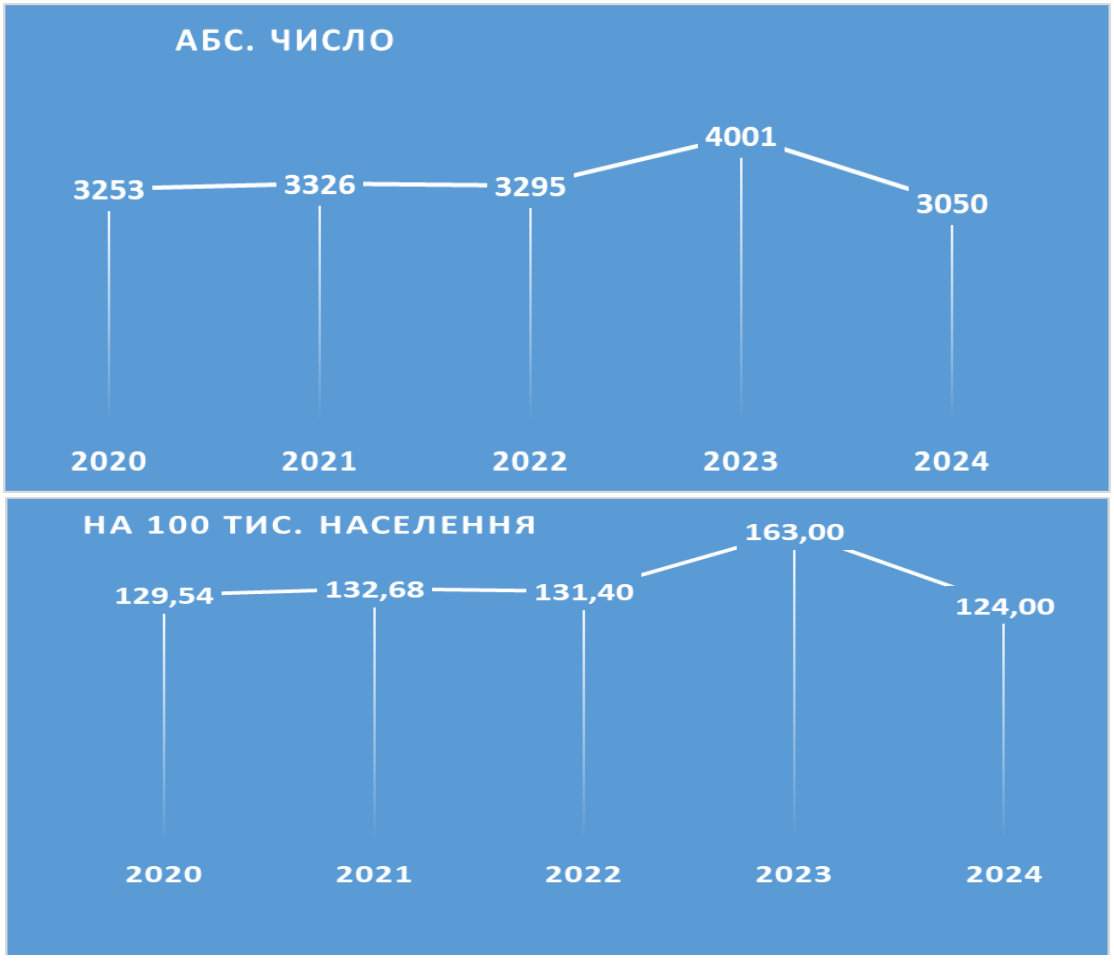


Рисунок 30. Загальна захворюваність на гельмінтози в Львівській області за 2020-2024 рр.

Аналізуючи показники ураженості аскаридозом населення Львівської області за період **2020 -2024р.р.,** слід відмітити, що **найвищі показники** реєструвались **у 2023р.,** а саме 3290 вип. (133,75 на 100 тисяч населення), у т. ч. 2202 вип. серед дитячого населення (463,02 на 100 тисяч населення), проти **найнижчого** показника ураженості населення **у 2024р**.- 2490 вип. (101,23 на 100 тисяч населення), у т. ч. серед дитячого населення 1772 вип. (372,6 на 100 тисяч населення). Спостерігається **зниження** захворюваності на 800 вип. (на 24,32%) . **Найвища захворюваність аскаридозом** припадає на вікову категорію 5-9 років.

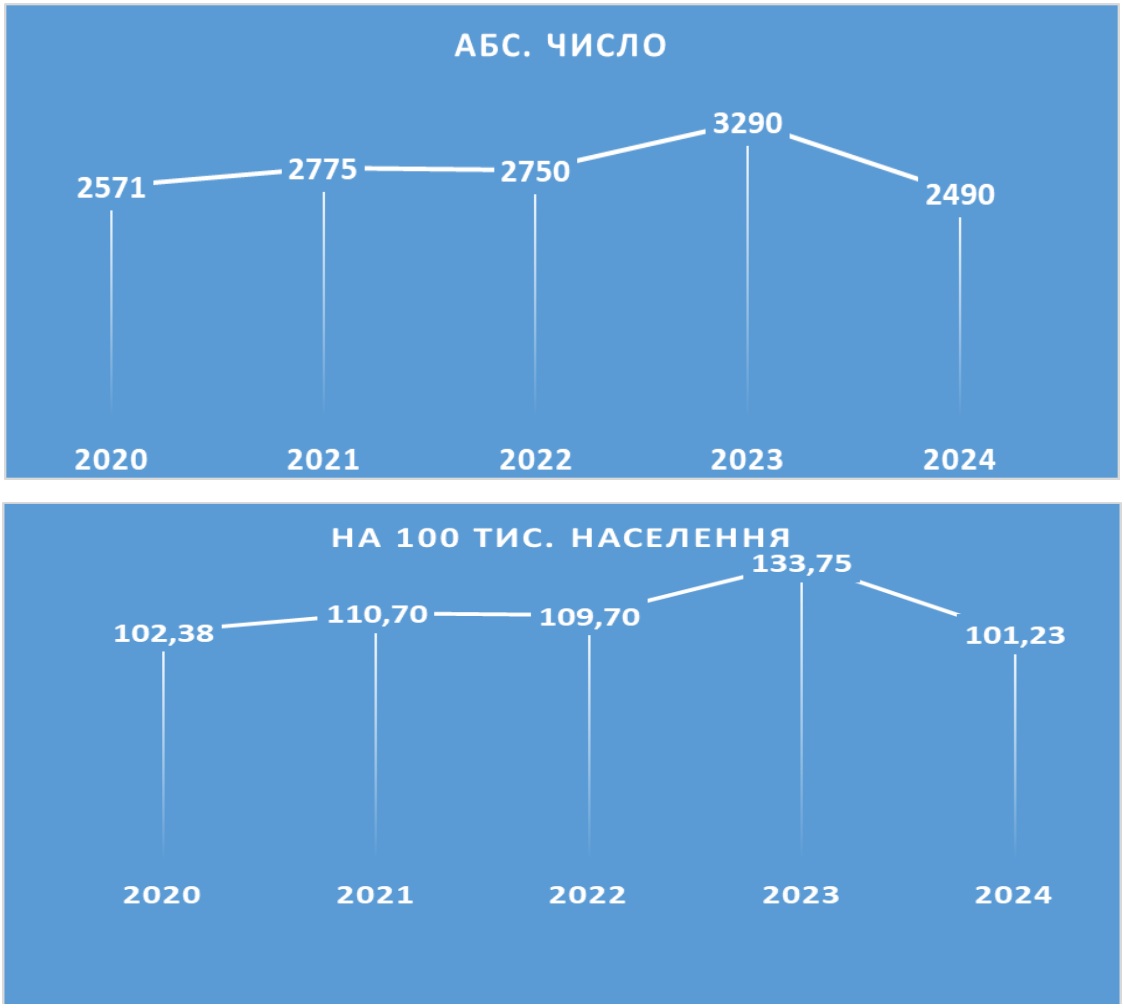


Рисунок 31. Захворюваність на аскаридоз в Львівській області за 2020-2024 рр.

У 2023 році **найвища** захворюваність на аскаридоз серед дитячого населення становила **2202** вип. (463,02 на 100 тисяч населення) проти **найнижчого** показника у 2020 році - **1666** вип. (343,25 на 100 тисяч населення). Спостерігається зростання захворюваності на 536 вип. (на 32,17%).

Найнижчі показники ураженості дитячого населення серед дітей до 1 року.

У розрізі районів найвища захворюваність вищевказаним гельмінтозом реєструвалась у 2020 - 2024 р. у наступних районах: Самбірському та Дрогобицькому проти найнижчих показників ураженості населення аскаридозом у Стрийському районі. Причиною високих показників захворюваності на аскаридоз у сільській місцевості ймовірно являється заняття населення землеробством та городництвом. Значне зниження захворюваності ймовірно пов'язане із відсутністю проведення щорічних планових лабораторних обстежень організованого дитячого населення на гельмінтози, недотриманням правил особистої гігієни.

Найвища захворюваність населення **ентеробіозом** реєструвалась у 2023 році. Всього було зареєстровано 590 вип.(23,99 на 100 тисяч населення) у т. ч. 489 вип. серед дітей (102,82 на 100 тисяч населення) проти найнижчого показника у 2024 році, який складав 479 вип. серед населення (19,47 на 100 тисяч населення), в т. ч. серед дитячого населення 407 вип. (85,58 на 100 тисяч населення). Спостерігається тенденція **зниження** захворюваності на 111вип. (на 18,81%). Серед вікової категорії слід відмітити найвищі показники ураженості ентеробіозом серед дітей дошкільного та шкільного віку.

Найвищі показники ураженості ентеробіозом населення області реєструвались у наступних районах: Львівському, Золочівському, Стрийському, Самбірському, Яворівському, Шептицькому.

Сезонності немає. Висока захворюваність серед організованого контингенту пов'язана із високою контагіозністю вищевказаної нозології.

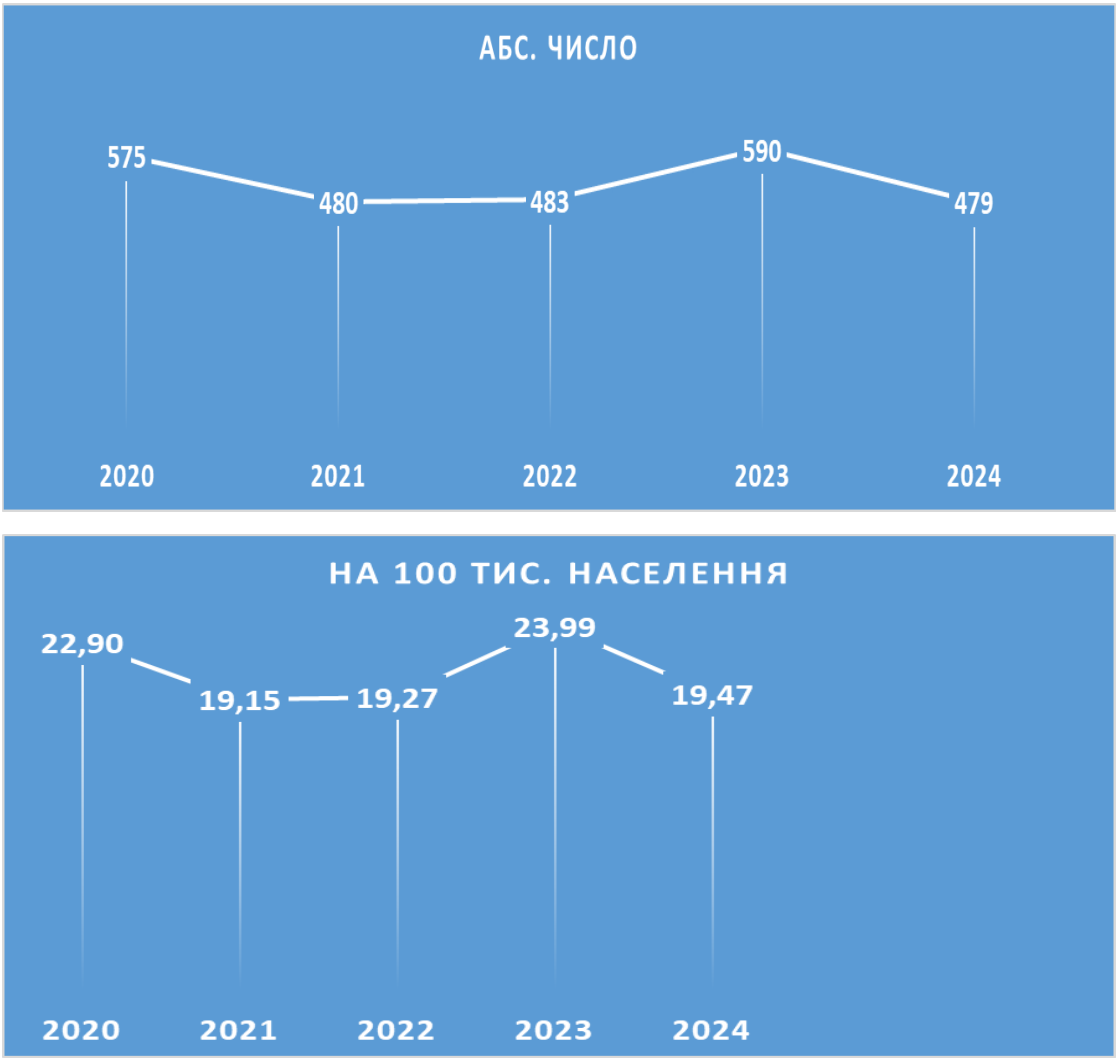


Рисунок 32. Захворюваність на ентеробіоз в Львівській області за 2020-2024 рр.

Аналізуючи показники ураженості населення трихоцефальозом, слід відмітити, що найвищі показники захворюваності реєструвались у 2020 р.- 60 вип. (2,39 на 100 тисяч населення), у тому числі 16 вип. серед дітей до 17 років (3,30 на 100 тисяч населення) проти найнижчого показника ураженості населення трихоцефальозом у 2023 р.- 27 вип., у т. ч. 16 вип. серед дітей до 17 років (3,36 на 100 тисяч населення).

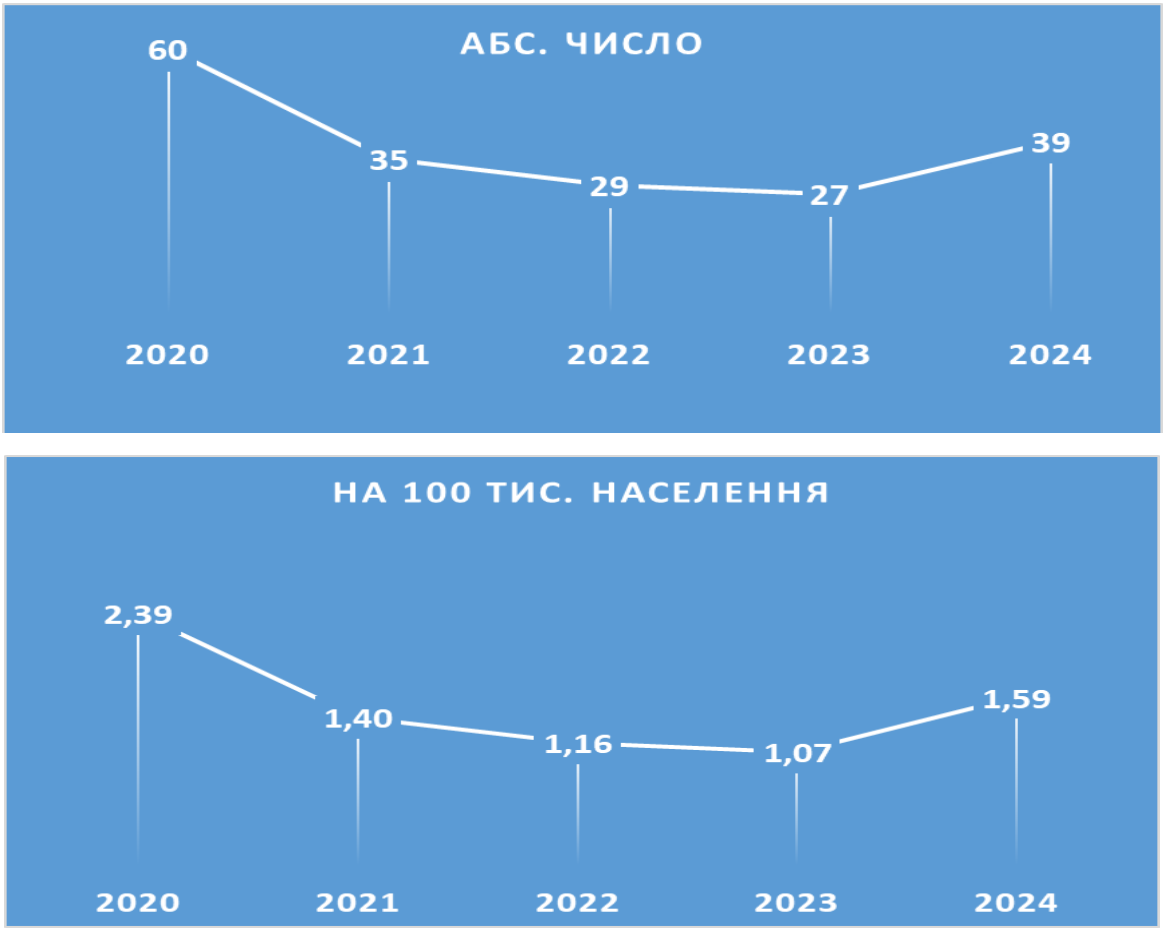


Рисунок 33. Захворюваність на трихоцефальоз в Львівській області за 2020-2024 рр.

Серед організованого контингенту найвища ураженість трихоцефальозом припадає на категорію школярів. Ймовірно це пов'язано з недостатнім рівнем знань щодо дотримання правил особистої гігієни. Найвищі показники ураженості трихоцефальозом населення області реєструвались у наступних районах: Золочівському, Самбірському. Інтенсивні показники захворюваності у вищевказаних районах перевищують показник по Львівській області.

Захворюваність населення на лямбліоз має тенденцію зниження. У 2023 році серед населення області був **найвищий** показник- 82 вип.(3,33 на 100 тисяч населення), у т. ч. 44 вип. серед дитячого населення (9,25 на 100 тис. населення) проти найнижчого показника у 2022 році, який складав 28 випадків (1,12 на 100 тисяч населення), у т. ч. 16 вип. серед дитячого населення (3,3 на 100 тисяч населення) та у 2024 році – також 28 випадків лямбліозу (1,14 на 100тисяч населення), у т. ч. 15 випадків серед дитячого населення (3,15 на 100 тисяч населення). Спостерігається зниження захворюваності на 54 вип. (на 65,85%).

Найвища захворюваність на лямбліоз спостерігається у дітей шкільного віку, відповідно до вікової категорії 5-9, 10-14 років. Це пов'язано із високою контагіозністю лямбліозу, а також із недостатнім рівнем дотримання дітьми правил особистої гігієни. Сезонності не прослідковується. Упродовж 2020-2024р.р. захворюваність спостерігається щомісячно.

По Україні найвищий показник захворюваності на лямбліоз реєструвався у 2020 році – 4496 вип. (10,71 на 100 тисяч населення) проти найнижчого у 2024 році – 3252 вип. (7,93 на 100 тисяч населення).Спостерігається зниження на 27,67% (зниження на 1244 випадки). Захворюваність на лямбліоз в Львівській області та по Україні наведено у рис…..

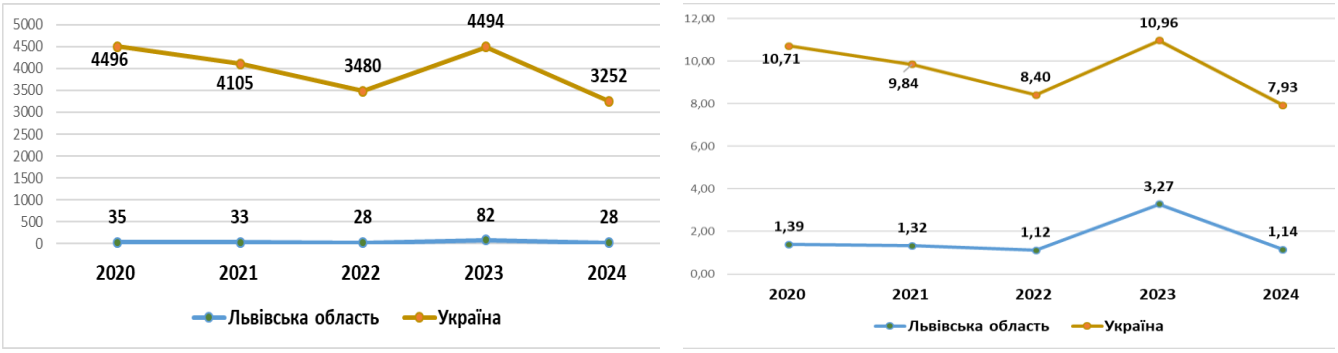


Рисунок 34. Захворюваність на лямбліоз в Львівській області та по Україні за 2020-2024 рр.

У 2020р.р зареєстровано один випадок захворювання на малярію (0,04 на 100 тисяч населення) у дорослого. З 2021 – 2024 р. р. випадків захворювання на малярію не зареєстровано.

Слід відмітити що найвищі показники захворюваності по Україні реєструвались у 2022 та 2023 р. р. – по 10 випадків (0,02 на 100 тисяч населення).

В Україні та в області реєструються лише завізні випадки малярії. Останнім часом через політичну та економічну ситуацію, через військові конфлікти та велику міграцію населення, ситуація з захворювання на малярію залишається напруженою.

У 2020 - 2024 роках по області реєструвались поодинокі випадки ехінококозу серед дорослого та дитячого населення. Найвищі показники реєструвались у 2020 та 2023 роках (по 5 випадків), інтенсивний показник - 0,19 на 100 тисяч населення. Поодинокі випадки реєструвались у 2021, 2022 та 2024 роках - по 2 випадки, відповідно 0,26, 0,07 та 0,08 на 100 тисяч населення. Захворюваність на ехінококоз представлено на рис……

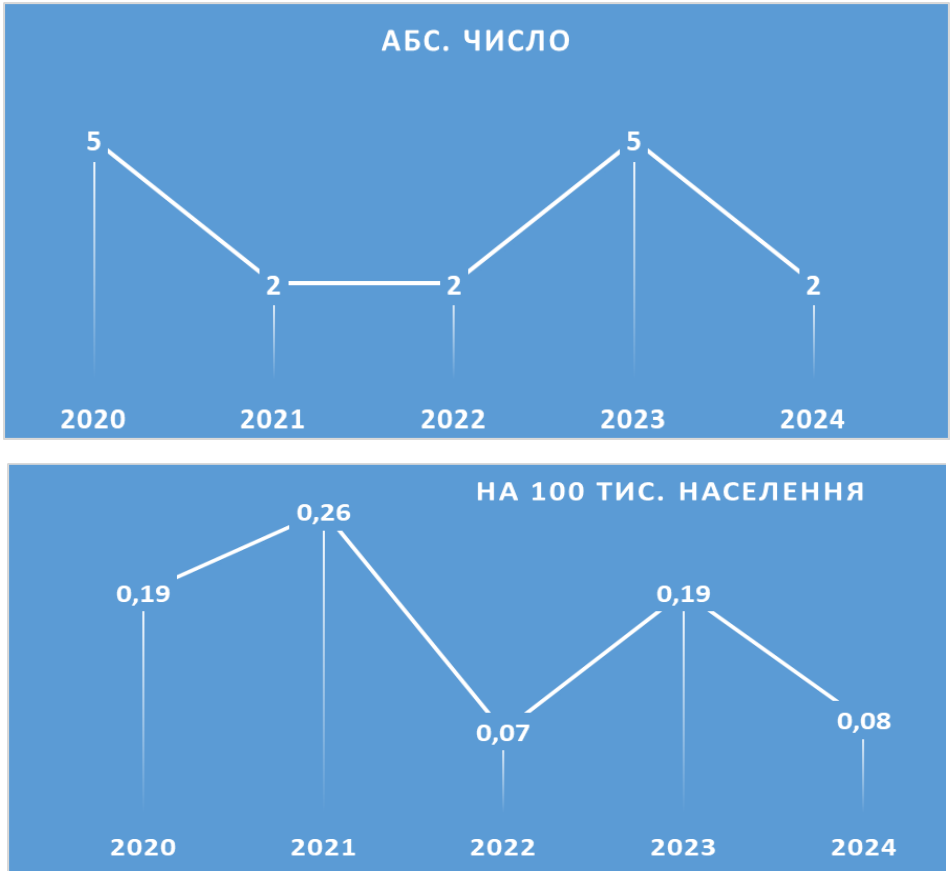


Рисунок 35. Захворюваність на ехінококоз в Львівській області за 2020-2024 рр.

Захворюваність на дирофіляріоз реєструвалась впродовж 2020 - 2024 років, крім 2021 року. Найвищий показник у 2024 році - 4 вип. (0,16 на 100 тисяч населення). У 2020 та 2022 роках по 2 випадки (0,07 на 100 тисяч населення) та у 2023 році - 3 вип. (0,11 на 100 тисяч населення).

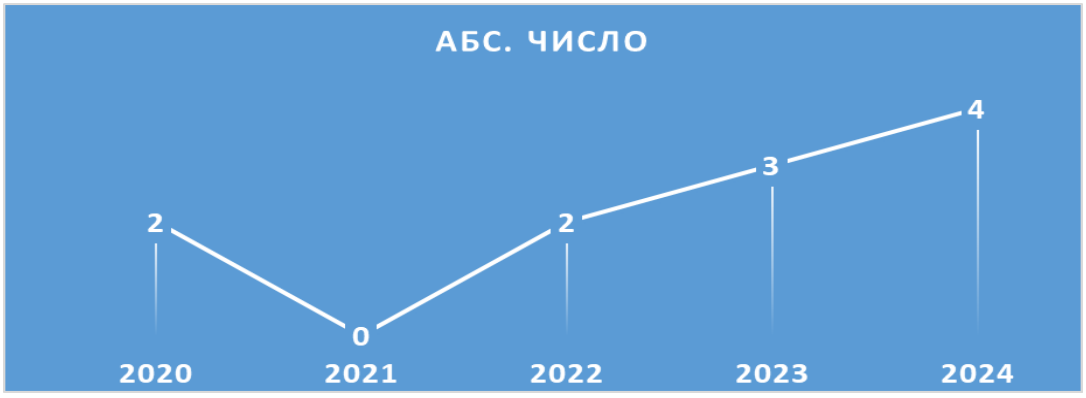


Рисунок 36. Захворюваність на дирофіляріоз в Львівській області за 2020-2024 рр.

Захворюваність на токсокароз має тенденцію зростання. Найвищий показник реєструвався у 2024 році - 8 вип. (0,33 на 100 тисяч населення) проти найнижчих показників у 2021, 2022 роках - по 1 випадку (0,03 на 100 тисяч населення).

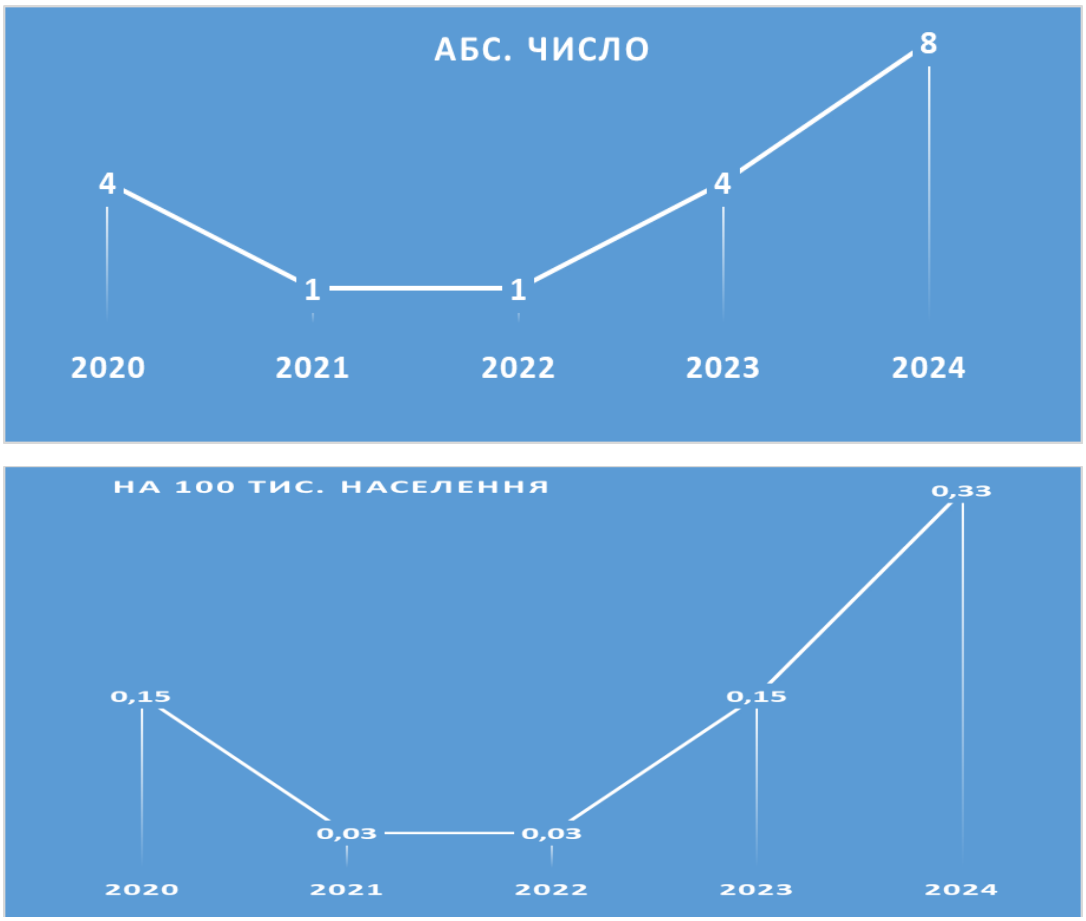


Рисунок 37. Захворюваність на токсокароз в Львівській області за 2020-2024 рр.

Враховуючи викладене, епідситуація у Львівській області є нестійкою. Існують передумови до виникнення та поширення спалахів інфекційних хвороб.

КЛІНІКО-ЛАБОРАТОРНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕРИТЕМНИХ І БЕЗЕРИТЕМНИХ ФОРМ ЛАЙМ-БОРЕЛІОЗУ У ДІТЕЙ

CLINICAL AND LABORATORY FEATURES OF ERYTHEMATOUS AND NON-ERYTHEMATOUS FORMS OF LYME BORRELIOSIS IN CHILDREN

Галина Литвин, доцент, к.м.н., позаштатний експерт з дитячих інфекційних хвороб ДОЗ ЛОДА, ДНП "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького", кафедра дитячих інфекційних хвороб, e-mail: golytvyn2012@gmai.com, ORCID: 0000-0002-6902-1024.

Нателла Баса, педіатр PhD, MD, Медичний центр "Веселка", e-mail: natella.apfel@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2117-0151

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.08

Анотація. Хвороба Лайма – одна з найпоширеніших трансмісивних інфекцій, яка характеризується значною різноманітністю симптомів та проявів. Спричинюється спірохетами комплексу Borrelia burgdorferi sensu lato (Bbsl), переносниками яких є іксодові кліщі. У складі комплексу B. burgdorferi sensu lato описано 18 різних видів боррелій, але на сьогоднішній день лише B. burgdorferi sensu stricto, B. garinii та B. afzelii добре відомі як такі, що спричиняють захворювання у людей. Захворювання характеризується переважним ураженням шкіри, опорно-рухового апарату, серця та нервової системи. За даними Центрів з контролю та профілактики захворювань хвороба Лайма була і продовжує залишатися хворобою, яка стрімко розвивається. За рівнем захворюваності і поширеності, важкістю клінічних проявів, частим переходом до рецидивного і затяжного перебігу Лайм-бореліоз (ЛБ) є однією з найбільш актуальних проблем сучасної інфекційної патології Північної Америки, Азії і багатьох країн Європи. В останнє десятиріччя захворюваність на ЛБ невпинно зростає як в європейському регіоні в цілому, так і в Україні зокрема, тому ця ендемічна зоонозна хвороба стала предметом пильної уваги дослідників. Мета роботи: удосконалити діагностику та прогнозування перебігу хвороби, на підставі вивчення клінічних проявів та результатів лабораторних досліджень у дітей з Лайм-бореліозом. За допомогою лінійного імуноблотаналізу ми встановили етіологію захворювання у дітей з ЕФ та БЕФ ЛБ. У 38 пацієнтів (59,38%) з ІМЕ та у 14 дітей (87,5%) з ММЕ, Лайм-бореліоз був спричинений поєднанням трьох видів борелій (B.afzelii, B.burgdorferi, B.garinii). Поєднання двох видів борелій, B.afzelii та B.burgdorferi, виявлено у 17,19% дітей з ІМЕ. B.garinii була найчастішою причиною ІМЕ у пацієнтів, в яких ЛБ спричинений одним видом борелій (6,25 %). Поєднання двох видів борелій, B.afzelii та B. garinii, було причиною ММЕ у 12,5% дітей. У дітей з БЕФ ЛБ, поєднання трьох видів борелій стало причиною захворювання у 10 осіб (45,45%); поєднання B.afzelii та B.burgdorferi зустрічалося у чотирьох борелій. Лайм-артрит у дітей частіше розвивався внаслідок інфікування поєднанням борелій: B.burgdorferi, B.afzelii, B.garinii. Причинами інших артритів були аутоімунні, інфекційні та травматичні чинники. Маркери запального процесу (СРП й ІЛ-6) були вищими у пацієнтів з Лайм-артритом у порівнянні з дітьми з артритами іншої етіології. Враховуючи результати досліджень на підставі використання математично-статистичних розрахунків, створено модель логістичної регресії, яка дає можливість передбачити розвиток дисемінованих безеритемних форм Лайм-бореліозу: Лайм-артриту та паралічу лицевого нерва.

Ключові слова: Лайм-бореліоз, інфекція, діти, імуноблот, імуноферментний аналіз, Лайм-артрит, Лайм-кардит, борелії, інтерлейкіни, антитіла, регресійна модель, цитокіни.

Abstract. Lyme disease is one of the most common vector-borne infections, with a wide variety of symptoms and manifestations. It is caused by spirochetes of the Borrelia burgdorferi sensu lato (Bbsl) complex, which are transmitted by Ixodes ticks. 18 different species of Borrelia have been described within the B. burgdorferi sensu lato complex, but to date only B. burgdorferi sensu stricto, B. garinii, and B. afzelii are well known to cause disease in humans. The disease is characterized by predominant involvement of the skin, musculoskeletal system, heart, and nervous system. According to the Centers for Disease Control and Prevention, Lyme disease has been and continues to be a rapidly evolving disease. In terms of incidence and prevalence, severity of clinical manifestations, frequent transition to a recurrent and protracted course, Lyme borreliosis (LB) is one of the most pressing problems of modern infectious pathology in North America, Asia and many European countries. In the last decade, the incidence of LB has been steadily increasing both in the European region as a whole and in Ukraine in particular, so this endemic zoonotic disease has become the subject of close attention of researchers. The object of the research is to improve diagnostics and prognosis of the disease based on the study of clinical manifestations and laboratory test results in children with Lyme borreliosis. Using linear immunoblot analysis, we established the etiology of the disease in children with EF and NEF LB. In 38 patients (59.38%) with IME and in 14 children (87.5%) with MEM, Lyme borreliosis was caused by a combination of three species of Borrelia (B.afzelii, B.burgdorferi, B.garinii). The combination of two species of Borrelia, B.afzelii and B.burgdorferi, was detected in 17.19% of children with IME. B.garinii was the most frequent cause of IME in patients in whom LB was caused by one species of Borrelia (6.25%). The combination of two species of Borrelia, B.afzelii and B. garinii, was the cause of MEM in 12.5% of children. In children with NEF LB, the combination of three species of Borrelia was the cause of the disease in 10 people (45.45%); the combination of B.afzelii and B.burgdorferi was found in four Borrelia. Lyme arthritis in children more often developed as a result of infection with a combination of Borrelia: B.burgdorferi, B.afzelii, B.garinii. The causes of other arthritis were autoimmune, infectious and traumatic factors. Markers of the inflammatory process (CRP and IL-6) were higher in patients with Lyme arthritis compared to children with arthritis of other etiologies. Taking into account the results of studies based on the use of mathematical and statistical calculations, a logistic regression model was created, which makes it possible to predict the development of disseminated non-erythematous forms of Lyme borreliosis: Lyme arthritis and facial nerve paralysis.

Keywords: Lyme borreliosis, infection, children, immunoblot, ELISA, Lyme arthritis, Lyme carditis, borrelia, interleukins, antibodies, regression model, cytokines.

I. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ТА СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НАУКОВЦІВ НА ПРОБЛЕМУ

Хвороба Лайма – одна з найпоширеніших трансмісивних інфекцій, яка характеризується значною різноманітністю симптомів та проявів.

Спричинюється спірохетами комплексу Borrelia burgdorferi sensu lato (Bbsl), переносниками яких є іксодові кліщі. У складі комплексу B. burgdorferi sensu lato описано 18 різних видів борелій, але на сьогоднішній день лише B. burgdorferi sensu stricto, B. garinii та B. afzelii добре відомі як такі, що спричиняють захворювання у людей[151].

Захворювання характеризується переважним ураженням шкіри, опорно-рухового апарату, серця та нервової системи[152].

[151] Rudenko N, Golovchenko M, Grubhoffer L, Oliver JH. Updates on borrelia burgdorferi sensu lato complex with respect to public health. Ticks and Tick-borne Diseases. 2011;2(3):123–8. doi:10.1016/j.ttbdis.2011.04.002

[152] Андрейчин М. Лайм-бореліоз / М. Андрейчин, М. Шкільна, М. Корда. – Тернопіль : Укрмедкнига, 2021. – 376 с.

За даними Центрів з контролю та профілактики захворювань хвороба Лайма була і продовжує залишатися хворобою, яка стрімко розвивається[153].

За рівнем захворюваності і поширеності, важкістю клінічних проявів, частим переходом до рецидивного і затяжного перебігу Лайм-бореліоз (ЛБ) є однією з найбільш актуальних проблем сучасної інфекційної патології Північної Америки, Азії і багатьох країн Європи[154].

В останнє десятиріччя захворюваність на ЛБ невпинно зростає як в європейському регіоні в цілому, так і в Україні зокрема, тому ця ендемічна зоонозна хвороба стала предметом пильної уваги дослідників[155].

Основна частина України ендемічна за цим зоонозом, найбільша захворюваність на ЛБ реєструється в Західній Україні. Про перші випадки захворювання людей на хворобу Лайма в Україні відомо з 1994 р., але офіційна реєстрація захворювання в Україні ведеться з 2000 року. Рівень епідеміологічної реєстрації щороку зростає: показник захворюваності на Лайм бореліоз в Україні з 2000 року за 10 років зріс у 29 разів[156].

Щороку в Україні фіксують півтори тисячі випадків зараження на кліщовий бореліоз. Проте за даними ВООЗ ця цифра занижена в 5-10 разів. Адже не завжди вчасно вдається діагностувати захворювання та призначити адекватну медикаментозну терапію.

В Україні за 2000–2004 рр. було зареєстровано 562 випадки хвороби Лайма, в 2005р. офіційно зареєстровано 228 випадків, в 2009р. кількість захворівших збільшилась до 979[157]. В 2011 р. кількість зареєстрованих випадків ХЛ зросла в 5,8 рази і склала 1276 випадки[158]. За рівнем захворюваності найбільш уражені: Київська (29,00 випадків на 100 тис. населення), Черкаська (25,4), Вінницька (23,9), Сумська (25,89) області та м. Київ (22,54).

Кількість випадків з підтвердженим діагнозом ХЛ невпинно зростає і станом на 2012 - 2014 рр. вже становила 5264 випадки, до того ж в м. Києві тільки за 2014 р. було зареєстровано 441 випадок, у 2015 р. – 782 випадки, за чотири місяці 2016 р. кількість хворих на ХЛ становила 140 випадків. За 7 місяців 2018 року було зареєстровано 2403 випадки захворювання на хворобу Лайма, а також один випадок кліщового вірусного енцефаліту[159]. Протягом 2019 року було зареєстровано 4 482 випадки ХЛ серед українців, 833 випадки зафіксували у жителів сільської місцевості, а 492 — у дітей до 17 років. За даними ЦГЗ, у 2020 році зареєстрували 2 745 випадків хвороби Лайма та 2 випадки кліщового енцефаліту. У 2021 році в Україні було зареєстровано 2 442 випадки хвороби Лайма. За 9 місяців 2022 року по Україні зареєстровано 2973 випадки хвороби Лайма, з них 433 дитини віком до 17 років, одна дитина до 1 року, 107 дітей від 1 до 4 років, 166 дітей від 5 до 9 років, 112 дітей від 10 до 14 років та 47 дітей від 15 до 17 років. За 9 місяців 2023 року виявлено 4051 випадки Лайм-бореліозу, з них 430 дітей віком до 17 років, одна дитина до 1 року, 87 дітей від 1 до 4 років, 157 дітей від 5 до 9 років, 123 дитини від 10 до 14 років та 42 дитини від 15 до 17 років. В Івано-Франківській області рівень захворюваності у дітей на хворобу Лайма зріс на 40% у 2023 році.

[153] https://www.cdc.gov/lyme/datasurveillance/index.html
[154] Куляс С.М. Сучасний погляд на особливості специфічної діагностики, лікування та профілактики Лайм-бореліозу / С.М. Куляс // Biomedical and biosocial anthropology. – 2013. – № 20. – С. 245-250.
[155] Куляс С.М. Сучасний погляд на особливості специфічної діагностики, лікування та профілактики Лайм-бореліозу / С.М. Куляс // Biomedical and biosocial anthropology. – 2013. – № 20. – С. 245-250.
[156] Shostakovych-Koretska, L. R., Budayeva, I. V., Cherginets, A. V., Mavrutenkov, V. V., & Marchenko, N. Y. (2014). Лайм-бореліоз: питання діагностики і терапії. ACTUAL INFECTOLOGY, (2.03), 34-38.
[157] World Health Organization. Centralized Information System for Infectious Diseases. 2010. Available from: http://data.euro.who.int/cisid/).
[158] Куляс С.М. Сучасний погляд на особливості специфічної діагностики, лікування та профілактики Лайм-бореліозу / С.М. Куляс // Biomedical and biosocial anthropology. – 2013. – № 20. – С. 245-250.
[159] Косовська Тетяна Михайлівна, & Косовська В. О. (2019). Випадок Лайм-бореліозу в дитини. Актуальная инфектология, 7 (1), 42-45.

З початку року в Івано-Франківській області зареєстрували 30 випадків хвороби Лайма, що на 7% більше, ніж торік[160].

Сезонність захворювання припадає на період з квітня по жовтень місяць, але у зв'язку глобальним потеплінням сезонність починає зміщуватися і все більше повідомляється про укуси кліщів ранньою весною і навіть взимку. На даний час відбувається збільшення чисельності кліщів і збільшується кількість кліщів інфікованих бореліями, що в свою чергу призводить до збільшення кількості інфікованих дорослих і дітей. Тенденцію до збільшення частоти Лайм-бореліозу спостерігають найбільше на заході та півночі України[161].

У багатьох дітей вчасно не діагностують хворобу Лайма і вчасно не розпочинають необхідне лікування або у них взагалі відсутня необхідна етіотропна терапія у зв'язку з відсутністю мігруючої еритеми, як типового прояву ранньої стадії ЛБ.

Причиною першого звернення по лікарську допомогу в дітей здебільшого є дисемінована стадія Лайм-бореліозу, що свідчить про низьку інформованість населення про бореліоз, загрозу органних уражень, віддалених у часі від укусу. Саме тому існує нагальна необхідність проведення санітарно-освітньої роботи серед батьків і лікарів первинної ланки надання медичної допомоги щодо наслідків укусів кліщів і заходів з їх запобігання[162].

Дослідження хвороби Лайма розпочалось більше сорока років тому. Вперше ця хвороба згадується в роботі A. Steere (1977 р.), де автор подав результати дослідження запальної артропатії, пов'язаної з укусом іксодових кліщів серед дітей в м. Лайм (штат Коннектикут, США)[163,164].

Хвороба Лайма (кліщовий бореліоз, Лайм-бореліоз) – це інфекційне природно-вогнищеве трансмісивне захворювання, яке спричиняється бактеріями комплексу Borrelia burgdorferi sensu lato (Bbsl) і характеризується переважним ураженням шкіри, серцево-судинної системи, нервової системи та опорно-рухового апарату[165,166].

Збудник хвороби Лайма - грамнегативна спірохета з родини Spirochaetaceae, роду Borrelia. За своєю структурою це рухливі спірохети, що нагадують штопороподібну звивисту спіраль. Борелії не утворюють токсини, але мають три групи антигенів: поверхневі, джгутиковий та цитоплазматичний. Поверхневі антигени — це білки зовнішньої оболонки (Osp-outer space protein, OspA, OspB, OspC, OspD, OspE, OspF й ін.), які є основними антигенами і єдиним фактором вірулентності борелій і на які в основному розвивається імунна відповідь організму[167].

До складу комплексу Borrelia burgdorferi sensu lato входить близько 18 різних видів борелій. Дев'ять з них, а саме B. americana, B. andersonii, B. californiensis, B. carolinensis, B. japonica, B. tanukii, B. turdi, B. sinica та B. yangtze, ще не було виділено від людини, тоді як 9 інших видів (B. afzelii, B. bavariensis, B. bissettii, B. burgdorferi sensu stricto., B. garinii, B. kurtenbachii, B. lusitaniae, B.spielmanii та B. valaisiana) володіють патогенним потенціалом для людини. На сьогодні, лише 3 вида борелій

[160] https://phc.org.ua/monitoring-i-statistika

[161] Шкільна, М. І., Васильєва, Н. А., & Яворська, К. Б. (2016). Спектр збудників асоційованого Лайм-Бореліозу в хворих із деякими хворобами шкіри. *Дерматологія та венерологія*, (3), 87-88.

[162] Косовська Тетяна Михайлівна, & Косовська В. О. (2019). Випадок Лайм-бореліозу в дитини. Актуальная инфектология, 7 (1), 42-45.

[163] Barbour, A. G., & Benach, J. L. (2019). Discovery of the Lyme Disease Agent. *mBio, 10*(5), e02166-19. https://doi.org/10.1128/mBio.02166-19

[164] Steere, A. C., Grodzicki, R. L., Kornblatt, A. N., Craft, J. E., Barbour, A. G., Burgdorfer, W., Schmid, G. P., Johnson, E., & Malawista, S. E. (1983). The spirochetal etiology of Lyme disease. *The New England journal of medicine, 308*(13), 733–740. https://doi.org/10.1056/NEJM198303313081301

[165] Попович О.О. Лайм-бореліоз : сучасна проблема інфектології (клінічна лекція) / О.О. Попович // Актуальна інфектологія. – 2016.– № 3. – С. 114-122. DOI: 10.22141/2312-413x.3.12.2016.81725.

[166] Nykytyuk, S. O., & Klymniuk, S. I. (2020). Lyme borreliosis in children.

[167] Куляс С.М. Сучасний погляд на особливості специфічної діагностики, лікування та профілактики Лайм-бореліозу / С.М. Куляс // Biomedical and biosocial anthropology. – 2013. – № 20. – С. 245-250.

найчастіше спричиняють Лайм-бореліоз, а саме Borrelia burgdorferi sensu stricto (Bbss), Borrelia garinii та Borrelia afzelii. Borrelia burgdorferi sensu stricto як правило поширена в Північній Америці та в Європі. B.garinii, асоційована з ураженням нервової системи та B.afzelii, пов'язана з ураженням шкіри, переважають в Європі та Азії, але відсутні в Північній Америці[168].

Лайм-бореліоз — це зоонозна інфекція з трансмісивним механізмом передачі,

яку спричиняють бактерії Borrelia burgdorferi (рідше — B. mayonii).

Для захворювання характерна весняно-осіння сезонність. Природними резервуарами для борелій є гризуни, птахи, олені та велика рогата худоба. Зараження людини наступає при укусі кліща, інфікованого бореліями[169].

Основна частина України - ендемічна за цим зоонозом. Найвищий рівень захворюваності на ЛБ реєструється в її західному регіоні. Офіційна реєстрація хвороби Лайма в Україні ведеться з 2000 року. Рівень епідеміологічної реєстрації щороку зростає: показник захворюваності на Лайм бореліоз в Україні з 2000 року за 10 років зріс у 29 разів[170].

В Україні циркулює 5 геновидів борелій комплексу Borrelia burgdorferi sensu lato: B.burgdorferi sensu stricto (Bbss), B.afzelii, B.garinii, B.valasiana, A14S[171].

Епідеміологія. Етіологія. Єдиними переносниками борелій від тварини до людини є іксодові кліщі. На території США переважають кліщі Ixodes scapularis, для території Північної Америки та Азії характерні кліщі I.pacificus, для території Європи - I. ricinus.

Цикл розвитку іксодових кліщів триває два роки. За два роки кліщ проходить 4 стадії розвитку: яйце, личинка, німфа та доросла особина. Тільки личинки, німфи та дорослі самки кліщів потребують кров для життєдільності і лише кліщі на стадіях німф та дорослих особин можуть передавати B.burgdorferi. Самки кліщів відкладають яйця навесні, влітку з них з'являються личинки. Наступної весни з личинки утворюється німфа, з якої восени розвивається доросла особина кліща - імаго. Кліщі заражаються бореліями, харчуючись на інфікованих тваринах. Личинки і німфи харчуються на дрібних тваринах (полівки, миші). Доросла особина - на більших тваринах, найчастіше це є олені. Єдиним резервуаром B. burgdorferi є дрібні гризуни, а олені відіграють важливу роль для виживання збудника взимку. Іксодові кліщі також є переносниками кліщового енцефаліту, моноцитарного ерліхіозу, гранулоцитарного анаплазмозу людини та бабезіозу[172].

Роз'яснення патогенних особливостей Borrelia на основі їхнього генетичного складу відображено у великій кількості наукових джерел[173].

Борелії містяться в кишківнику кліщів і зі слиною переносяться в місце укусу, спричиняючи інфікування[174]. У кишківнику інфікованого кліща на поверхні спірохети експресується зовнішній поверхневий білок OspA, водночас OspC активується при інокуляції борелій зі слинної залози кліща в шкіру ссавців. Для контролю та ерадикації B. burgdorferi формується відповідь вродженого і

[168] McCarthy, C. A., Helis, J. A., & Daikh, B. E. (2022). Lyme Disease in Children. *Infectious disease clinics of North America*, *36*(3), 593–603. https://doi.org/10.1016/j.idc.2022.03.002

[169] Козловська А. Лайм-бореліоз: сучасний алгоритм діагностики, лікування та профілактики / А. Козловська // Український медичний часопис. – 2020. 6 квітня: [електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.umj.com.ua/article/174194/lajm-borelioz-suchasnijalgoritm- diagnostiki-likuvannya-ta-profilaktiki.

[170] Nykytyuk, S. O., Sverstiuk, A. S., Pyvovarchuk, D. S., & Klymnyuk, S. I. (2023). Багатофакторна модель прогнозування тяжкого перебігу та ураження органів і систем при Лайм-бореліозі в дітей. *Modern Pediatrics. Ukraine*, (2 (130)), 6-16.

[171] Никитюк, С. О., Гаріян, Т. В., & Левенець, С. С. актуальні питання профілактики хвороби Лайма та кліщового енцефаліту в Україні. *Актуальні питання педіатрії, акушерства та гінекології*, (2), 23-26.

[172] Литвин Г. О. Хвороба лайма у дітей на сучасному етапі [Електронний ресурс] / Г. О. Литвин, Н. Р. Баса // Інфекційні хвороби. – 2021. – № 2. – С. 73–84. – Режим доступу: https://doi.org/10.11603/1681-2727.2021.2.11797

[173] Schneider, T. R., Frank, S., Beuttler, A., Diener, S., Mertz, K., Tzankov, A., Tettenborn, B., & Fluri, F. (2021). Detection of intact Borrelia garinii in a sural nerve biopsy. *Muscle & nerve*, *63*(6), E52–E55. https://doi.org/10.1002/mus.27215

[174] Lyme disease [internet]. Access mode : https://emedicine.medscape.com/article/330178-overview. Updated 01.08.2019.

адаптивного імунітетів із залученням макрофагів та антитіло-опосередкованого фагоцитозу спірохет. Оскільки B. burgdorferi не виробляє токсини, протеази або інші інвазивні молекули, більшість симптомів при захворюванні виникають внаслідок дії імунних механізмів організму господаря[175]. Щоб спірохети перемістилися з кишечника в дерму, потрібно щонайменше 48 годин.

Патогенез. У дермі спірохети розмножуються і починають поширюватися локально. Спірохети Borrelia burgdorferi піддаються адгезії до ендотеліальних клітин та мігрують через ендотеліальні шари до позаклітинного матриксу. Укус кліща разом із наявністю спірохет у дермі активує вроджену імунну відповідь, яка включає поглинання спірохет імунними ефекторними клітинами. Вивільнення прозапальних цитокінів макрофагами призводить до подальшого залучення клітин вродженого імунітету та Т-клітин до інфікованої ділянки. Цей запальний каскад викликає гіперемію в капілярах, що призводить до характерного висипу (ME), який зазвичай є першим симптомом інфекції[176,177].

Після пенетрації борелій в дерму і виходу їх у судини починається гематогенна дисемінація збудника. Передаватися збудник від кліща до людини може також лімфогенним та периневральним шляхом, залежно від місця укусу[178]. Пізні ускладнення інфекції є результатом імунної відповіді на збудник. В організмі людини борелії можуть зберігатися до 10 років та довше. Борелії можуть приймати неактивні форми, які при несприятливих умовах не мають антигенного впливу, змінювати свою антигенну структуру, забезпечуючи собі довготривалу персистенцію в організмі господаря[179].

Borrelia burgdorferi використовує декілька різних механізмів, щоб уникнути імунної відповіді господаря. Борелії інактивують систему комплементу через регуляцію зовнішніх поверхневих білків та зв'язування регуляторів комплементу. B. burgdorferi також уникає виявлення через антигенну варіацію зовнішнього поверхневого білка VlsE, який відіграє ключову роль у стратегії виживання Borrelia. Антигенні варіації борелій є тактикою ухилення від імунітету господаря. У той час як адаптивна імунна відповідь хазяїна працює на вироблення антиген-специфічних антитіл для знищення інфекцій, збудник створює нову варіацію антигену, що унеможливлює розпізнавання антитілами, які виробляє господар. Після проникнення в організм хазяїна бактерії Borrelia постійно змінюють VlsE, локалізовані на їх поверхні, і таким чином намагаються уникнути розпізнавання та елімінації імунною системою. Понад 85% IgG-позитивних сироваток можна ідентифікувати тільки шляхом оцінки VlsE. Ген VlsE необхідний для початкової та персистуючої Лайм-інфекції[180].

Вважається, що, змінюючи поверхневі епітопи VlsE, спірохета B.burgdorferi перевершує реакцію антитіл господаря, що призводить до персистенції інфекції в організмі[181].

Білок p39, або основний мембранний протеїн А є одним із компонентів імуногенної клітинної мембрани Borrelia burgdorferi. BmpA експресується під час інвазії спірохет, а також в еволюції

[175] Volokha, A.P. (2014). Lyme disease (tick-borne borreliosis) in children. Infektsiini khvoroby – Infectious Diseases, 1, 80-87. https://doi.org/10.11603/1681-2727.2014.1.4739 [in Ukrainian].
[176] Vig, D. K., & Wolgemuth, C. W. (2014). Spatiotemporal evolution of erythema migrans, the hallmark rash of Lyme disease. *Biophysical journal*, *106*(3), 763–768. https://doi.org/10.1016/j.bpj.2013.12.017
[177] Wasiluk, A., Zalewska-Szajda, B., Waszkiewicz, N., Kępka, A., Szajda, D., Wojewódzka-Żeleźniakowicz, Zwierz, K. (2011). Lyme disease: etiology, pathogenesis, clinical courses, diagnostics and treatment. Progress in Health Sciences, 1, 179-186.
[178] Sorokman, T.V., & Moldovan, P.M. (2018). Lyme disease in childhood: a look at the problem and a clinical case. Aktualna infektolohiia – Topical Infectology, 6 (1), 1-6. DOI: 10.22141/2312- 413x.6.1.2018.125628 [in Ukrainian].
[179] Chemych, M., & Lutai, I. (2020). Lyme disease. Modern issue condition. Eastern Ukrainian Medical Journal, 8(2), 230-241 [inUkrainian].
[180] Anderson, C., & Brissette, C. A. (2021). The Brilliance of Borrelia: Mechanisms of Host Immune Evasion by Lyme Disease-Causing Spirochetes. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, 10(3), 281. https://doi.org/10.3390/pathogens10030281
[181] Bankhead, T., & Chaconas, G. (2007). The role of VlsE antigenic variation in the Lyme disease spirochete: persistence through a mechanism that differs from other pathogens. Molecular microbiology, 65(6), 1547–1558. https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2007.05895.x

артриту хвороби Лайма. Він належить до сімейства ліпопротеїнів BMP. Провідні продукти основного мембранного білка B. burgdorferi (bmp) A/B оперона, які індукуються в суглобах людини, володіють запальними властивостями. Неліпідні та ліпідні версії BmpA індукують прозапальні цитокіни TNF-α та IL-1ß у синовіальних клітинах людини. Індукція цитокінової відповіді у синовіальних клітинах потенційно може сприяти виникненню Лайм-артриту[182].

На сьогоднішній день описано нове захворювання «Південна асоційована з укусом кліща висипна хвороба» (STARI), що характеризується наявністю висипу, подібного до ME і легкими грипоподібними симптомами, які асоціюються з укусом кліща Lone Star (Amblyomma americanum), потенційним збудником є Borrelia lonestari[183]. Деякі дослідники припускають, що STARI може бути наслідком впливу токсинів слини від укусу Amblyomma americanum[184]. Доки не буде остаточного діагностичного тесту на цю хворобу та доки збудник не буде остаточно виділений від людей, більшість наших уявлень про епідеміологію, клінічні ознаки та лікування залишатимуться спекулятивними[185].

ME - подібні висипання у хворих на STARI бувають поодинокими або множинними, з нерівними межами та центральним просвітленням. Деякі пацієнти мають папулу в центрі EM-подібних уражень. На момент встановлення діагнозу діаметр еритем коливався від 3 до 10 см. Пацієнти з STARI часто скаржаться на головний біль, підвищення температури тіла, втому та/або нудоту. До цього часу не було виявлено довгострокових ускладнень або ознак рецидиву після лікування[186]. На даний момент немає доступних серологічних тестів на антитіла для виявлення гострої інфекції B. lonestari або контакту з кліщами Amblyomma. Діагноз залишається клінічним і ґрунтується на сумісних симптомах і результатах фізичного обстеження людини, яка в анамнезі мала укус кліща з відомої ендемічної території кліща Lone Star[187].

Пацієнтам з ME-подібними ураженнями та потенційним контактом з кліщами пропонується провести антимікробну терапію зшідно протоколу лікування ЛБ[188].

Клінічні особливості перебігу та стадійність хвороби Лайма

У перебігу хвороби Лайма, яку часто називають «великим імітатором» виділяють 3 стадії: рання локалізована, рання дисемінована та пізня дисемінована стадія. Спірохети Borrelia burgdorferi демонструють тропність до сполучної тканини серця, синовіальної оболонки, ендотелію судин, а також до зв'язок і сухожиль.

[182] https://www.rockland.com/categories/primary-antibodies/p39-antibody-200-401-C17/

[183] Goddard J. (2017). Not All Erythema Migrans Lesions Are Lyme Disease. *The American journal of medicine*, *130*(2), 231–233. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2016.08.020

[184] Kannangara, D. W., & Patel, P. (2018). Report of Non-Lyme, Erythema Migrans Rashes from New Jersey with a Review of Possible Role of Tick Salivary Toxins. *Vector borne and zoonotic diseases (Larchmont, N.Y.)*, *18*(12), 641–652. https://doi.org/10.1089/vbz.2018.2278

[185] James, A. M., Liveris, D., Wormser, G. P., Schwartz, I., Montecalvo, M. A., & Johnson, B. J. (2001). Borrelia lonestari infection after a bite by an Amblyomma americanum tick. *The Journal of infectious diseases*, *183*(12), 1810–1814. https://doi.org/10.1086/320721

[186] Abdelmaseih, R., Ashraf, B., Abdelmasih, R., Dunn, S., & Nasser, H. (2021). Southern Tick-Associated Rash Illness: Florida's Lyme Disease Variant. *Cureus*, *13*(5), e15306. https://doi.org/10.7759/cureus.15306

[187] Molins, C. R., Ashton, L. V., Wormser, G. P., Andre, B. G., Hess, A. M., Delorey, M. J., Pilgard, M. A., Johnson, B. J., Webb, K., Islam, M. N., Pegalajar-Jurado, A., Molla, I., Jewett, M. W., & Belisle, J. T. (2017). Metabolic differentiation of early Lyme disease from southern tick-associated rash illness (STARI). *Science translational medicine*, *9*(403), eaal2717. https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aal2717

[188] Lantos, P. M., Rumbaugh, J., Bockenstedt, L. K., Falck-Ytter, Y. T., Aguero-Rosenfeld, M. E., Auwaerter, P. G., Baldwin, K., Bannuru, R. R., Belani, K. K., Bowie, W. R., Branda, J. A., Clifford, D. B., DiMario, F. J., Jr, Halperin, J. J., Krause, P. J., Lavergne, V., Liang, M. H., Cody Meissner, H., Nigrovic, L. E., Nocton, J. J. J., Zemel, L. S. (2021). Clinical Practice Guidelines by the Infectious Diseases Society of America (IDSA), American Academy of Neurology (AAN), and American College of Rheumatology (ACR): 2020 Guidelines for the Prevention, Diagnosis, and Treatment of Lyme Disease. *Arthritis care & research*, *73*(1), 1–9. https://doi.org/10.1002/acr.24495

Зазвичай, клінічні прояви захворювання у дітей і дорослих є схожими, окрім менінгополірадикулоневриту (синдром Баннварта) й хронічного атрофічного акродерматиту, які є нетиповими проявами для дітей[189].

Характеристика ранньої локалізованої стадії хвороби Лайма

Початковим проявом захворювання є типове ураження шкіри, відоме як мігруюча еритема – пляма червоного кольору, яка протягом кількох тижнів, поступово, відцентрово розростається.

Первинна мігруюча еритема (МЕ) є основною клінічною ознакою для ранньої локалізованої стадії хвороби Лайма. Може виникати через 3-30 днів (в середньому 7-14) після укусу кліща[190]. У дітей найчастіше виявляють кліщів на волосистій частині голови, в ділянці вушних складок, навколо пупка. Мігруюча еритема не підвищується над рівнем шкіри (можуть підніматися незначною мірою лише краї МЕ), не болюча, лущення не характерне. Але МЕ може супроводжуватися свербіжем та відчуттям печіння[191]. Гомогенно забарвлена мігруюча еритема діаметром не менше 5 см є діагностичною ознакою ранньої локалізованої стадії хвороби Лайма. Проте вона може набувати класичного вигляду мішені, спостерігатися як дуга (симптом батога), еритеми з просвітленням у центрі та чіткими контурами, гомогенно забарвленої еритеми з некрозом/везикулою/кірочкою в центрі, еритеми синюшного забарвлення без центрального просвітлення[192]. В центрі еритеми може виникати некроз, що свідчить про силу імунної відповіді. При прогресуванні патологічного процесу МЕ з кожним днем збільшується у розмірі і може досягати 70 см в діаметрі[193]. Край еритеми представлений вузькою еритематозною смужкою (завширшки від кількох міліметрів до 1–2 см). Край еритеми, внаслідок її збільшення, може розриватися, перетворюючись на гірляндоподібну смугу.

Невиражена еритема проявляється після прийому гарячої ванни. Залежно від локалізації еритеми – у пахвовій, стегновій, привушній, пахвинній ділянках і ділянці шиї може розвиватися регіонарний лімфаденіт.

У більшості випадків хвороба Лайма супроводжується наявністю МЕ. Проте є дані, що у 20-40% випадків Лайм-бореліоз перебігає в безеритемній формі, що значно утруднює діагностику захворювання[194]. Висловлено припущення, що саме B. miyamotoi викликають безеритемні форми ЛБ[195]. При цьому можуть спостерігатися ураження нервової системи, суглобів, серця, очей. Є підстави вважати, що значна кількість безеритемних випадків хвороби Лайма не діагностується, вони маскуються як прояви багатьох неврологічних, ревматологічних і кардіологічних синдромів, тож хворі не отримують вчасного належного протимікробного лікування. Результати проведених досліджень свідчать про високу частку серопозитивних осіб серед пацієнтів неврологічних стаціонарів. Так, серед мешканців (n=61) Львова, які з різними діагнозами госпіталізувалися в неврологічне відділення, протиборелійні антитіла класу IgG

[189] Esposito, S., Bosis, S., Sabatini, C., Tagliaferri, L., & Principi, N. (2013). Borrelia burgdorferi infection and Lyme disease in children. *International journal of infectious diseases : IJID : official publication of the International Society for Infectious Diseases*, *17*(3), e153–e158. https://doi.org/10.1016/j.ijid.2012.09.014

[190] Пуренко О.О. Особливості перебігу хвороби Лайма (бореліозу) у дитячому віці / О.О. Пуренко, О.А. Прокопович // Медсестринство. – 2018. – № 4. – С. 50-52.

[191] Feder H. M. Jr. Lyme disease in children / H. M. Feder Jr. // Infectious Disease Clinics of North America. – 2008. – Vol. 22, N 2. – P. 315-326. DOI: 10.1016/j.idc.2007.12.007.

[192] https://www.cdc.gov/lyme/signs_symptoms/rashes.html

[193] Wetter, D. A., & Ruff, C. A. (2011). Erythema migrans in Lyme disease. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, *183*(11), 1281. https://doi.org/10.1503/cmaj.101533

[194] Зінчук О.М. Безеритемні форми лайм-бореліозу: важливість своєчасної діагностики / О.М. Зінчук // Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Медицина. – Ужгород, 2008. – Вип. 34. – С. 60-62.

[195] Karan, L., Makenov, M., Kolyasnikova, N., Stukolova, O., Toporkova, M., & Olenkova, O. (2018). Dynamics of Spirochetemia and Early PCR Detection of Borrelia miyamotoi. *Emerging infectious diseases*, *24*(5), 860–867. https://doi.org/10.3201/eid2405.170829

виявлені в 10 пацієнтів, що становить 16,4% обстежених, натомість серед донорів крові (n=60) було лише 3 (5%) серопозитивні особи ($p<0,05$)[196].

Окрім шкірних проявів рання локалізована стадія характеризується інтоксикаційним синдромом (підвищенням температури тіла, ознобом, міалгіями, артралгіями, болем голови)[197].

Офтальмологічні симптоми виникають нечасто і зазвичай проявляються кон'юктивітом в ранній локалізованій стадії Лайм-бореліозу. Інколи можуть виникати увеїт, кератит та епісклерит.

Мігруюча еритема - це клінічний діагноз. Серологічні дослідження в пацієнтів з ранніми проявами захворювання можуть бути негативні, але позитивні результати не підтверджують діагноз МЕ, так як фонова серопозитивність є високою в деяких ендемічних регіонах. Також раннє призначення антибіотикотерапії може послабити вироблення антитіл, що призведе до негативних результатів серологічних досліджень. Якщо клінічно є підозра на атиповий прояв МЕ, виявлення спірохет в біоптатах з підозрілих ділянок за допомогою культурального дослідження і/або ПЛР є важливим в підтвердженні інфекції спричиненої B. burgdorferi s.l.[198].

Якщо на ранній локалізованій стадії пацієнт не отримує лікування - еритема зникає, і в третини хворих захворювання не розвивається. Однак у інших 2/3 хворих переходить у наступну стадію.

На цій стадії МЕ слід диференціювати з дерматомікозами, запаленням підшкірно-жирової тканини, реакцією гіперчутливості на укус кліща, яка зазвичай менша 5 см в діаметрі з характерним свербіжем, контактним дерматитом, кропив'янкою[199].

Характеристика ранньої дисемінованої стадії хвороби Лайма

Рання дисемінована стадія (друга стадія) розвивається, якщо пацієнт не отримує необхідне лікування під час ранньої локалізованої стадії. Рання дисемінована стадія починається через 3-5 тижнів після укусу кліща і супроводжується появою множинної мігруючої еритеми внаслідок гематогенної дисемінації збудника. Елементи множинної мігруючої еритеми є менші, ніж первинна МЕ, вони не збільшуються в розмірі з часом і швидко зникають[200,201].

Параліч черпних нервів, особливо лицевого, доброякісна внутрішньочерепна гіпертензія, менінгіт та кардит можуть спостерігатися у дітей під час ранньої дисемінованої стадії.

Лімфоцитарний менінгіт, нейропатія черепних нервів та радикулоневрит є класичною тріадою гострого раннього неврологічного Лайм-бореліозу[202,203,204].

Рідкісним шкірним проявом ранньої дисемінованої стадії Лайм-бореліозу у дітей є бореліозна лімфоцитома (БЛ). БЛ є підтипом гетерогенної групи доброякісних лімфопроліферативних

[196] Копча ВС, Васильєва НА, Шкільна МІ, та ін. Діагностичні можливості імунного блотингу при бореліозі. Здоров'я України 21 сторіччя. 2016; (11-12): 73-4.
[197] Банадига НВ, Рогальський ІО. (2020). Практичні аспекти хвороби Лайма у дітей. Сучасна педіатрія. Україна. 5(109): 33–38. doi 10.15574/SP.2020.109.33.
[198] Lyme borreliosis: clinical case definitions for diagnosis and management in Europe / G. Stanek, V. Fingerle, K. P. Hunfeld [et al.] // Clinical Microbiology and Infection. – 2011. – Vol. 17, N 1. – P. 69-79. DOI: 10.1111/j.1469-0691.2010.03175.x.
[199] Pearson S. Recognising and understanding Lyme disease / S. Pearson // Nursing Standard. – 2014. – Vol. 29, N 1. – P. 37-43. DOI: 10.7748/ns.29.1.37.e9073.
[200] Cardenas-de la Garza, J. A., De la Cruz-Valadez, E., Ocampo-Candiani, J., & Welsh, O. (2019). Clinical spectrum of Lyme disease. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases : official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, *38*(2), 201–208. https://doi.org/10.1007/s10096-018-3417-1
[201] Arnez, M., Pleterski-Rigler, D., Ahcan, J., Ruzić-Sabljić, E., & Strle, F. (2001). Demographic features, clinical characteristics and laboratory findings in children with multiple erythema migrans in Slovenia. *Wiener klinische Wochenschrift*, *113*(3-4), 98–101.
[202] D'Alessandro, M., Loy, A., & Castagnola, E. (2017). Management of Lyme Disease in European Children: a Review for Practical Purpose. *Current infectious disease reports*, *19*(8), 27. https://doi.org/10.1007/s11908-017-0582-9
[203] Pachner A. R. (1995). Early disseminated Lyme disease: Lyme meningitis. *The American journal of medicine*, *98*(4A), 30S–43S. https://doi.org/10.1016/s0002-9343(99)80042-4
[204] Kozak, S., Kaminiów, K., Kozak, K., & Paprocka, J. (2021). Lyme Neuroborreliosis in Children. *Brain sciences*, *11*(6), 758. https://doi.org/10.3390/brainsci11060758

захворювань, які називаються шкірними псевдолімфомами[205,206]. Маніфестує як одиничний синювато-червоний утвір, який найчастіше локалізується у ділянці мочки вуха, сосків або калитки і частіше зустрічається у дітей, ніж у дорослих. Такі зміни викликаються В-клітинною лімфоцитарною інфільтрацією дерми та підшкірно-жирової клітковини, що спричинює зміну кольору та набряк ураженої ділянки. Зазвичай симптоми з'являються протягом декількох днів - 6 місяців після укусу кліща, найчастіше - у серпні чи вересні. Виявлення симптомів без безпосередньої близькості до часу укусу кліща може призвести до помилок у діагностиці і лікуванні[207]. Водночас з бореліозною лімфоцитомою на тілі дитини може візуалізуватись МЕ, що однозначно вказує нам на причину захворювання. Та все ж частіше БЛ з'являється після зникнення МЕ і по'язати ці стани для практикуючого лікаря може бути складно.

За відсутності відповідного лікування лімфоцитома може зберігатися місяцями і поєднуватися з іншими проявами Лайм-бореліозу. Як правило, на момент звернення, пацієнти з бореліозною лімфоцитомою є серопозитивними[208].Гістологічне дослідження необхідне у випадку діагностичної невизначеності для виключення діагнозу лімфоми шкіри або інших злоякісних утворень. БЛ має типовий гістологічний вигляд щільного, дифузного лімфоцитарного інфільтрату з плазматичними клітинами по всій дермі, який рідко поширюється в епідерміс. Часто є помітними лімфоїдні фолікули із зародковими центрами, які на відміну від інших В-клітинних псевдолімфом, як правило, не мають мантійної зони. Бореліозна лімфоцитома дуже рідко реєструється в США, але є добре знаною в Європі, де частіше зустрічаються кліщі роду Ixodes, а саме Ixodes ricinus[209].

Borrelia afzelii є найбільш переважаючим видом пов'язаним з розвитком бореліозної лімфоцитоми в Європі. Саме це може бути причиною негативних результатів ІФА та імуноблоту до борелій. На сьогодні немає доступних лабораторних тестів на B. afzelii в США, а тестування випадків бореліозної лімфоцитоми в Європі повідомляє про низьку чутливість до 40%[210]. Якщо є підозра на одиничну бореліозну лімфоцитому слід розпочати антибіотикотерапію, щоб запобігти розвитку дисемінованої стадії[211].

Нейробореліоз може проявлятися залученням в процес: *черепно-мозкових нервів* (паралічем), *периферичної нервової системи (*радикулонейропатія, яка може проявлятися онімінням, поколюванням, «стріляючим» болем або слабкістю в руках або ногах), *центральної нервової системи* (Лайм-менінгіт)[212].

[205] Hofmann, H., Fingerle, V., Hunfeld, K. P., Huppertz, H. I., Krause, A., Rauer, S., Ruf, B., & Consensus group (2017). Cutaneous Lyme borreliosis: Guideline of the German Dermatology Society. *German medical science : GMS e-journal*, *15*, Doc14. https://doi.org/10.3205/000255

[206] Arnež, M., & Ružić-Sabljić, E. (2015). Borrelial Lymphocytoma in Children. *The Pediatric infectious disease journal*, *34*(12), 1319–1322. https://doi.org/10.1097/INF.0000000000000884

[207] Remiker, A., Haslam, D. & Kalfa, T.A. A painless erythematous swelling of the external ear as a manifestation of Lyme disease: a case report. *J Med Case Reports* **14**, 48 (2020). https://doi.org/10.1186/s13256-020-02377-x

[208] Myszkowska-Torz, A., Tomaszewski, M., Kotowski, M., Witczak, C., Figlerowicz, M., & Mazur-Melewska, K. (2022). Cutaneous Manifestations of Lyme Borreliosis in Children-A Case Series and Review. *Life (Basel, Switzerland)*, *13*(1), 72. https://doi.org/10.3390/life13010072

[209] Borchers, A. T., Keen, C. L., Huntley, A. C., & Gershwin, M. E. (2015). Lyme disease: a rigorous review of diagnostic criteria and treatment. *Journal of autoimmunity*, *57*, 82–115. https://doi.org/10.1016/j.jaut.2014.09.004

[210] Llamas-Velasco, M., & Paredes, B. E. (2018). Borrelia Lymphocytoma Mimicking Butterfly Rash in a Pediatric Patient. *The American Journal of dermatopathology*,*40*(3), 216–218. https://doi.org/10.1097/DAD.0000000000001013

[211] Scheerer, C., Dersch, R., Huppertz, H. I., & Hofmann, H. (2020). Lyme-Borreliose: Kutane und neurologische Manifestationen, Falldefinitionen und Therapie [Lyme Borreliosis: Cutaneous and Neurologic Manifestations, Case Definitions and Therapy]. *Deutsche medizinische Wochenschrift (1946)*, *145*(1), 19–28. https://doi.org/10.1055/a-0793-4513

[212] CDC-Neurologic Lyme disease [internet]. – Access mode : https://www.cdc.gov/lyme/treatment/NeurologicLyme.html. Updated – October 23, 2020.

Клінічні прояви ураження нервової системи при Лайм-бореліозі зазвичай починаються через 2-18 тижнів після укусу кліща. Мігруюча еритема не завжди їм передує[213]. Менінгорадикуліт та радикулоневрит, класичні форми нейробореліозу в дорослих, зазвичай не зустрічаються у дітей. Діагноз нейробореліозу може базуватися на симптомах менінгізму з болем голови чи без нього, дратівливістю, млявістю і може бути асоційований з паралічем черепно-мозкових нервів. Ураження черепних нервів найчастіше проявляється паралічем лицевого нерва (VII пара). Двобічний параліч лицевого нерва є важливим діагностичним критерієм хвороби Лайма[214].

Для діагностики Лайм-менінгіту проводять спинно-мозкову пункцію. При аналізі ліквору виявляють лімфоцитарний плеоцитоз, нормальний рівень глюкози, незначно підвищений рівень білка, що потребує діагностичного пошуку для виключення менінгіту вірусної етіології. Для остаточного підтвердження нейробореліозу необхідне виявлення інтратекального синтезу антитіл до борелій[215,216]. При тестуванні на інтратекальні антитіла важливо враховувати, що антитіла в сироватці крові пасивно переносяться в спинномозкову рідину (СМР) у деяких пацієнтів з хворобою Лайма. Щоб контролювати цей перехід, СМР і сироватка крові повинні бути зібрані в той самий день і розведені для вирівнювання загальної концентрації білка або IgG. Оптичний показник відношення IgG між СМР та сироваткою >1.0 вказує на активну інтратекальну продукцію антитіл. Паралельно з дослідженням ліквору слід проводити визначення антитіл до борелій в сироватці крові та блот-аналіз. В типових випадках гострого нейробореліозу виявляється лише позитивний IgM до борелій, позитивні IgG з'являються пізніше[217].

Лайм-менінгіт у дітей за ознаками і симптомами подібний до перебігу вірусного менінгіту. В клінічній практиці є правило семи, яке застосовують для прогнозування Лайм-менінгіту: діти з < ніж 7 днів головних болей, < ніж 70% мононуклеарів в спинномозковій рідині і з відсутністю паралічу 7 пари (або іншої) черпних нервів класифікуються як такі, що мають низький ризик розвитку Лайм-менінгіту[218] .

Рідкісні прояви нейробореліозу у дітей включають: міоклонію, атаксію, запаморочення, поліневрит черепно-мозкових нервів, за винятком паралічу лицевого нерва, гострого поперечного мієліту та доброякісної, ізольованої внутрішньочерпної гіпертензії. Також повідомлялися рідкісні випадки гострого дисемінованого енцефаломієліту та цереброваскулярних ускладнень таких, як інсульт[219] .

[213] Kozak, S., Kaminiów, K., Kozak, K., & Paprocka, J. (2021). Lyme Neuroborreliosis in Children. Brain sciences, 11(6), 758. https://doi.org/10.3390/brainsci11060758

[214] Skogman, B. H., Wilhelmsson, P., Atallah, S., Petersson, A. C., Ornstein, K., & Lindgren, P. E. (2021). Lyme neuroborreliosis in Swedish children-PCR as a complementary diagnostic method for detection of Borrelia burgdorferi sensu lato in cerebrospinal fluid. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases : official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, *40*(5), 1003–1012. https://doi.org/10.1007/s10096-020-04129-7

[215] Bruinsma, R. A., Zomer, T. P., Skogman, B. H., van Hensbroek, M. B., & Hovius, J. W. (2023). Clinical manifestations of Lyme neuroborreliosis in children: a review. *European journal of pediatrics*, *182*(5), 1965–1976. https://doi.org/10.1007/s00431-023-04811-w

[216] Guet-Revillet, H., Levy, C., Vallet, C., Maghraoui-Slim, V., Dommergues, M. A., Hentgen, V., Paget, C., Laugel, V., Cohen, R., & Ferroni, A. (2019). Lyme neuroborreliosis in children: Report of nine cases and a review of the literature. *Archives de pediatrie : organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*, *26*(3), 133–137. https://doi.org/10.1016/j.arcped.2019.02.010

[217] Arnason, S., & Skogman, B. H. (2022). Effectiveness of antibiotic treatment in children with Lyme neuroborreliosis - a retrospective study. *BMC pediatrics*, *22*(1), 332. https://doi.org/10.1186/s12887-022-03335-w

[218] Cohn, K. A., Thompson, A. D., Shah, S. S., Hines, E. M., Lyons, T. W., Welsh, E. J., & Nigrovic, L. E. (2012). Validation of a clinical prediction rule to distinguish Lyme meningitis from aseptic meningitis. *Pediatrics*, *129*(1), e46–e53. https://doi.org/10.1542/peds.2011-1215

[219] Allen N. M. Lyme neuroborreliosis: A potentially preventablecause of stroke / Nicholas M. Allen, Heinz Jungbluth // The Journal of Pediatrics. – 2016. – Vol. 170. – P. 334-e1. DOI: 10.1016/j.jpeds.2015.11.077.

Зазвичай, клінічний перебіг нейробореліозу у дітей є легшим і коротшим у порівнянні з дорослими. На МРТ головного мозку у дітей з нейробореліозом можуть виявляти розширені простори Вірхова-Робіна та Т2-гіперінтенсивні вогнища[220].

Лайм-кардит

В 1980 році Steere et al. вперше описав симптоми Лайм-кардиту[221]. Прояви ураження серцево-судинної системи починаються через 2-5 тижнів від появи МЕ, хоча діапазон може бути від < 1 тижня до 7 місяців. Лише третина пацієнтів, в яких розвинувся Лайм-кардит, пригадує про укус кліща[222] Патофізіологія Лайм-кардиту передбачає інфільтрацію бактерій та подальшу надмірну імунологічну відповідь, головним чином у сполучній тканині базальної частини міжшлуночкової перегородки[223].

Кардит у дітей з хворобою Лайма може супроводжуватися відчуттям серцебиття, головокружінням, синкопальними станами, болем в грудній клітці[224].

Атріовентрикулярна блокада - найпоширеніший прояв Лайм-кардиту, як у дорослих так і у дітей. Ступені АВ-блокади можуть швидко змінюватися і прогресувати аж до 3 ступеня і раптової смерті[225,226].

Рідше, Лайм-кардит може проявлятися гострим міокардитом, перикардитом, міоперикардитом, ендокардитом та панкардитом. Лайм-кардит може спричинити клапанні ураження серця і призвести до гострої серцевої недостатності та кардіогенного шоку[227].

Haddad et al.[228] описали клінічний випадок ураження мітрального клапана у жінки 65 років внаслідок хвороби Лайма. Пацієнтці було замінено клапан і призначено антибіотикотерапію цефтріаксоном. Впродовж 6 місяців спостереження за станом здоров'я пацієнтки не спостерігалось відновлення симптомів чи повторного ураження клапанів.

Yoon E.C. et al. описали клінічний випадок фатального Лайм-кардиту у підлітка 17 років, який помер після 2-х тижневих симптомів подібних до ГРВІ (біль у горлі, кашель і непостійна гарячка). У пацієнта розвинулась шлуночкова тахікардія, яка потребувала проведення електричної кардіоверсії. Спроби стабілізувати його ритм не мали успіху. Незважаючи на значні реанімаційні зусилля, ритм швидко перейшов від фібриляції шлуночків до безпульсової електричної активності і, нарешті, до асистолії[229].

---

[220] Lyme disease: What the neuroradiologist needs to know / H. A. Valand, A. Goyal, D. A. Melendez [et al.] // American Journal of Neuroradiology. – 2019. – Vol. 40, N 12. – P. 1998-2000. DOI: 10.3174/ajnr.A6301.

[221] Lyme carditis: cardiac abnormalities of Lyme disease / A. C. Steere, W. P. Batsford, M. Weinberg [et al.] // Annals of Internal Medicine. – 1980. – Vol. 93, N 1. – P. 8-16. DOI: 10.7326/0003-4819-93-1-8.

[222] Lyme carditis / Matthew L. Robinson, Takaaki Kobayashi, Yvonne Higgins [et al.] // Infectious Disease Clinics of North America. – 2015. – Vol. 29, N 2. – P. 255-268. DOI: 10.1016/j.idc.2015.02.003.

[223] Kleibert, M., Wojciechowska, M., Zarębiński, M., Pastwa, Ł., & Cudnoch-Jędrzejewska, A. (2021). Multiple cardiac arrests due to Lyme carditis. *Medical Research Journal*, *6*(1), 71–74. https://doi.org/10.5603/mrj.a2021.0002

[224] Manifestations of Lyme carditis / Tomislav Kostić, Stefan Momčilović, Zoran D. Perišić [et al.] // International Journal of Cardiology. – 2017. – Vol. 232. – P. 24-32. DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.12.169.

[225] Bamgboje, A., Akintan, F. O., Gupta, N. M., Kaur, G., Pekler, G., & Mushiyev, S. (2021). Lyme Carditis: A Reversible Cause of Acquired Third-Degree AV Block. *The American journal of case reports*, *22*, e927885. https://doi.org/10.12659/AJCR.927885

[226] Esfandiari, N., Beebe-Peat, T., Quinlan, A., Wagner, B., Wark, T., & Lobel, R. (2022). Lyme Carditis Complicated by Polymorphic Ventricular Tachycardia and Cardiac Arrest: A Case Report. *Journal of investigative medicine high impact case reports*, *10*, 23247096221098333. https://doi.org/10.1177/23247096221098333

[227] Yeung, C., & Baranchuk, A. (2019). Diagnosis and Treatment of Lyme Carditis: JACC Review Topic of the Week. *Journal of the American College of Cardiology*, *73*(6), 717–726. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.11.035

[228] Haddad, O., Gillinov, M., Fraser, T., Shrestha, N., & Pettersson, G. B. (2019). Mitral Valve Endocarditis: A Rare Manifestation of Lyme Disease. *The Annals of thoracic surgery*, *108*(2), e85–e86. https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2018.12.046

[229] Yoon, E. C., Vail, E., Kleinman, G., Lento, P. A., Li, S., Wang, G., Limberger, R., & Fallon, J. T. (2015). Lyme disease: a case report of a 17-year-old male with fatal Lyme carditis. *Cardiovascular pathology : the official journal of the Society for Cardiovascular Pathology*, *24*(5), 317–321. https://doi.org/10.1016/j.carpath.2015.03.003

Клінічні прояви міокардиту можуть відрізнятися залежно від віку і важкості перебігу захворювання. У дітей та підлітків можуть спостерігатися симптоми з боку органів дихання, ШКТ та серцево-судинної системи у вигляді колапсу. На відміну від дітей, у дорослих в 65% випадків турбує біль у грудях.

На ЕКГ може спостерігатися брадикардія, АВ-блокади різного ступеня, блокади ніжок пучка Гіса[230]. Також, враховуючи подразнення серцевої тканини при Лайм-кардиті, на ЕКГ можуть бути присутні такі порушення, як зміни сегмента ST, інверсія зубця Т, аномалії реполяризації[231].

Основою лікування Лайм-кардиту є моніторинг функцій серця, підтримуюча (supportive) та антибіотикотерапія. У деяких випадках може знадобитися встановлення кардіостимулятора. Кортикостероїди не скорочують тривалість захворювання і зазвичай не рекомендуються для лікування Лайм-кардиту.

Лайм-кардит, включаючи випадки АВ-блокади високого ступеня, як правило, повністю лікується за допомогою антибіотиків. Маркер високого ризику прогресування АВ-блокади аж до повної – це початковий PR інтервал >300 мс під час первинного звернення пацієнта[232].

Нездатність розпізнати ранній Лайм-кардит може призвести до підвищеної потреби в імплантації постійного кардіостимулятора[233].

Щоб допомогти розрізнити етіологію АВ-блокади високого ступеня, в 2018 році була розроблена базова система балів, яка отримала назву «Індекс підозри при Лайм-кардиті». Параметри за якими підраховують індекс включають: вік молодше 50 років (1 бал), чоловіча стать (1 бал), нещодавній відпочинок на відкритому повітрі/в ендемічній місцевості (1 бал), конституційні симптоми, а саме гарячка, нездужання, артралгії, диспное (2 бали), укус кліща (3 бали), мігруюча еритема (4 бали). Загальний підсумований бал свідчить про низьку (0-2), проміжну (3-6) або високу (7-12) підозру на Лайм-кардит[234].

Характеристика пізньої дисемінованої стадії хвороби Лайма

Пізня стадія хвороби Лайма у дітей найчастіше супроводжується артритом. У дорослих, окрім артриту, хронічним атрофічним акродерматитом і пізнім ураженням нервової системи. На цій стадії рівні специфічних IgG-антитіл значно підвищені в 90-100% пацієнтів, водночас антитіла класу IgM виявляються дуже рідко[235].

Пізній нейробореліоз (НБ) виникає приблизно в 50 разів рідше, ніж ранній НБ. Найтиповішими проявами пізнього нейробореліозу є ураження головного мозку у вигляді прогресуючого енцефаломієліту, енцефалопатії та периферичної нейропатії. Типовими симптомами є спастично-атактична хода, розлади сечового міхура та прямої кишки, нервово-психічні синдроми.

[230] Fishe, J. N., Marchese, R. F., & Callahan, J. M. (2016). Lyme Myocarditis Presenting as Chest Pain in an Adolescent Girl. *Pediatric emergency care*, *32*(7), 459–461. https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000654

[231] Kerndt, C. C., Bills, J. A., Shareef, Z. J., Balinski, A. M., Summers, D. F., & Tan, J. M. (2020). Early Disseminated Lyme Carditis Inducing High-Degree Atrioventricular Block. *Case reports in cardiology*, *2020*, 5309285. https://doi.org/10.1155/2020/5309285

[232] Myers, F., Mishra, P. E., Cortez, D., & Schleiss, M. R. (2020). Chest palpitations in a teenager as an unusual presentation of Lyme disease: case report. *BMC infectious diseases*, *20*(1), 730. https://doi.org/10.1186/s12879-020-05438-0

[233] Wan, D., Blakely, C., Branscombe, P., Suarez-Fuster, L., Glover, B., & Baranchuk, A. (2018). Lyme Carditis and High-Degree Atrioventricular Block. *The American journal of cardiology*, *121*(9), 1102–1104. https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2018.01.026

[234] Besant, G., Wan, D., Yeung, C., Blakely, C., Branscombe, P., Suarez-Fuster, L., Redfearn, D., Simpson, C., Abdollah, H., Glover, B., & Baranchuk, A. (2018). Suspicious index in Lyme carditis: Systematic review and proposed new risk score. *Clinical cardiology*, *41*(12), 1611–1616. https://doi.org/10.1002/clc.23102

[235] Garro, A., Bennett, J., Balamuth, F., Levas, M. N., Neville, D., Branda, J. C., Maulden, A. B., Lantos, P. M., Nigrovic, L. E., & Pedi Lyme Net (2019). Positive 2-Tiered Lyme Disease Serology is Uncommon in Asymptomatic Children Living in Endemic Areas of the United States. *The Pediatric infectious disease journal*, *38*(5), e105–e107. https://doi.org/10.1097/INF.0000000000002157

Характерний повільний прогресуючий перебіг без больового синдрому[236]. При підозрі на пізній НБ потрібно провести диференційну діагностику з дисемінованим енцефаломієлітом (Encephalomyelitis disseminata) й нейросифілісом. Для підтвердження діагнозу є обов'язкова спинномозкова пункція. Ще одним проявом пізнього НБ є полінейропатія поєднана з хронічним атрофічним акродерматитом. Полінейропатія при пізньому НБ спричинена дегенерацією аксонів, характеризується асиметричним розподілом і виникає після ураженням шкіри[237]. За словами Wormser GP et al.[238] Лайм-бореліоз рідко є справжньою причиною полінейропатії у дорослих, на відміну від дітей. Інші причини (наприклад, цукровий діабет або вживання алкоголю) значно частіші. Виявлення позитивних антитіл до борелій у пацієнтів з полінейропатією буває випадковою знахідкою в більшості випадків.

Лайм-артрит, як правило, починається через декілька місяців після контакту з інфікованим кліщем. Найвищий артрогенний потенціал притаманний B. burgdorferi sensu stricto[239]. Вона ініціювала розвиток артриту у 46% інфікованих в США, які перебували під спостереженням Cerar et al.[240]. ЇЇ імуногенність відіграє вирішальну роль у відмінностях клінічного перебігу Лайм-артриту між Сполученими Штатами, де B. burgdorferi sensu stricto є основним етіологічним фактором ЛБ, та Європою, де домінують два інших геновиди: B.garinii та B.afzelii[241]. Як повідомляють Cerar et al., які оцінювали клінічні картини ЛБ у Словенії, у пацієнтів, інфікованих B. garinii та B. afzelii, розвинувся артрит у 18% і 15% випадків відповідно[242]. За даними Kocbach et al., інфекція B.garinii часто викликає неврологічні симптоми, а пацієнти, інфіковані B.afzelii, регулярно відчувають втому та міалгію[243].

Лайм-артрит часто маніфестує, як періодичний або стійкий моноартикулярний або олігоартикулярний артрит, який зазвичай уражає 1 або 2 суглоби одночасно. При моноартикулярному типі, найчастіше уражається колінний суглоб. Як правило, спостерігається виражений його набряк, шкіра над суглобом гіперемована, характерне обмеження рухів в ньому. Інтенсивність болю коливається, хоча Лайм-артрит, як правило, не є надзвичайно болючим, як це спостерігається при септичних артритах, але у деяких дітей при ходьбі спостерігається кульгання[244,245,246].

---

[236] Зінчук О.М. Актуальні питання клініки, діагностики та лікування нейробореліозу / О.М. Зінчук // Інфекційні хвороби. – 2004. – № 1. – С. 59-64.

[237] Summer G. Neurologic manifestations of Lyme borreliosis / G. Summer, T. A. Rupprecht // Revue Neurologique. – 2019. – Vol. 175, N 7–8. – P. 417-419. DOI: 10.1016/j.neurol.2019.07.012.

[238] Wormser, G. P., Strle, F., Shapiro, E. D., Dattwyler, R. J., & Auwaerter, P. G. (2017). A critical appraisal of the mild axonal peripheral neuropathy of late neurologic Lyme disease. *Diagnostic microbiology and infectious disease*, *87*(2), 163–167. https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2016.11.003

[239] Kocbach, P. P., & Kocbach, B. P. (2014). Ocena czestości wystepowania boreliozy wśród pracowników leśnictwa [Prevalence of Lyme disease among forestry workers]. *Medycyna pracy*, *65*(3), 335–341.

[240] Cerar, T., Strle, F., Stupica, D., Ruzic-Sabljic, E., McHugh, G., Steere, A. C., & Strle, K. (2016). Differences in Genotype, Clinical Features, and Inflammatory Potential of Borrelia burgdorferi sensu stricto Strains from Europe and the United States. *Emerging infectious diseases*, *22*(5), 818–827. https://doi.org/10.3201/eid2205.151806

[241] Orczyk, K., Świdrowska-Jaros, J., & Smolewska, E. (2017). When a patient suspected with juvenile idiopathic arthritis turns out to be diagnosed with an infectious disease - a review of Lyme arthritis in children. *Pediatric rheumatology online journal*, *15*(1), 35. https://doi.org/10.1186/s12969-017-0166-0

[242] Cerar, T., Strle, F., Stupica, D., Ruzic-Sabljic, E., McHugh, G., Steere, A. C., & Strle, K. (2016). Differences in Genotype, Clinical Features, and Inflammatory Potential of Borrelia burgdorferi sensu stricto Strains from Europe and the United States. *Emerging infectious diseases*, *22*(5), 818–827. https://doi.org/10.3201/eid2205.151806

[243] Kocbach, P. P., & Kocbach, B. P. (2014). Ocena czestości wystepowania boreliozy wśród pracowników leśnictwa [Prevalence of Lyme disease among forestry workers]. *Medycyna pracy*, *65*(3), 335–341.

[244] Chan, S. S., & Pollock, A. N. (2015). Lyme Arthritis. *Pediatric emergency care*, *31*(9), 680–681. https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000576

[245] Devauchelle-Pensec, V., Thepaut, M., Pecquery, R., & Houx, L. (2016). Managing monoarthritis in children. *Joint bone spine*, *83*(1), 25–30. https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2015.06.004

[246] Yen, Y. M., Sanborn, R. M., Donohue, K., Miller, P. E., Milewski, M. D., & Ecklund, K. (2022). Lyme Arthritis in the Pediatric Knee: Clinical and Magnetic Resonance Imaging Differentiators. *JB & JS open access*, *7*(4), e22.00067. https://doi.org/10.2106/JBJS.OA.22.00067

Лайм-артрит може маніфестувати, як асиметричний олігоартрит. При олігоартриті коліно уражається разом з іншим великим суглобом, наприклад кульшовим, плечовим, гомілково-ступневим, ліктьовим, скронево-нижньощелепним або променево-зап'ястковим суглобом. Також уражаються сухожилля, зв'язки або бурси[247]. Оскільки ранню стадію хвороби Лайма зазвичай розпізнають і ефективно лікують антибіотиками, на сьогоднішній день, Лайм-артрит спостерігається в пацієнтів із мінімальними або відсутніми симптомами раннього ЛБ. Дуже часто артрит може бути єдиним проявом Лайм-бореліозу у дітей. Пацієнти з Лайм-артритом мають найвищі титри антитіл IgG, які можна побачити при хворобі Лайма[248,249].

Водночас симптоми при Лайм-артриті (ЛА) бувають різноманітними: від наявності набряку в ділянці суглоба і дискомфорту під час ходьби до проявів схожих на септичний артрит. Саме тому ЛА тяжко віддиференціювати від септичного артриту або неінфекційних артритів, таких як олігоартикулярний ювенільний ревматоїдний артрит або транзиторний синовіїт[250,251,252,253,254].

Зміни при артриті виникають через прямий вплив спірохети, яка викликає інфільтрацію мононуклеарних клітин у синовіальну тканину суглоба з накопиченням нейтрофілів, імунних комплексів і цитокінів у синовіальній рідині, що викликає гострий артрит, який нелегко віддиференціювати від септичного артриту[255,256,257,258]. При бактеріальному септичному артриті, лейкоцити, синовіальні клітини та хондроцити вивільняють протеази, пептидази та колагенази, що призводить до швидкої деструкції суглоба. Однак артрит, викликаний Borrelia burgdorferi, не викликає швидкого руйнування суглобів, і тому початкове лікування артриту при хворобі Лайма відрізняється від інших і не включає хірургічного втручання[259].

В публікації Long KC, Cohn KA «Лайм-артрит: оновлення для клінічної практики» пишуть, що в пацієнтів з ЛА часто виявляють підвищення рівня лейкоцитів в загальному аналізі крові, підвищення рівня ШОЕ, С- реактивного білка та прозпальних інтерлейкінів в порівнянні з пацієнти

[247] Gagliardi, T. A., Agarwalla, A., Johnson, P. K., Leong, J., & DelBello, D. A. (2023). Bilateral Knee Lyme Arthritis in Children: A Report of 3 Cases. *JBJS case connector*, *13*(2), e22.00719. https://doi.org/10.2106/JBJS.CC.22.00719

[248] Glaude, P. D., Huber, A. M., Mailman, T., Ramsey, S., Lang, B., & Stringer, E. (2015). Clinical characteristics, treatment and outcome of children with Lyme arthritis in Nova Scotia. *Paediatrics & child health*, *20*(7), 377–380. https://doi.org/10.1093/pch/20.7.377

[249] Steere A. C. (2019). Treatment of Lyme Arthritis. *The Journal of rheumatology*, *46*(8), 871–873. https://doi.org/10.3899/jrheum.190320

[250] John, J., & Chandran, L. (2011). Arthritis in children and adolescents. *Pediatrics in review*, *32*(11), 470–480. https://doi.org/10.1542/pir.32-11-470

[251] Smith, B. G., Cruz, A. I., Jr, Milewski, M. D., & Shapiro, E. D. (2011). Lyme disease and the orthopaedic implications of lyme arthritis. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, *19*(2), 91–100. https://doi.org/10.5435/00124635-201102000-00004

[252] Plesca, D. A., Luminos, M., Spatariu, L., Stefanescu, M., Cinteza, E., & Balgradean, M. (2013). Postinfectious arthritis in pediatric practice. *Maedica*, *8*(2), 164–169.

[253] Aiyer, A., Hennrikus, W., Walrath, J., Groh, B., & Ostrov, B. (2014). Lyme arthritis of the pediatric lower extremity in the setting of polyarticular disease. *Journal of children's orthopaedics*, *8*(4), 359–365. https://doi.org/10.1007/s11832-014-0602-3

[254] Moniuszko, A., Popko, J., Guszczyn, T., Waliński, T., Zukiewicz-Sobczak, W., & Pancewicz, S. (2014). Lyme disease with effusion either in hip or knee in children from Podlaskie region treated in clinic in 2004-2010. *Przeglad epidemiologiczny*, *68*(3), 425–537.

[255] Deanehan, J. K., Nigrovic, P. A., Milewski, M. D., Tan Tanny, S. P., Kimia, A. A., Smith, B. G., & Nigrovic, L. E. (2014). Synovial fluid findings in children with knee monoarthritis in lyme disease endemic areas. *Pediatric emergency care*, *30*(1), 16–19. https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000028

[256] Bachur, R. G., Adams, C. M., & Monuteaux, M. C. (2015). Evaluating the child with acute hip pain ("irritable hip") in a Lyme endemic region. The Journal of pediatrics, 166(2), 407–11.e1. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.09.040

[257] Sá, M. C., Moreira, C., Melo, C., Sousa, Á., & Carvalho, S. (2015). Lyme disease and juvenile idiopathic arthritis - A pediatric case report. Doença de Lyme e artrite idiopática juvenil – Relato de caso clínico pediátrico. *Revista brasileira de reumatologia*, S0482-5004(15)00126-6. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.rbr.2015.08.003

[258] Baldwin, K. D., Brusalis, C. M., Nduaguba, A. M., & Sankar, W. N. (2016). Predictive Factors for Differentiating Between Septic Arthritis and Lyme Disease of the Knee in Children. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, *98*(9), 721–728. https://doi.org/10.2106/JBJS.14.01331

[259] Applegren, N. D., & Kraus, C. K. (2017). Lyme Disease: Emergency Department Considerations. *The Journal of emergency medicine*, *52*(6), 815–824. https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.01.022

з транзиторним синовіїтом. Заразом, якщо порівнювати ЛА зі септичним артритом, пацієнти з ЛА частіше мають ураження колінного суглоба та рідше повідомляють про лихоманку в анамнезі[260].

У переважної більшості пацієнтів Лайм-артрит успішно піддається лікуванню доксицикліном або цефтріаксоном у правильній послідовності. Однак близько 10% пацієнтів в США мають Лайм-артрит рефрактерний до антибіотикотерапії. Критеріями ЛА стійкого до антибіотикотерапії є : активний артрит > 2 місяців після завершення АБ-терапії, > 8 тижнів перорального прийому антибіотиків або > 2 тижні парентеральної антибіотикотерапії або персистуючий артрит протягом > 3 місяців після 1 місяця антибіотикотерапії. Факторами ризику ЛА рефрактерного до АБ-терапії є вік > 10 років, тривалий перебіг артриту до початку лікування, погіршення симптомів артриту після початку антибіотикотерапії[261]. Згідно з твердженням Американського товариства фахівців з інфекційних хвороб (IDSA), симптоматичне лікування НПЗП, антиревматичними препаратами, що модифікують захворювання або внутрішньосуглобовими кортикостероїдами рекомендуються пацієнтам з ЛА рефрактерним до АБ-терапії, якщо ПЛР синовіальної рідини або тканини не містять ДНК борелій.

У пацієнтів з підозрою на Лайм-артрит слід провести аналіз на антитіла до B.burgdorferi. У серопозитивних пацієнтів, для призначення лікування яких потрібно більше інформації, рекомендується проводити ПЛР синовіальної рідитни чи тканин, а не їх бактеріологічне дослідження. ПЛР синовіальної рідини при Лайм-артриті має чутливість > 75% і може бути корисною у поєднанні з іншими аналізами синовіальної рідини для диференціації Лайм-артриту від інших артритів. Порівняно, ПЛР СМР значно менш чутлива, що обмежує її клінічну користь. В одному дослідженні в США ПЛР СМР дав позитивні результати лише у 38% пацієнтів з раннім нейробореліозом і був ще менш чутливим при пізньому нейробореліозі.

Так як ПЛР не має 100% чутливості - негативна ПЛР не обов'язково означає відсутність спірохет. Пацієнтам, яким не помагає і симптоматична терапія можна запропонувати артроскопічне лікування — синовектомію[262].

У дітей з ЛА прогноз після адекватної антибіотикотерапії є кращим ніж у дорослих у зв'язку з меншою кількість рефрактерних випадків.

Хронічний атрофічний акродерматит

Хронічний атрофічний акродерматит (ХАА) – це шкірний прояв пізньої стадії Лайм-бореліозу, який спостерігається майже виключно в Європі[263]. Він розвивається через місяці, іноді роки, після зараження борелією комплексу B.burgdorferi s.l. і найчастіше викликається саме Borrelia afzelii. Хоча хронічному атрофічному акродерматиту може передувати мігруюча еритема й інші прояви хвороби Лайма, але зазвичай він розвивається, як перша і єдина ознака Лайм-бореліозу[264,265].

Шкірні прояви починаються з почервоніння шкіри, як правило на дорсальній поверхні стопи або долоні. Почервоніння дуже повільно поширюється, набуваючи синюватого забарвлення, з'являється місцевий набряк. Через декілька місяців, іноді років, набряки поступово зникають, а

[260] Long, K. C., & Cohn, K. A. (2018). Lyme Arthritis: An Update for Clinical Practice. *Pediatric emergency care*, *34*(8), 588–591. https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001576

[261] Arvikar, S. L., & Steere, A. C. (2015). Diagnosis and treatment of Lyme arthritis. *Infectious disease clinics of North America*, *29*(2), 269–280. https://doi.org/10.1016/j.idc.2015.02.004

[262] Steere, A. C., & Angelis, S. M. (2006). Therapy for Lyme arthritis: strategies for the treatment of antibiotic-refractory arthritis. *Arthritis and rheumatism*, *54*(10), 3079–3086. https://doi.org/10.1002/art.22131

[263] Gade, A., Matin, T., Rubenstein , R., & Robinson, C. A. (2023). Acrodermatitis Chronica Atrophicans. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.

[264] Bruck, N., Fiebig, B., Schnabel, A., Lander, F., Berner, R., & Hedrich, C. M. (2016). Acrodermatitis Chronica Atrophicans. *The Journal of pediatrics*, *170*, 335–e1. https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.11.011

[265] Zajkowska, J., Czupryna, P., Pancewicz, S. A., Kondrusik, M., & Moniuszko, A. (2011). Acrodermatitis chronica atrophicans. *The Lancet. Infectious diseases*, *11*(10), 800. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(10)70121-3

шкіра стає все більш атрофічною. Гістопатологічна картина хронічного атрофічного акродерматиту не є діагностичною, але є достатньо характерною, щоб насторожити досвідченого гістолога[266,267].

Гістологічно, на початковій набряковій стадії спостерігається інфільтрація лімфоцитами, плазматичними клітинами і гістіоцитами, на пізній стадії - атрофія дерми, яка супроводжується втратою еластичних волокон та волосяних фолікулів, атрофією епідермісу і інфільтрацією плазматичними клітинами навколо розширених судин дерми[268].

ХАА слід підозрювати у пацієнта з синювато-червоним забарвленням кінцівки з набряком або без нього, з атрофією чи без.

Хронічний атрофічний акродерматит спостерігається в Європі на відміну від Північної Америки. Ця географічна відмінність пояснюється тим, що у Північній Америці B. burgdorferi sensu stricto є майже основною причиною Лайм-бореліозу, тоді як в Європі основними збудниками хвороби є B. afzelii та B. garinii, і лише рідко B. burgdorferi sensu stricto. Хоча ХАА головним чином асоціюється з інфекцією B. afzelii, B. garinii та B. burgdorferi sensu stricto також виділяють від окремих пацієнтів. За даними Cerar et al. 2016[269] відсутність автохтонного ХАА в Північній Америці та виділення B. burgdorferi sensu stricto зі шкіри деяких Європейських пацієнтів з ХАА видається суперечливим, але свідчить про те, що північноамериканські та європейські B.burgdorferi sensu stricto генетично схожі проте відрізняються щодо запального потенціалу та клінічної картини захворювання.

Для встановлення діагнозу ХАА необхідна відповідна клінічна картина захворювання, високий рівень IgG антитіл проти борелій комплексу B.burgdorferi sensu lato та гістологічні результати, які підтверджують дану патологію[270].

ХАА зазвичай виникає в осіб старше 50 років і лише у виняткових випадках трапляється у дитячому віці. У своїй статті Andres C et al.[271] описують два клінічні випадки ХАА у дітей 8 та 10 років, тому про цей прояв Лайм-бореліозу слід пам'ятати педіатрам та дитячим інфекціоністам.

Лабораторні методи діагностики хвороби Лайма

Центри з контролю та профілактики захворювань в США рекомендують 2-ступеневий метод для діагностики хвороби Лайма. Перший крок, як правило, складається з тесту ІФА, за допомогою якого ми можемо виявити титри антитіл IgM та IgG до Borrelia burgdorferi.

Якщо результат ІФА негативний та дослідження проводилося протягом перших 30 днів від початку симптомів — необхідно повторити ІФА через 4–6 тижнів після першого дослідження.

Якщо дослідження проводилося через ≥30 днів з моменту появи симптомів — подальші обстеження не проводяться, необхідно розглянути інші можливі діагнози.

У випадку позитивних або сумнівних результатів серологічного дослідження, другим кроком є їх підтвердження методом вестерн-блот.

---

[266] Carlesimo, M., Abruzzese, C., Narcisi, A., La Pietra, M., Fardella, A., Noto, S., Cacchi, C., & Camplone, G. (2010). Acrodermatitis chronic atrophicans and morphea. *European journal of dermatology : EJD*, *20*(3), 405–407. https://doi.org/10.1684/ejd.2010.0936

[267] Moniuszko-Malinowska, A., Czupryna, P., Dunaj, J., Pancewicz, S., Garkowski, A., Kondrusik, M., Grygorczuk, S., & Zajkowska, J. (2018). Acrodermatitis chronica atrophicans: various faces of the late form of Lyme borreliosis. *Postepy dermatologii i alergologii*, *35*(5), 490–494. https://doi.org/10.5114/ada.2018.77240

[268] Norris S. J. (2018). Catching up with Lyme Disease Antigenic Variation Computationally. *Trends in microbiology*, *26*(8), 644–645. https://doi.org/10.1016/j.tim.2018.05.017

[269] Cerar, T., Strle, F., Stupica, D., Ruzic-Sabljic, E., McHugh, G., Steere, A. C., & Strle, K. (2016). Differences in Genotype, Clinical Features, and Inflammatory Potential of Borrelia burgdorferi sensu stricto Strains from Europe and the United States. *Emerging infectious diseases*, *22*(5), 818–827. https://doi.org/10.3201/eid2205.151806

[270] Maraspin, V., Mrvič, T., Ružić-Sabljić, E., Jurčić, V., & Strle, F. (2019). Acrodermatitis chronica atrophicans in children: Report on two cases and review of the literature. *Ticks and tick-borne diseases*, *10*(1), 180–185. https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.10.009

[271] Andres, C., Ziai, M., Bruckbauer, H., Ring, J., & Hofmann, H. (2010). Acrodermatitis chronica atrophicans in two children. *International journal of dermatology*, *49*(2), 180–183. https://doi.org/10.1111/j.1365-4632.2009.04194.x

При симптомах хвороби Лайма присутніх впродовж 30 днів або менше, проводять визначення IgM та IgG методом вестерн-блот.

Якщо симптоми наявні більш ніж 30 днів, визначають тільки IgG[272].

Імуноблот слід проводити лише після нещодавнього позитивного або сумнівного результату ІФА з метою уникнення хибно-позитивних або хибно-негативних результатів.

За відсутності лікування титри IgM зазвичай досягають максимуму через 6-8 тижнів після зараження і зникають протягом 4-6 місяців, хоча показники іноді залишаються підвищеними протягом декількох місяців або років.

IgG до B.burgdorferi, як правило, виявляються протягом 6-8 тижнів після зараження, досягають піку протягом 4-6 місяців і залишаються підвищеними необмежено довго. На пізніх стадіях захворювання (>4-6 тижнів після зараження) результати IgG є більш корисними для діагностики, ніж результати IgM[273].

Слід зазначити, що антитіла можуть залишатися позитивними через роки після адекватного лікування і не можуть використовуватися для того, щоб відрізнити активну та неактивну фази захворювання. Наявність позитивних IgM з негативними IgG до B.burgdorferi більше ніж через 6-8 тижнів після контакту з кліщем, при відсутності специфічної терапії у пацієнта, означають хибно-позитивний результат.

Інтерпретація показників Європейського імуноблотаналізу

Позитивний імуноблот IgM	1 або > з наступних 5 білків:	p39, OspC, Osp17 (DbpA)**,** VlsE, and/or p41
Позитивний імуноблот IgG	2 або > з наступних 10 білків	p38, p58, p43, p39, p30, OspC, p21,Osp17(DbpA), p14, VlsE

ПЛР може бути використана для виявлення ДНК B.burgdorferi у крові, ліквор, сечі або синовіальній рідині протягом декількох тижнів після зараження. Полімеразна ланцюгова реакція є позитивною у третини пацієнтів з активною хворобою Лайма.

Хоча більшість результатів ПЛР стають негативними впродовж 2 тижнів після антимікробної терапії, частина з них залишається позитивною впродовж багатьох років після лікування. Не рекомендовано проводити ПЛР діагностику ліквору через його низьку чутливість. Водночас ПЛР синовіальної рідини є важливим діагностичним критерієм[274].

У пацієнтів з Лайм-артритом, як правило, спостерігається запальний характер синовіальної рідини: кількість клітин коливається в межах 500-98000 /мкл. У дорослих пацієнтів синовіальну рідину слід також досліджувати на наявність кристалів, щоб виключити подагру та псевдоподагру.

У пацієнтів з хворобою Лайма кількість лейкоцитів у крові може бути нормальною або підвищеною, швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ) зазвичай підвищена. Значення аспартатамінотрансферази в сироватці крові може перевищувати нормальні показники. При тестуванні комплементу рівні C3 та C4 зазвичай є нормальними або дещо перевищують норму. Результати тесту на антинуклеарні антитіла (ANA) та ревматоїдний фактор є негативними[275].

[272] Lipsett, S. C., & Nigrovic, L. E. (2016). Diagnosis of Lyme disease in the pediatric acute care setting. *Current opinion in pediatrics*, *28*(3), 287–293. https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000339

[273] Wormser, G. P., Nadelman, R. B., Dattwyler, R. J., Dennis, D. T., Shapiro, E. D., Steere, A. C., Rush, T. J., Rahn, D. W., Coyle, P. K., Persing, D. H., Fish, D., & Luft, B. J. (2000). Practice guidelines for the treatment of Lyme disease. The Infectious Diseases Society of America. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, *31 Suppl 1*, 1–14. https://doi.org/10.1086/314053

[274] Schoen R. T. (2020). Lyme disease: diagnosis and treatment. *Current opinion in rheumatology*, *32*(3), 247–254. https://doi.org/10.1097/BOR.0000000000000698

[275] Lyme disease workup [internet]. – Access mode : https:// emedicine.medscape.com/article/330178-workup. Updated Aug 01, 2019.

Пацієнтам, які мають одне або більше з нижче наведених гострих захворювань: менінгіт, радикулоневрит, множинну нейропатію, гостру нейропатію черепних нервів (зокрема VII, VIII, рідше III, V, VI та ін.), або пацієнти з ознаками запалення спинного мозку (або рідше головного мозку), особливо пов'язане з радикулітом і з епідеміологічно ймовірним контактом з кліщами, інфікованими B. burgdorferi, рекомендується провести обстеження на хворобу Лайма. У дітей з порушеннями розвитку, поведінки чи психіатричними розладами не рекомендується регулярно проходити обстеження на Лайм-бореліоз[276].

Пацієнтам з типовим бічним аміотрофічним склерозом, рецидивуючо-ремітуючим розсіяним склерозом, хворобою Паркінсона, деменцією або зниженням когнітивних функцій, або судомами, які виникли вперше, не рекомендується проходити обстеження на хворобу Лайма[277].

Пацієнтам з неспецифічними змінами білої речовини головного мозку на МРТ, в яких нема анамнестичних, клінічних та епідеміологічних даних за хворобу Лайма, не рекомендується проводити обстеження на Лайм-бореліоз.

У пацієнтів з гострим міокардитом/перикардитом невідомої етіології у відповідних епідеміологічних умовах, рекомендується обстеження на Лайм-бореліоз.

У пацієнтів з хронічною кардіоміопатією невідомої етіології, не рекомендуються планові обстеження щодо Лайм-бореліозу[278].

Особливості перебігу пост-медикаментозного синдрому при хвороби Лайма

Пост-медикаментозний синдром хвороби Лайма (ПМСХЛ) – це наявність у пацієнта стійких суб’єктивних симптомів без об’єктивних проявів, які зберігаються щонайменше 6 місяців після завершення лікування[279].

Антибіотикотерапія більшості клінічних форм Лайм-бореліозу є ефективною впродовж 2-4 тижнів. Але у деяких пацієнтів, після вчасного і адекватного лікування залишаються такі неспецифічні симптоми, як втома, артралгії, міалгії та когнітивні порушення. У доступній літературі є суперечливі дані стосовно ПМСХЛ: на думку лікарів, що входять до Міжнародної спілки науковців з хвороби Лайма та асоційованих хвороб (ILADS), ПМСХЛ є хронічною хворобою Лайма і вони пов’язують його зі стійкістю інфекції, що вимагає тривалої антибіотикотерапії для інволюції симптомів[280]. Водночас Oliviera CR et al.[281] стверджують, що проведення чотирьох плацебо-контрольованих клінічних випробувань, з метою оцінки користі від використання тривалої антибіотикотерапії для пацієнтів з ПМСХЛ, не підтвердило її доцільність. Ці дослідження були повторно проаналізовані та розглянуті Klempner et al.[282] і вчені дійшли згоди, що від тривалого лікування антибіотиками не існує суттєвих стійких переваг, лише значні ризики побічних явищ. Існує велика кількість доказів того, що лікування тривалими курсами антибіотиків не показано для пацієнтів з пост-медикаментозним синдромом хвороби Лайма.

[276] Schoen R. T. (2020). Challenges in the Diagnosis and Treatment of Lyme Disease. *Current rheumatology reports*, *22*(1), 3. https://doi.org/10.1007/s11926-019-0857-2

[277] Sanchez J. L. (2015). Clinical Manifestations and Treatment of Lyme Disease. *Clinics in laboratory medicine*, *35*(4), 765–778. https://doi.org/10.1016/j.cll.2015.08.004

[278] Marques A. (2022). Persistent Symptoms After Treatment of Lyme Disease. *Infectious disease clinics of North America*, *36*(3), 621–638. https://doi.org/10.1016/j.idc.2022.04.004

[279] Lyme Disease Treatment & Management. – Access mode : https://emedicine.medscape.com/article/330178-treatment. Updated Aug 01, 2019.

[280] Oliveira, C. R., & Shapiro, E. D. (2015). Update on persistent symptoms associated with Lyme disease. Current opinion in pediatrics, 27(1), 100–104. https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000167

[281] Klempner, M. S., Baker, P. J., Shapiro, E. D., Marques, A., Dattwyler, R. J., Halperin, J. J., & Wormser, G. P. (2013). Treatment trials for post-Lyme disease symptoms revisited. *The American journal of medicine*, *126*(8), 665–669. https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2013.02.014

[282] Wong, K. H., Shapiro, E. D., & Soffer, G. K. (2022). A Review of Post-treatment Lyme Disease Syndrome and Chronic Lyme Disease for the Practicing Immunologist. *Clinical reviews in allergy & immunology*, *62*(1), 264–271. https://doi.org/10.1007/s12016-021-08906-w

Також слід пам'ятати, що наявність ДНК B. burgdorferi після лікування антибіотиками не свідчить про триваючу інфекцію, а повторні епізоди мігруючої еритеми зумовлені повторним інфікуванням іншим видом борелій, а не рецидивом раніше пролікованої інфекції[283].

Для встановлення діагнозу ПМСХЛ необхідно досконало зібрати анамнез захворювання, виявити типові клінічні ознаки Лайм-бореліозу, підтвердити наявність інфекції B. burgdorferi, а також виявити стійкі або рецидивуючі симптоми, що почалися протягом 6 місяців після завершення лікування з приводу раннього або пізнього Лайм-бореліозу і які зберігаються 6 місяців або довше. Крім того, інші соматичні, психіатричні або поведінкові причини неспецифічних суб'єктивних симптомів повинні бути виключені[284].

Сучасні методи та засоби профілактики Лайм-бореліозу

Хвороба Лайма має сезонний характер, пік захворюваності припадає на період між квітнем та жовтнем, що пов'язано з підвищеною активністю людей на відкритих територіях порівняно з іншими місяцями року. Але у зв'язку з глобальним потеплінням сезонність починає зміщуватися і все частіше повідомляється про укуси кліщів ранньою весною і навіть взимку. На даний час відбувається збільшення загальної чисельності кліщів та кількості кліщів інфікованих бореліями, що в свою чергу призводить до зростання кількості інфікованих дорослих і дітей[285].

Впродовж багатьох років захворюваність на Лайм-бореліоз в ендемічних регіонах України невпинно зростає, сформовані стійкі ендемічні зони з великою чисельністю переносників хвороби Лайма, які інфіковані бореліями[286].

Саме тому, основними заходами для попередження захворювання на території області є проведення акарицидної обробки лісопаркових зон та місць масового відпочинку людей, здійснення картування місцевості з визначенням осередків концентрації кліщів та відсотка інфікованості кліщів бореліями.

Одним з методів профілактики інфікування B.burgdorferi та іншими патогенними мікроорганізмами, які переносяться кліщами роду Ixodes – це зменшення можливості контакту з ними. Для зниження ризику інфікування, рекомендують використовувати відповідний одяг (кепка або панамка, світлий однотонний одяг з довгими рукавами, який щільно прилягає до тіла, довгі штани, закрите взуття) на прогулянках в лісових та паркових зонах, засоби від кліщів (репеленти), ретельно оглядати тіло дитини після кожної прогулянки і якомога швидше видаляти кліщів, щоб запобігти передачі збудників інфекції людині.

Диетилтолуамід (ДЕТА) - найбільш ефективний репелент, але його рідко використовують, через надмірне занепокоєння щодо його потенційної токсичності, але після місцевого застосування абсорбується лише дуже мала його кількість і сполука швидко виводиться з організму. Варто використовувати засоби, які містять 25%-35% ДЕТА в своєму складі. Їх ефект триває до 6 годин. Дослідження показують, що засоби з вищим відсотком ДЕТА захищають довше[287]. Наприклад,

[283] Nemeth, J., Bernasconi, E., Heininger, U., Abbas, M., Nadal, D., Strahm, C., Erb, S., Zimmerli, S., Furrer, H., Delaloye, J., Kuntzer, T., Altpeter, E., Sturzenegger, M., Weber, R., & For The Swiss Society For Infectious Diseases And The Swiss Society For Neurology (2016). Update of the Swiss guidelines on post-treatment Lyme disease syndrome. *Swiss medical weekly*, *146*, w14353. https://doi.org/10.4414/smw.2016.14353

[284] Nguyen, C. T., Cifu, A. S., & Pitrak, D. (2022). Prevention and Treatment of Lyme Disease. *JAMA*, *327*(8), 772–773. https://doi.org/10.1001/jama.2021.25302

[285] Зінчук О.М. До питання екстреної профілактики Лайм-бореліозу / О.М. Зінчук // Acta medica Leopoliensia. – 2016. – Т. 22, № 2. – С. 39-43.

[286] Koren, G., Matsui, D., & Bailey, B. (2003). DEET-based insect repellents: safety implications for children and pregnant and lactating women. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, *169*(3), 209–212.

[287] *Safety tips on using personal insect repellent*. Ottawa: Pest Management Regulatory Agency, Health Canada; 2003. Available: www.hc-sc.gc.ca/english/westnile/insect_repellents.html (accessed 2003 July 7).

репелент з 10% ДЕТА відлякує шкідників протягом 2 годин, тоді як засіб з вмістом ДЕТА 24% забезпечує захист на 5 годин. Але дослідження також показують, що продукти з ДЕТА понад 30% не забезпечують тривалішого і кращого захисту. Американська академія педіатрії (ААП) рекомендує використовувати для дітей репеленти не більше, ніж з 30% ДЕТА. Водночас ААП забороняє використовувати репеленти дітям віком менше 2 місяці. Використовувати репеленти дітям слід з великою обережністю: не можна розпилювати спрей на обличчя, при поверненні з прогулянки, репелент треба змити зі шкіри, а одяг випрати, уникати нанесення репеленту на ушкоджену шкіру (рани, запальні елементи, сонячні опіки). Не слід використовувати засоби, що поєднують ДЕТА із сонцезахисним кремом, бо ДЕТА може зменшити фактор захисту від сонця (SPF) і зробити його менш ефективним. Також такі комбіновані засоби (ДЕТА + SPF) можуть призводити до надмірного контакту дитини з ДЕТА, оскільки сонцезахисний крем потрібно часто наносити повторно[288,289].

До складу репелентів, окрім ДЕТА, можуть входити такі речовини дозволені Агенством з охорони навколишнього середовища США (EPA) : пікаридин, олія лимонного евкаліпту, перметрин, IR3535[290]. Американське товариство фахівців з інфекційних хвороб США (Infectious Diseases Society of America, IDSA) не рекомендує регулярне використання антимікробної профілактики для запобігання хвороби Лайма після укусу кліща. Одноразову доза доксицикліну може бути запропонована дорослим пацієнтам (200 мг/доза) та дітям будь-якого віку, з масою тіла менше 45 кг в дозі 4.4 мг/кг одноразово, при умові, що: виявлений кліщ, ідентифікований, як доросла особина або німфа I. scapularis, тривалістю прикріплення прикріплення ≥36 годин; з моменту видалення кліща пройшло не більше 72 годин; місцевий рівень зараження кліщів B.burgdorferi становить ≥20%; нема протипоказів до застосування доксицикліну[291,292].

Хіміопрофілактика проведена пізніше, ніж 72 години після видалення кліща не гарантує її ефективність. Швидке видалення кліща знижує ризик розвитку захворювання. Зараження малоймовірне, якщо тривалість прикріплення кліща становила менше 24 годин, та високоймовірне, якщо понад 72 години[293].

На сьогодні, не відомо чи вплине антибіотикопрофілактика Лайм-бореліозу після укусу кліща на розвиток гранулоцитраного анаплазмозу і бабезіозу.

Згідно настанови «Клінічна оцінка, лікування та профілактика хвороби Лайма, гранулоцитарного анаплазмозу людини та бабезіозу: рекомендації з клінічної практики Товариства інфекційних хвороб Америки» профілактика Лайм-бореліозу у вагітних жінок має базуватися на оцінці ризиків розвитку хвороби чи побічних дій антибіотикотерапії. Науковці вважають, що амоксицилін не може замінити доксициклін для людей, яким протипоказана профілактика доксицикліном, через відсутність даних

[288] Shapiro R. (2012). Prevention of vector transmitted diseases with clove oil insect repellent. *Journal of pediatric nursing*, *27*(4), 346–349. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2011.03.011

[289] Sood S. K. (2015). Lyme disease in children. *Infectious disease clinics of North America*, *29*(2), 281–294. https://doi.org/10.1016/j.idc.2015.02.011

[290] Dering-Anderson, A. M., & Adams, A. J. (2018). Improving access to appropriate post-exposure doxycycline for Lyme disease prophylaxis: role for community pharmacies. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, *73*(12), 3219–3220. https://doi.org/10.1093/jac/dky361

[291] Jackson, A. N., Orr, K. K., Bratberg, J. P., & Silverblatt, F. (2014). Pharmacist initiation of postexposure doxycycline for Lyme disease prophylaxis. *Journal of the American Pharmacists Association : JAPhA*, *54*(1), 69–73. https://doi.org/10.1331/JAPhA.2014.13106

[292] Sutton, D., & Spry, C. (2019). *One Dose of Doxycycline for the Prevention of Lyme Disease: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines*. Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health.

[293] Tick Bite Prophylaxis [internet]. – Access mode : https://www.cdc.gov/ticks/tickbornediseases/tick-bite-prophylaxis.html.

щодо ефективності короткого курсу амоксициліну для профілактики Лайм-бореліозу. Також автори настанови наголошують, що не потрібно обстежувати кліщів з метою виявлення в них борелій[294,295].

Сучасні підходи до лікування хвороби Лайма у дітей та дорослих

Лікування *мігруючої еритеми.*

Діти < 8 років

1. Амоксицилін – 50 мг/кг/добу розділені на 3 дози (не більше 500 мг на дозу) 14-21 день або Цефуроксим аксетил – 30 мг/кг/добу розділені на 2 дози (не більше 500 мг на дозу) 14-21 день.

Діти > 8 років

2. Доксициклін 4,4 мг/кг/добу розділені на 2 дози (не більше 100 мг на дозу) 10-21 день.

Доксициклін, препарат першої лінії для лікування хвороби Лайма, був винайдений після тетрацикліну з подібними побічними ефектами, включаючи ризик зміни кольору емалі зубів та гіпоплазію емалі зубів, при застосуванні у дітей до 8 років в період одонтогенезу. Але подальші дослідження вказують, що доксициклін, на відміну від інших тетрациклінів, у значно меншій мірі, зв'язується з кальцієм і за даними останніх наукових досліджень не викликає зміну кольору емалі або гіпоплазії емалі зубів у дітей до 8 років. Тому Центри з контролю та профілактики захворювань в США (англ. Centers for Disease Control and Prevention, CDC) рекомендують використовувати доксициклін для лікування гострої та хронічної Ку-гарячки та кліщових рикетсіозів у дітей з масою тіла менше 45 кг[296].

«Червона книга» Американської Асоціації педіатрії (The 2018 AAP "Red Book") стверджує, що «доксициклін можна застосовувати протягом короткого періоду часу (тобто 21 день або менше), не враховуючи вік пацієнта…»[297].

Антибіотики з групи макролідів, не рекомендується використовувати, як препарати першої лінії для лікування ранньої стадії Лайм-бореліозу. Макроліди є препаратами резерву, які слід використовувати лише у випадках, коли пацієнти не толерують амоксицилін, цефуроксим аксетил або доксициклін[298].

Рекомендовані дози при застосуванні макролідів, як препаратів резерву для лікування Лайм-бореліозу у дітей:

1. Азитроміцин 10 мг/кг/добу, максимум 500 мг на добу, 7-10 днів.

2. Кларитроміцин 7,5 мг/кг 2 рази/добу, не більше 500 мг/доза, 14-21день.

3. Еритроміцин 12,5 мг/кг 4 рази/добу, не більше 500 мг/доза, 14-21 день.

Цефалоспорини 1-го покоління, такі як цефалексин, не ефективні при Лайм-бореліозі і не використовуються для його лікування.

Цефтріаксон рекомендовано для лікування пацієнтів з Лайм-бореліозом і з залученням в процес нервової системи або розвитку атріовентрикулярної блокади 3-го ступеня. Хоча він

[294] Nadelman, R. B., Nowakowski, J., Fish, D., Falco, R. C., Freeman, K., McKenna, D., Welch, P., Marcus, R., Agüero-Rosenfeld, M. E., Dennis, D. T., Wormser, G. P., & Tick Bite Study Group (2001). Prophylaxis with single-dose doxycycline for the prevention of Lyme disease after an Ixodes scapularis tick bite. *The New England journal of medicine*, *345*(2), 79–84. https://doi.org/10.1056/NEJM200107123450201

[295] The end of a dogma: the safety of doxycycline use in young children for malaria treatment / Tiphaine Gaillard, Sébastien Briolant, Marylin Madamet [et al.] // Malaria Journal. – 2017. – Vol. 16, N 1. – P. 148. DOI: 10.1186/s12936-017-1797-9.

[296] AAP News. When can doxycycline be used in young children? by H. Cody Meissner M.D., FAAP February 27, 2020 [internet]. – Access mode : https://www.aappublications.org/news/aapnewsmag/2020/02/27/idsnapshot022720.full.pdf.

[297] Brown, K., Corin, S., & Handel, A. S. (2023). Doxycycline for the Treatment of Lyme Disease in Young Children. *The Pediatric infectious disease journal*, *42*(12), e470–e472. https://doi.org/10.1097/INF.0000000000004128

[298] Kullberg, B. J., Vrijmoeth, H. D., van de Schoor, F., & Hovius, J. W. (2020). Lyme borreliosis: diagnosis and management. *BMJ (Clinical research ed.)*, *369*, m1041. https://doi.org/10.1136/bmj.m1041

ефективний для лікування ранніх стадій хвороби Лайма, але його дія водночас має побічні наслідки і не переважає над рекомендованими пероральними антимікробними засобами[299].

Лікування нейробореліозу

Лікування паралічу лицевого нерва (ізольованої форми) проводиться згідно схем лікування ME.

При Лайм-асоційованому паралічі лицевого нерва не рекомендують застосовувати кортикостероїди в додаток до антибіотикотерапії. В пацієнтів з гострим паралічем лицевого нерва, але без об'єктивних клінічних або серологічних ознак хвороби Лайма, терапію кортикостероїдами слід розпочинати впродовж 72 годин від початку паралічу згідно теперішніх рекомендацій по лікування паралічу лицевого нерва.

Лікування Лайм-менінгіту або радикулоневриту

Дітям < 8 років призначають:

1. Цефтріаксон-100 мг/кг/добу розділені на 2 введення (не більше 2 г/добу) 14-21 день.

Ураження черепно-мозкових нервів у пацієнтів з хворобою Лайма часто поєднується зі симптомами менінгіту і лімфоцитарним плеоцитозом у ліквор. Спинномозкова пункція показана при клінічних підозрах на ураження ЦНС (інтенсивний та тривалий головний біль)[300,301,302].

Лікування Лайм-кардиту при помірних його проявах (АВ-блокада 1 ступеня з PR інтервалом < 300 мілісекунд) проводиться згідно схеми лікування ME.

Важкий перебіг Лайм-кардиту (АВ-блокада 1 ступеня з PR інтервалом > 300 мілісекунд, АВ-блокада 2, 3 ступенів):

*Цефтріаксон 50-75мг/кг/д в/в в 2 введення (не більше 2 г/добу) 14-21 день.

*Після усунення симптомів та повної АВ-блокади, можна розглянути можливість переходу на пероральні антибіотики для завершення курсу лікування.

Лікування Лайм-артриту проводиться згідно схеми лікування ME, але зі збільшенням тривалості курсу – 28 днів.

Рекомендована також парентеральна антибіотикотерапія (курс 14-28 днів)

1. Цефтріаксон- 50-75 мг/кг/д в/в 1 раз/добу (не більше 2 г/добу)
2. Цефотаксим 150-200 мг/кг/д розділені на 3-4 дози (максимум 6 г/д)
3. Пеніцилін G 200.000-400.000 ОД/кг/д розділені на 6 доз що 4 години (18-24 млн ОД/добу максимум).

Пацієнтам у яких спостерігаються постійні або періодичні набряки суглобів після рекомендованого курсу пероральної антибіотикотерапії, рекомендоване повторне лікування іншим 4-тижневим курсом пероральних антибіотиків або 2–4-тижневим курсом цефтріаксону довенно.

Наступний 4-тижневий курс пероральної антибіотикотерапії варто призначати пацієнтам, стан суглобів яких покращився після першого курсу антибіотика, але симптоми артриту ще не зникли повністю. Пацієнтам в яких не відбулось покращення, або спостерігається погіршення стану суглобів після першого курсу рекомендовано повторний 4-тижневий курс. Якщо нема позитивної

[299] Dersch, R., Hottenrott, T., Schmidt, S., Sommer, H., Huppertz, H. I., Rauer, S., & Meerpohl, J. J. (2016). Efficacy and safety of pharmacological treatments for Lyme neuroborreliosis in children: a systematic review. *BMC neurology*, *16*(1), 189. https://doi.org/10.1186/s12883-016-0708-y

[300] Ljøstad, U., Skogvoll, E., Eikeland, R., Midgard, R., Skarpaas, T., Berg, A., & Mygland, A. (2008). Oral doxycycline versus intravenous ceftriaxone for European Lyme neuroborreliosis: a multicentre, non-inferiority, double-blind, randomised trial. *The Lancet. Neurology*, *7*(8), 690–695. https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70119-4

[301] Lopez, S. M. C., Campfield, B. T., & Nowalk, A. J. (2019). Oral Management for Pediatric Lyme Meningitis. *Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society*, *8*(3), 272–275. https://doi.org/10.1093/jpids/piy072

[302] Bahadori, A., Ritz, N., & Zimmermann, P. (2023). Diagnosis and treatment of Lyme disease in children. *Archives of disease in childhood. Education and practice edition*, *108*(6), 422–428. https://doi.org/10.1136/archdischild-2023-325398

динаміки лікування артриту, не зважаючи на повторні курси антибіотикотерапії, але ПЛР на визначення ДНК борелій в синовіальній рідині негативний (та при можливості синовіальної тканини) - рекомендовано симптоматичне лікування[303].

Симптоматична терапія може скаладатися з НПЗП або протиревматичних препаратів, таких як гідроксихлорохін, метотрексат. Якщо симптоми синовіїту стійкі і поєднуються зі значним болем та обмеженням функцій суглоба, можна розглянути проведення артроскопічної синовектомії[304].

Захворюваність на Лайм-бореліоз продовжує невпинно зростати як і в європейському регіоні, так і в Україні зокрема. Саме тому необхідно підвищувати інформованість лікарів різних спеціальностей про особливості перебігу, методи діагностики, особливості профілактики та лікування хвороби Лайма в педіатричній практиці.

Мета дослідження: удосконалити діагностику та прогнозування перебігу хвороби, на підставі вивчення клінічних проявів та результатів лабораторних досліджень у дітей з Лайм-бореліозом.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведено проспективне дослідження на основі положень Хельсінської Декларації Всесвітньої Медичної Асоціації і правил якісної медичної практики, добровільної участі, інформування пацієнтів про характер майбутнього дослідження.

Дослідження проведено на базі кафедри дитячих інфекційних хвороб Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького, приймального відділення та базового стаціонару КНП ЛОР ЛОІКЛ, на базі Клініки дитячої імунології та ревматології ЗУСДМЦ, а також у співпраці з медичною лабораторією «Синево».

Обстежено 115 дітей з попереднім діагнозом хвороби Лайма, яких лікували амбулаторно та стаціонарно в КНП ЛОР «Львівська обласна інфекційна клінічна лікарня». Клінічні та лабораторно-інструментальні дослідження проводили на базі КНП ЛОР ЛОІКЛ та медичної лабораторії «Синево». Відповідно до критерій включення в дослідження увійшло 102 дитини, в яких були наявні клінічні ознаки Лайм-бореліозу (ізольована мігруюча еритема (ІМЕ), множинна мігруюча еритема (ММЕ)) та безеритемні форми (БЕФ) ЛБ (Лайм-кардит, нейробореліоз, бореліозна лімфоцитома, Лайм-артрит) з позитивними результатами ІФА та імуноблотаналізу. З когорти досліджуваних дітей сформовано групи пацієнтів: основну склали 80 дітей з еритемною формою (ЕФ) ЛБ, у 64 дітей діагностовано ІМЕ, у 16 – ММЕ; у групу порівняння увійшли 22 дитини з БЕФ ЛБ.

Критерії включення еритмених форм ЛБ:

- вік пацієнтів 1рік-18 років
- наявність мігруючої еритеми (МЕ) або множинної МЕ (ММЕ)
- наявність/відсутність укусу кліща в анамнезі
- позитивний результат дослідження на Borrelia burgdorferi sensu stricto (Bbss), Borrelia garinii та Borrelia afzelii шляхом двоступеневого методу (ІФА та імуноблот)
- згода батьків та пацієнтів на проведення наукового дослідження

До групи з безеритемною формою ХЛ ввійшло 22 пацієнти.

Критерії включення безеритмених форм ЛБ:

- вік пацієнтів 1рік-18 років

[303] Hørder M, Elser RC, Gerhardt W, et al. IFCC methods for the measurement of catalytic concentration of enzymes. Provisional recommendation IFCC method for creatine kinase Appendix A. J Int Fed Clin Chem 1990;2:26-35

[304] Schoen R. T. (2020). Challenges in the Diagnosis and Treatment of Lyme Disease. *Current rheumatology reports*, *22*(1), 3. https://doi.org/10.1007/s11926-019-0857-2

- позитивний результат дослідження на Borrelia burgdorferi sensu stricto (Bbss), Borrelia garinii та Borrelia afzelii шляхом двоступеневого методу (ІФА та імуноблот)
- тривалість болю в суглобах: 2 тижні- 3 місяці
- моно/олігоартикулярна форма артриту
- порушення серцевого ритму (АВ-блокади 1,2 ступеня, подовження інтервалу QTc -corrected QT interval, зміни хвилі ST-T)
- одно-, двосторонній параліч лицевого нерва, діагностично складний енцефаліт
- згода батьків та пацієнтів на проведення наукового дослідження

Контрольну групу сформовано з 27 практично здорових дітей (17 хлопчиків – 64,29 %, 10 дівчат - 35,71%,), в яких в анамнезі не було факту укусу кліща та які не мали клінічних проявів ЛБ.

Комісією з питань біоетики Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького МОЗ України (протокол № 8 від 23.11.2020 р.) порушень морально-етичних норм під час проведення науково-дослідної роботи не виявлено. Усі пацієнти підписали інформовану згоду на проведення досліджень.



Рисунок 1. Групи пацієнтів

Пацієнти основної групи мали ранню локалізовану та еритемну форму ранньої дисемінованої стадії хвороби Лайма, які клінічно проявлялися наявністю ізольованої або множинної мігруючої еритеми та відсутністю змін з боку інших органів та систем.

До пацієнтів групи порівняння були віднесено хворих, що мали ознаки ураження серцево-судинної системи (біль в ділянці серця, відчуття серцебиття, втрата свідомості, порушення

провідності), периферичної та центральної нервової системи (паралічі лицевого нерва, менінгіт), опорно-рухового апарату (біль та припухлість суглобів) та рідкісне ураження шкіри, яке зустрічається лише в Європейському регіоні - бореліозну лімфоцитому.

Контрольну групу сформовано з 27 практично здорових дітей (17 хлопців, 10 дівчат), в яких в анамнезі не було факту укусу кліща та які не мали клінічних проявів ЛБ.

У ході формування груп було проведене анкетування щодо наявності в анамнезі укусів кліща, місця укусу на тілі, місцевості де відбулося присмоктування кліща, часу появи МЕ від моменту укусу, часу через який було видалено кліща і яким способом його видаляли.

Загальний аналіз крові проводився методом потокової цитофлуориметрії з використанням лазерних напівпровідників і гідродинамічного фокусування за допомогою аналізатора Sysmex XT-2000, тест-системою Sysmex.

Тест in vitro для кількісного імунологічного визначення антистрептолізин-О (АСЛ-О) в сироватці крові людини, одиниці виміру МО/мл, виконувався імунотурбідиметричним методом на аналізаторі Cobas 6000, тест-системою Roche Diagnostics (Швейцарія). Принцип методу: людські антитіла проти антистрептолізину О аглютинують з частинками латексу, покритими антигенами стрептолізину О. Осад визначають турбідиметрично.

Тест in vitro для кількісного визначення С-реактивного білка (СРБ) у сироватці та плазмі крові людини виконується латекс- імунотурбідиметричним методом на аналізаторах Cobas 6000/Cobas 8000, тест- системою Roche Diagnostics (Швейцарія).

Основним специфічним методом обстеження на Лайм-бореліоз, що використовувався під час нашого дослідження був серологічний метод, який включав двохетапне тестування: ІФА (ELISA) та БлотАналіз (імуноблот).

Першим виконувався імуноферментний аналіз (ELISA) за допомогою якого ми виявляли титри антитіл IgM та IgG до Borrelia burgdorferi. Аналіз ІФА з використанням аналізатора EUROIMMUN Analyzer I (Німеччина) та тест-системи EUROIMMUN (Німеччина). Референтні значення відповідно до вимог виробника : ≤16 Од/мл – негативний результат; від 16 до 22 Од/мл – сумнівний результат; ≥22 Од/мл – позитивний результат.

Концентрація антитіл IgM/ IgG до Borrelia burgdorferi у сироватці крові розраховується шляхом побудови стандартної логарифмічної кривої концентрацій калібраторів 1-3.

У випадку позитивних або сумнівних результатів серологічного дослідження, другим кроком є їх підтвердження методом імуноблот. ВБ слід проводити лише після нещодавнього позитивного або сумнівного результату ІФА з метою уникнення хибно-позитивних або хибно-негативних результатів.

Метод імунного блотингу виконувався з використанням тест-системи EUROIMMUN (Німеччина).

Референтні значення відповідно до вимог виробника (Не виявлено/ Виявлено/ Пограничний результат).

До компонентів тесту Borrelia burgdorferi, антитіла IgM (БлотАналіз) входили: VlsE , p41, p39, OspC Ba (Borrelia afzelii), OspC Bb (Borrelia burgdorferi), OspC Bg (Borrelia garinii), IgM.

Інтерлейкін-6 визначається електрохемілюмінесцентним методом (ECLIA). ECLIA - імуноаналіз для кількісного визначення in vitro ІЛ-6 в сироватці та плазмі крові людини за допомогою реагентів Roche Diagnostics (Швейцарія) Принцип проведення аналізу – принцип «сендвіча».

Для діагностики Лайм-артриту використовувався метод ультразвукового дослідження суглобів. Ультразвукова діагностика суглобів проводилась на на УЗ-сканері Toshiba TUS-A500, серійний номер WAD 1682917.

Електрокардіографія проводилась з метою виключення порушень ритму в дітей з Лайм-бореліозом.

Оцінюючи параметри ЕКГ ми звертали увагу на інтервал PQ, який відповідає за деполяризацію передсердь, поширення імпульсу через атріовентрикулярне з'єднання та шлуночкову провідну систему. Цей показник включає зубець Р і сегмент PQ і вимірюється від початку зубця Р до початку шлуночкового комплексу. В дітей до 14 років інтервал PQ не довший 0,16 сек, до 18 років не довший – 0,18 сек.

Статистичні методи досліджень. Отримані первинні дані досліджень вносились в сформовані електронні бази даних. На першому етапі статистичної обробки числові показники перевірялись на нормальність розподілу із використанням критерію Шапіро-Уілка. За результатами перевірки, дані що відповідали нормальному розподілу, наводили у вигляді M±SD, де M – середнє арифметичне значення, SD –стандартне відхилення. Дані, що за характером розподілу не відповідали нормальному, були представлені у вигляді медіани та квартилей: Me [25%; 75%], де Me – медіана (50-й процентиль), 25% – перший квартиль (25-й процентиль), 75% – третій квартиль (75-й процентиль). При аналізі відносних величин здійснювався розрахунок їхніх відсотків та 95 % довірчого інтервалу, який розраховувався методами Вальда або Фішера. При проведенні оцінки вірогідності різниці отриманих результатів поміж порівнюваними групами використано:

- непарний t-критерій – для двох груп з гаусівським розподілом;
- U-критерій Манна Уітні – для двох груп із негаусівським розподілом;
- критерій χ^2 (ксі-квадрат) – при порівнянні часток.

Якщо очікуване значення в одній із комірок таблиці частот становило менше 5, то використовувався точний критерій Фішера. Різниця вибірок вважалась достовірною при $p < 0,05$. При розрахунку коефіцієнтів парної кореляції було використано метод Пірсона (для кількісних первинних даних) або метод Спірмена (для якісних або напівкількісних первинних даних).

При формуванні прогностичної моделі для визначення вірогідності появи Лайм-артриту та паралічу лицевого нерва у дітей з Лайм-бореліозом, нами застосовано метод логістичної регресії.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

ІІ. Епідеміологічні та етіологічні особливості еритемних та безеритемних форм Лайм-бореліозу у дітей

2.1 Епідеміологічні та етіологічні особливості еритемних форм Лайм-бореліозу у дітей

З метою дослідження епідеміологічних особливостей Лайм-бореліозу у пацієнтів з ЕФ ЛБ нами було вивчено наступні чинники: день появи МЕ, сезон, коли відбувся укус кліща, місце, де відбувся укус, через який час і яким способом було видалено кліща.

Групу пацієнтів з ЕФ ЛБ склали 64 дитини: з ізольованою мігруючою еритемою – 48 пацієнтів та 16 – з множинною мігруючою еритемою.

Серед 64 пацієнтів з ІМЕ 15 дітей (23,44%) зазнали укусу кліща в червні місяці, 11 (17,19%) – у травні, 10 (15,63%) – в липні, шість (9,38%) – у серпні, 4 дітей (6,25%) – у вересні, троє пацієнтів (4,69%) – у квітні та жовтні. Водночас 11 дітей з ізольованою МЕ (17,19%) та їх батьки не пам'ятали про укус кліща (Рис 2.1).

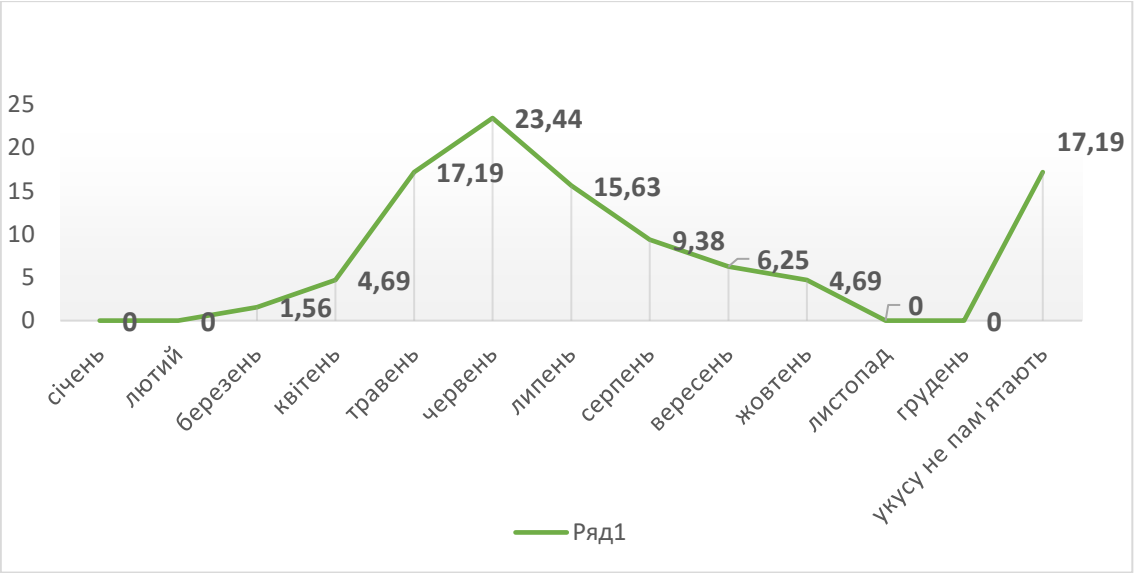


Рисунок.2.1. Присмоктування кліща у пацієнтів з ІМЕ залежно від місяця (%)

Нами встановлено, що місцем, де найчастіше відбувалося присмоктування кліща у дітей з ІМЕ був тулуб (22%). Нечасто пацієнти відмічали укус кліща в ділянці шиї (3%). В однієї дитини одночасно було два присмоктування кліща (нижні кінцівки і тулуб).

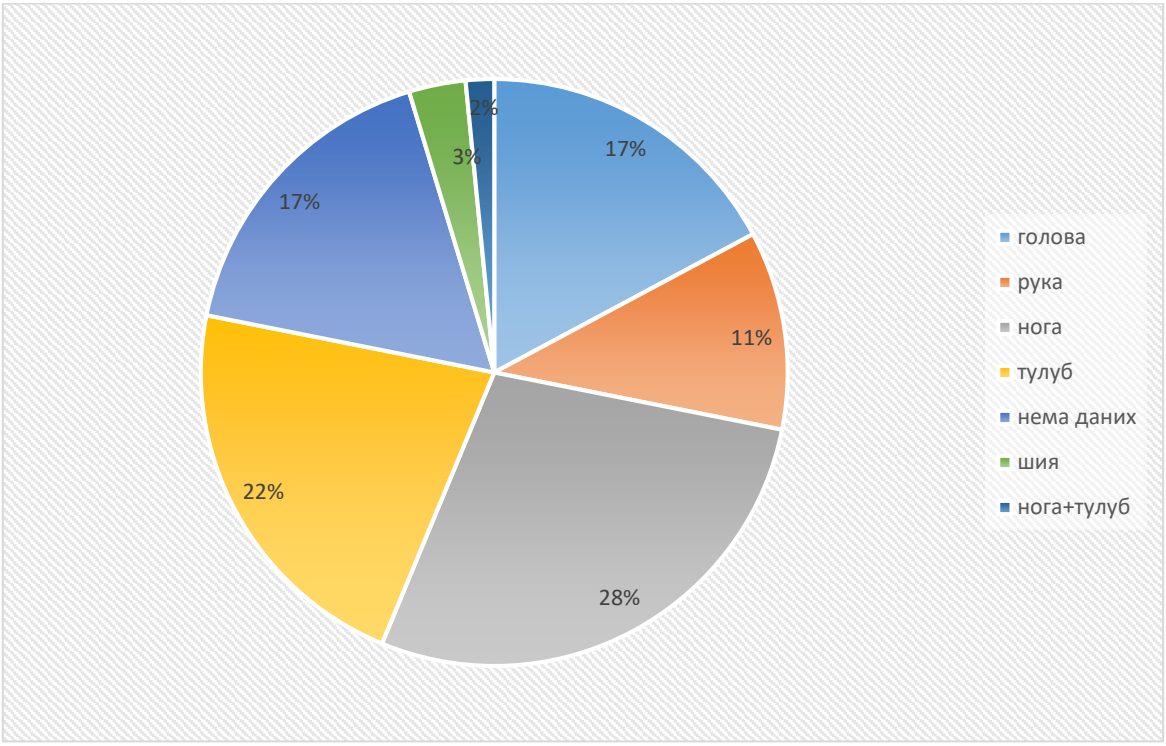


Рисунок 2.2. Ділянки присмоктування кліща у пацієнтів з ІМЕ, %

Серед пацієнтів з ММЕ, чотири дитини (25%) зазнали укусу кліща в червні місяці, двоє (12.5%) – у вересні, один пацієнт (6,25%) – в липні, серпні та жовтні місяці. Сім осіб (43,75%) з ММЕ не пам'ятали про укус кліща. (Рис 2.3)

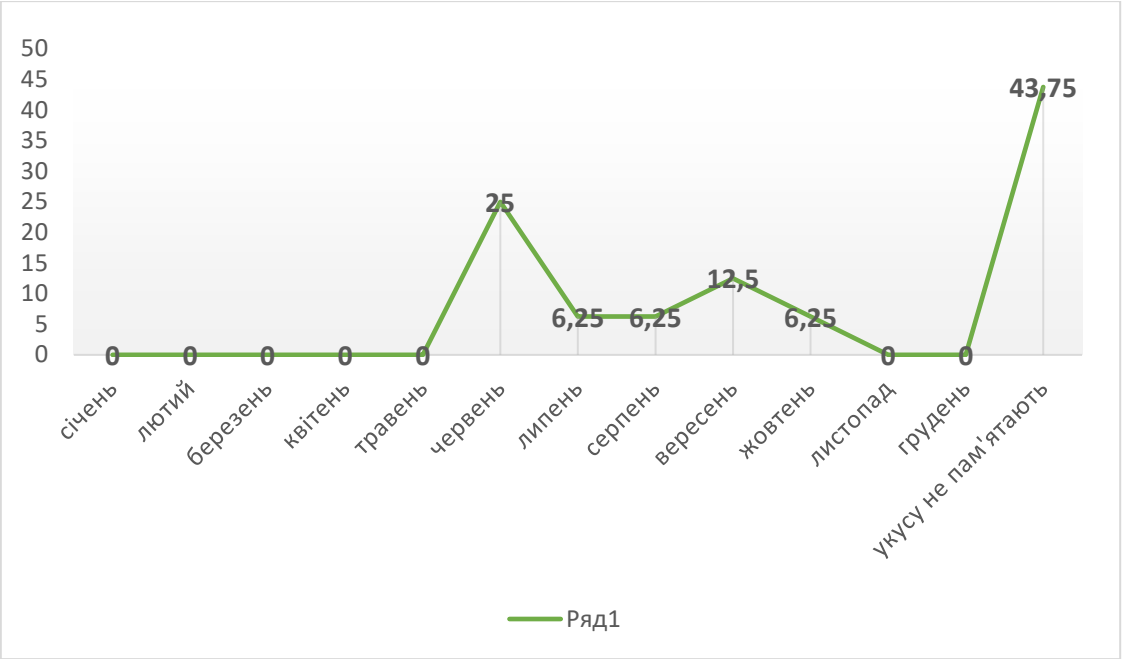


Рисунок.2.3. Присмоктування кліща у пацієнтів з ММЕ залежно від місяця (%)

У жодного із пацієнтів з ІМЕ та ММЕ укус кліща не було зареєстровано взимку, а серед дітей з ММЕ не було зареєстровано епізодів присмоктування кліща весною ($p<0.0001$)

У 19% пацієнтів з ММЕ найчастіше присмоктування кліща відмічалося в ділянці нижніх кінцівок (3 дитини) та тулуба (3 дитини). Заперечували наявність укусу кліща в анамнезі семеро дітей та їх батьків (44%) (Рис 2.4).

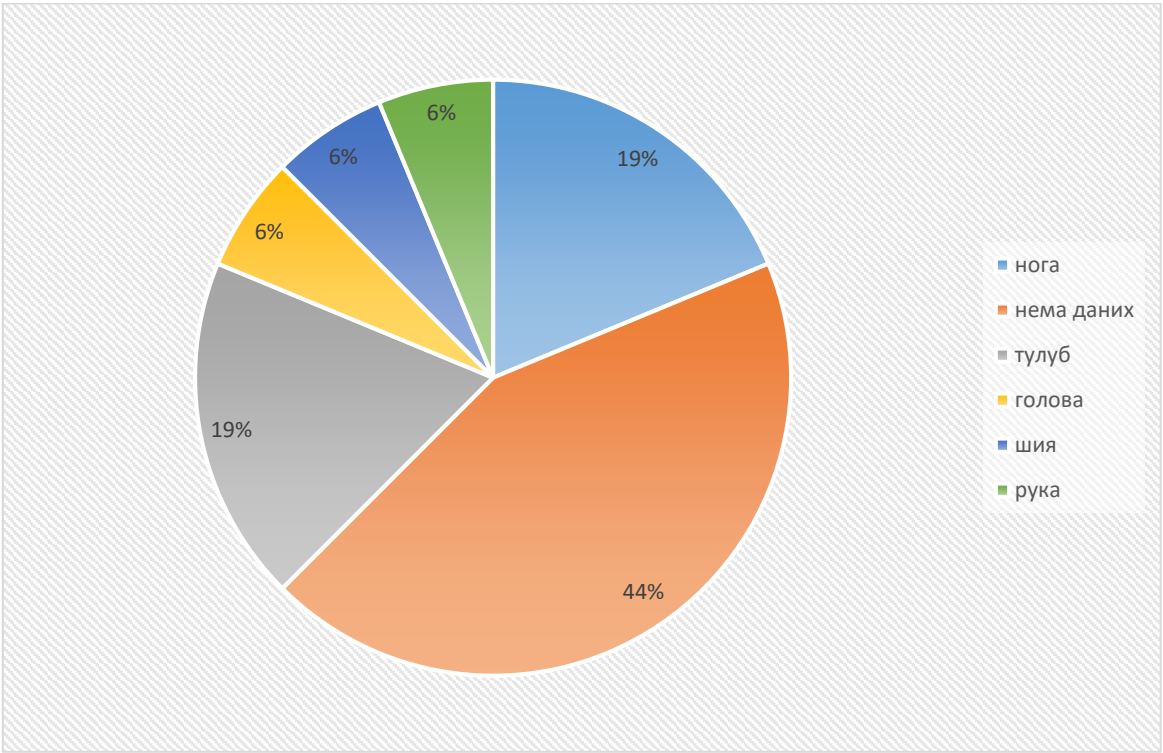


Рисунок 2.4. Ділянки присмоктування кліща у пацієнтів з ММЕ, %

У середньому появу МЕ у пацієнтів з ЕФ ЛБ було зареєстровано

приблизно в однакові терміни: у дітей з ІМЕ – на 11.0 [8.8-14.0] добу та з ММЕ – на 11.0 [9.0-18.0] добу.

У більш ніж третини пацієнтів з ІМЕ (39.1% [27.6-51.2]) та ММЕ (37.5% [16.2-61.8]) укус кліща було зафіксовано у парковій зоні. Укус кліща відбувся у сільській місцевості у 14.1% [6.7-23.6] випадків серед пацієнтів з ІМЕ, що було достовірно (p=0.002) частіше, аніж у дітей з ММЕ, де таких пацієнтів зареєстровано не було. Відзначимо також, що лише у пацієнтів з ІМЕ укус кліща було зареєстровано під час перебування на території присадибної ділянки (6.3% [1.7-13.4], p=0.04).

У половини (50.0% [37.9-62.1]) пацієнтів з ІМЕ кліщ був видалений у межах 12 год після укусу, а у дітей з ММЕ подібних пацієнтів зареєстровано не було (p < 0.001 у порівнянні з ІМЕ). Найвищою частка пацієнтів, у яких кліщ був видалений у межах до 48 год після укусу, виявилась у дітей з ММЕ (37.5% [16.2-61.8], достовірно (p=0.01) відрізняючись від такої у пацієнтів з ІМЕ, де цей показник становив лише 6.3% [1.7-13.4].

У 21.9% [12.7-32.7] пацієнтів з ІМЕ кліщ був видалений батьками (висмикнули пальцями різким рухом). У приблизно такої ж частки пацієнтів з ІМЕ (23.4% [14.0-34.5]) батьки видалили кліща шляхом викручування його пінцетом, достовірно (p=0.04) відрізняючись від частки таких пацієнтів з ММЕ, де вона становила лише 6.3% [0.0-22.8]. У 9.4% [3.5-17.7] випадків у дітей з ІМЕ пацієнти видалили кліща самостійно, зішкрябавши його нігтем.

У 25.0% [15.2-36.3] пацієнтів з ІМЕ та у 31.3% [11.6-55.3] дітей з ММЕ кліщ був видалений лікарем; за даним показником пацієнти між собою істотно не відрізнялись (p< 0.05).

При зборі анамнезу відомо, що перед відвідуванням лісів, парків, присадибних ділянок, батьки не використовували репелентів для обробки одягу з метою попередження присмоктування кліщів.

У пацієнтів з ІМЕ та ММЕ захворювання найчастіше було спричинене трьома видами борелій (B. afzelii, B. burgdoferi та B. garinii) (Табл. 2.1). Водночас поєднання трьох борелій виявилося найчастішою причиною множинної мігруючої еритеми у дітей (93.8% [77.2-100.0]), достовірно відрізняючись від такого у пацієнтів з ізольованою мігруючою еритемою (65.6% [53.6-76.7], p=0.001).Частка хлопців з ІМЕ у яких виявлено антитіла до B. afzelii, B. burgdoferi та B. garinii становила 68.3% [53.4-81.5].

Найвищу частку пацієнтів із антитілами до двох видів борелій виявлено у дітей з ІМЕ, де цей показник становив 23.4% [14.0-34.5]; виявившись достовірно вищим, аніж такий у пацієнтів з ММЕ (6.3% [0.0-22.8], p=0.04).

Подібні відмінності виявлено і окремо серед пацієнтів чоловічої та жіночої статей – антитіла одночасно до двох борелій зареєстровано майже у половини пацієнтів обох статей з ІМЕ (48.8% [33.8-63.9] серед хлопчиків та 47.8% [28.2-67.9] серед дівчаток). Серед пацієнтів обох статей цей показник виявився достовірно вищим, аніж такий у дітей з ММЕ (антитіла одночасно до двох борелій не були зареєстровані у жодного із пацієнтів чоловічої статі та у 11.1% [0.0-38.2] дівчаток) (p<0.0001 та p=0.02, відповідно).

Частка пацієнтів з ІМЕ, у яких захворювання спричинене поєднанням двох борелій, а саме B.afzelii та B.burgdorferi становила 18.8 % [10.2-29.2], що було достовірно вище у порівнянні з пацієнтами з ММЕ.

Таблиця 2.1

Етіологічні особливості хвороби Лайма у пацієнтів з ЕФ ЛБ до лікування (%, [95% ДІ])

Показник	**ІМЕ**	**ММЕ**
Антитіла до одного виду борелій	10.9 [4.5-19.7]#,*	0.0 [0.0-5.9]
• B. afzelii	3.1 [0.3-8.8]	0.0 [0.0-5.9]
• B. burgdoferi	3.1 [0.3-8.8]	0.0 [0.0-5.9]
• B. garinii	4.7 [0.9-11.2]	0.0 [0.0-5.9]
Антитіла до двох видів борелій	23.4 [14.0-34.5]#	6.3 [0.0-22.8]
• B. afzelii та B. burgdoferi	18.8 [10.2-29.2]#	0.0 [0.0-5.9]*
• B. afzelii та B. garinii	1.6 [0-6.0]	6.3 [0.0-22.8]
• B. burgdoferi та B. garinii	3.1 [0.3-8.8]	0.0 [0.0-5.9]
Антитіла до трьох видів борелій (B.afzelii, B.burgdorferi, B.garinii)	65.6 [53.6-76.7]#,*	93.8 [77.2-100.0]*

* - p<0,05 у порівнянні із БЕФ ЛБ

\# - p<0,05 у порівнянні із ММЕ

У жодного із пацієнтів з ММЕ не було зареєстровано наявності антитіл одночасно до B. afzelii та B. burgdoferi, що суттєво (p=0.0002) відрізнялося від від показників дітей з ІМЕ, у яких антитіла до цих збудників виявлено близько у чверті пацієнтів (18.8% [10.2-29.2]).

Спостерігалися відмінності при дослідженні антитіл до B. afzelii та B. burgdoferi у дітей як жіночої так і чоловічої статі. У дівчаток з ІМЕ цей показник становив 17.4% [5.0-35.1], у хлопчиків - 19.5% [9.0-32.9], істотно (p=0.03 та p=0.002 відповідно) відрізняючись від такого у дітей з ММЕ.

Антитіла до одного виду борелій виявлено у 10.9% [4.5-19.7] пацієнтів з ІМЕ та у жодного пацієнта з ММЕ (p=0.01). Ці відмінності виявились достовірними і окремо серед пацієнтів чоловічої та жіночої статей (p=0.02 у порівнянні з особами з ММЕ) - у даних когортах пацієнтів з ІМЕ цей показник становив 12.2% [4.1-23.8] та 17.4% [5.0-35.1], відповідно.

У дітей з ІМЕ найчастіше виявлялись антитіла до B. garinii (у 4.7% [0.9-11.2]). У хлопців з ІМЕ частка антитіл до B. garinii становила 4.9% [0.5-13.5]. Натомість серед дівчат частіше реєструвалась наявність антитіл до B. burgdoferi (у 8.7% [0.9-23.3]). Однак, за даним показником пацієнти різних статей між собою істотно не відрізнялись.(Табл.2.2)

Таблиця 2.2

Антитіла до борелій залежно від статі до лікування, (%, [95% ДІ])

Форма ЛБ	**Ізольована мігруюча еритема**	
	Дівчата	**Хлопці**
Антитіла до двох видів Борелій (B.afzelii, B.burgdorferi)	17.4% [5.0-35.1]	19.5% [9.0-32.9]
Антитіла до одного виду борелій (B.garinii – хлопчики, B.burgdorferi – дівчата)	8.7% [0.9-23.3]	4.9% [0.5-13.5]

У пацієнтів з еритемними формами ЛБ лікування проводилось залежно від віку та форми захворювання.

Серед 64 пацієнтів з ізольованою МЕ, 28 дітям проводилась антибіотикотерапія доксицикліном (43,75%). Двадцяти трьом дітям (35,93%) призначався амоксицилін з клавулановою кислотою .

Дітям, які в анамнезі мали алергічні реакції на амоксицилін чи амоксицилін-асоційований висип, отримували цефуроксим аксетил (12,5%). П'ятеро дітей, які проходили лікування в стаціонарних умовах отримували цефтріаксон з подальшим переходом на пероральний антибіотик.

Тривалість антибіотикотерапії у пацієнтів з ІМЕ складала 14 та 21 день (41 та 23 дитини відповідно).

З 16 пацієнтів з ММЕ, семеро дітей отримували антибіотикотерапію амоксициліном з клавулановою кислотою (43,75%), шестеро - доксицикліном (37,50%), дві дитини – цефуроксим аксетилом (12,50%). Одному пацієнту у стаціонарі було призначено цефтріаксон (6,25%).

Тривалість антибіотикотерапії у дітей з ММЕ становила 21 день.

Після лікування антитіла одночасно до двох борелій було виявлено більш ніж у третини пацієнтів з ІМЕ (31.3% [20.6-43.1]) та ММЕ (31.3% [11.6-55.3]) (Табл 2.3).

Таблиця 2.3

Етіологічні особливості у пацієнтів ЕФ ЛБ після лікування (%, [95% ДІ])

Показник	ІМЕ	ММЕ
Антитіла до одного виду борелій	29.7 [19.2-41.4]	37.5 [16.2-61.8]
• **B. afzelii**	12.5 [5.6-21.6]	12.5 [1.4-32.5]
• **B. burgdoferi**	10.9 [4.5-19.7]	25.0 [7.6-48.3]
• **B. garinii**	6.3 [1.7-13.4]#,*	0.0 [0.0-5.9]
Антитіла до двох видів борелій	31.3 [11.6-55.3]#	31.3 [11.6-55.3]#
• **B. afzelii та B. burgdoferi**	18.8 [10.2-29.2]	31.3 [11.6-55.3]
• **B. afzelii та B. garinii**	9.4 [3.5-17.7]#,*	0.0 [0.0-5.9]
• **B. burgdoferi та B. garinii**	3.1 [0.3-8.8]	0.0 [0.0-5.9]
Антитіла до трьох видів борелій (B.afzelii, B.burgdorferi, B.garinii)	35.9 [24.7-48.0]	25.0 [7.6-48.3]

* - p<0,05 у порівнянні із пацієнтами з БЕФ ЛБ

\# - p<0,05 у порівнянні з ММЕ

Після лікування антитіла одночасно до двох борелій було виявлено більш ніж у третини пацієнтів з ІМЕ (31.3% [20.6-43.1]) та ММЕ (31.3% [11.6-55.3]) (Табл 2.3). Подібні істотні відмінності відзначено і окремо серед пацієнтів чоловічої та жіночої статі: так, у дітей з ІМЕ цей показник становив 29.3% [16.5-43.9] (хлопчики) та 34.8% [17.1-55.0] (дівчатка), а у пацієнтів з ММЕ - 6.3% [0.0-22.8] (хлопчики) та 44.4% [15.4-75.8] (дівчатка) (p=0.02 поміж пацієнтами з ІМЕ та ММЕ, p=0.0001 поміж пацієнтами з ІМЕ та БЕФ ЛБ (хлопчики); p=0.001 поміж дітьми з ІМЕ і БЕФ ЛБ та p=0.01 поміж пацієнтами з ММЕ та БЕФ ЛБ (дівчатка)). (Табл.2.4).

Таблиця 2.4

Антитіла до борелій при ЕФ ЛБ залежно від статі в динаміці після лікування, (%,[95% ДІ])

Форма ЛБ/ Стать	**Ізольована мігруюча еритема**		**Множинна мігруюча еритема**	
	Дівчата	**Хлопці**	**Дівчата**	**Хлопці**
Антитіла IgM, IgG до OspC та VlsE двох видів борелій	34.8% [17.1-55.0]	29.3% [16.5-43.9]	44.4% [15.4-75.8]	6.3% [0.0-22.8]

Одночасно антитіла до B. afzelii та B. garinii було виявлено лише у пацієнтів з ІМЕ (9.4% [3.5-17.7]) та у жодного із ММЕ та БЕФ ЛБ (p=0.01). Подібну тенденцію відзначено і у пацієнтів чоловічої статі: у даної когорти дітей з ІМЕ цей показник становив 12.2% [4.1-23.8], істотно відрізняючись від пацієнтів з ММЕ та БЕФ ЛБ (p=0.02).

Також у 6.3% [1.7-13.4] пацієнтів з ІМЕ виявлено антитіла лише до B. garinii, у той час як у пацієнтів з ІМЕ та БЕФ ЛБ таких виявлено не було (p=0.04).

Відзначимо також, що у близько половини пацієнтів чоловічої статі з ІМЕ (46.3% [31.5-61.5]), у 18.8% [4.1-40.8] хлопчиків з ММЕ виявлено антитіла лише до одного виду борелій. Цей показник серед хлопчиків з ІМЕ виявився достовірно вищим, аніж такий у пацієнтів з ММЕ.

2.2 Епідеміологічні та етіологічні особливості безеритемних форм Лайм-бореліозу у дітей

Серед пацієнтів з безеритемними формами Лайм-бореліозу двоє (9.09%) відмічали укус в травні місяці, троє пацієнтів (13,64 %) – в червні місяці, ще троє дітей (13,64%) – в липні місяці, по одному пацієнту – відмічали укус кліща в серпні (4,55%), вересні (4,55%) та жовтні (4,55%), 11 дітей (50%) не пам'ятали за укус кліща (Рис 2.5).

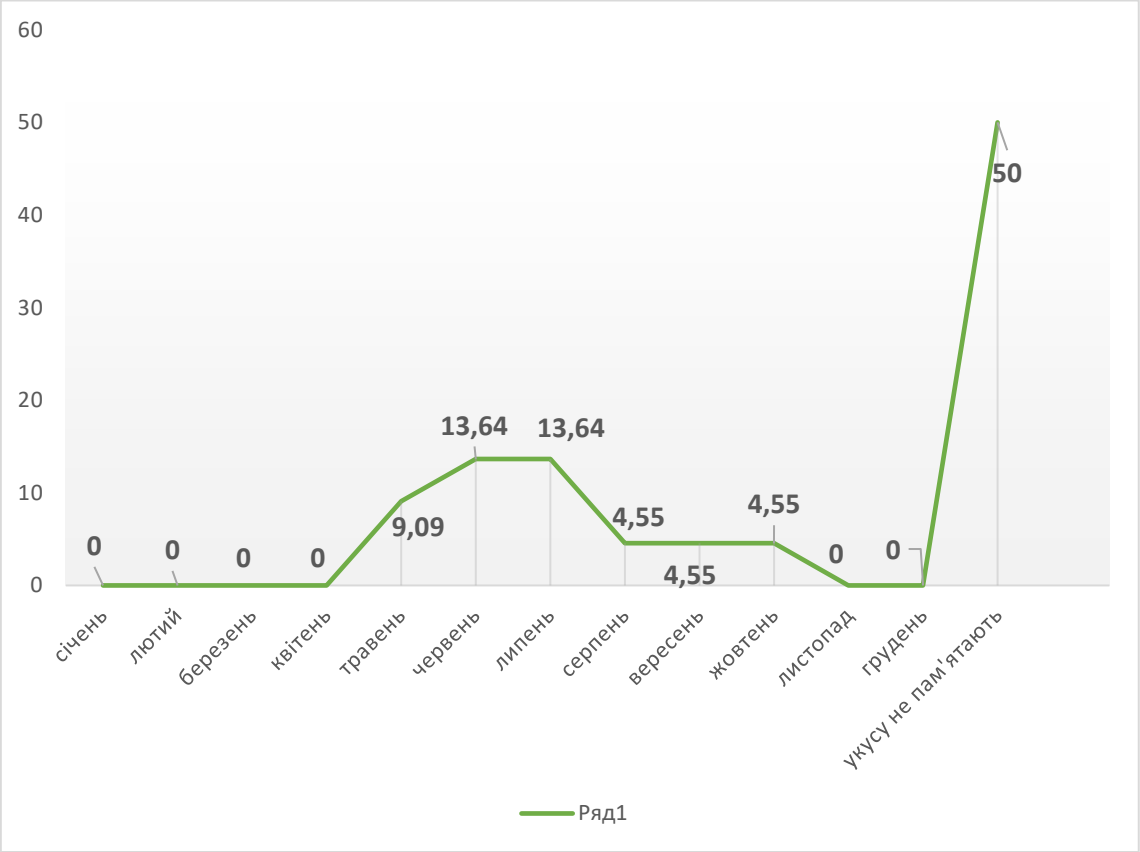


Рисунок 2.5. Присмоктування кліща у пацієнтів з БЕФ ЛБ залежно від місяця (%)

У 9.1% [0.9-24.3]) пацієнтів з БЕФ ЛБ укус кліща було зафіксовано у парковій зоні, що було достовірно (p=0.001 та p=0.04) рідше порівняно із рівнем даного показника у дітей з ЕФ ЛБ.

У 31.8% [14.5-52.3] пацієнтів з БЕФ ЛБ кліщ був видалений лікарем; за даним показником пацієнти з ЕФ та БЕФ ЛБ між собою істотно не відрізнялись (p< 0.05). Натомість половина пацієнтів з БЕФ ЛБ (50.0% [29.7-70.3] та близько половини з ММЕ (43.8% [21.1-67.8]) не змогли повідомити

про спосіб видалення кліща, достовірно відрізняючись від дітей з ІМЕ, де їх частка склала 17.2% [9.0-27.3] (p=0.049 у порівнянні з ММЕ та p=0.01 порівняно з БЕФ ЛБ).

У дітей з БЕФ ЛБ найчастіше присмоктування кліща відмічалося в ділянці голови (23%). Половина пацієнтів з безеритемними формами ЛБ заперечували епізод укусу кліща в анамнезі (Рис. 2.6)

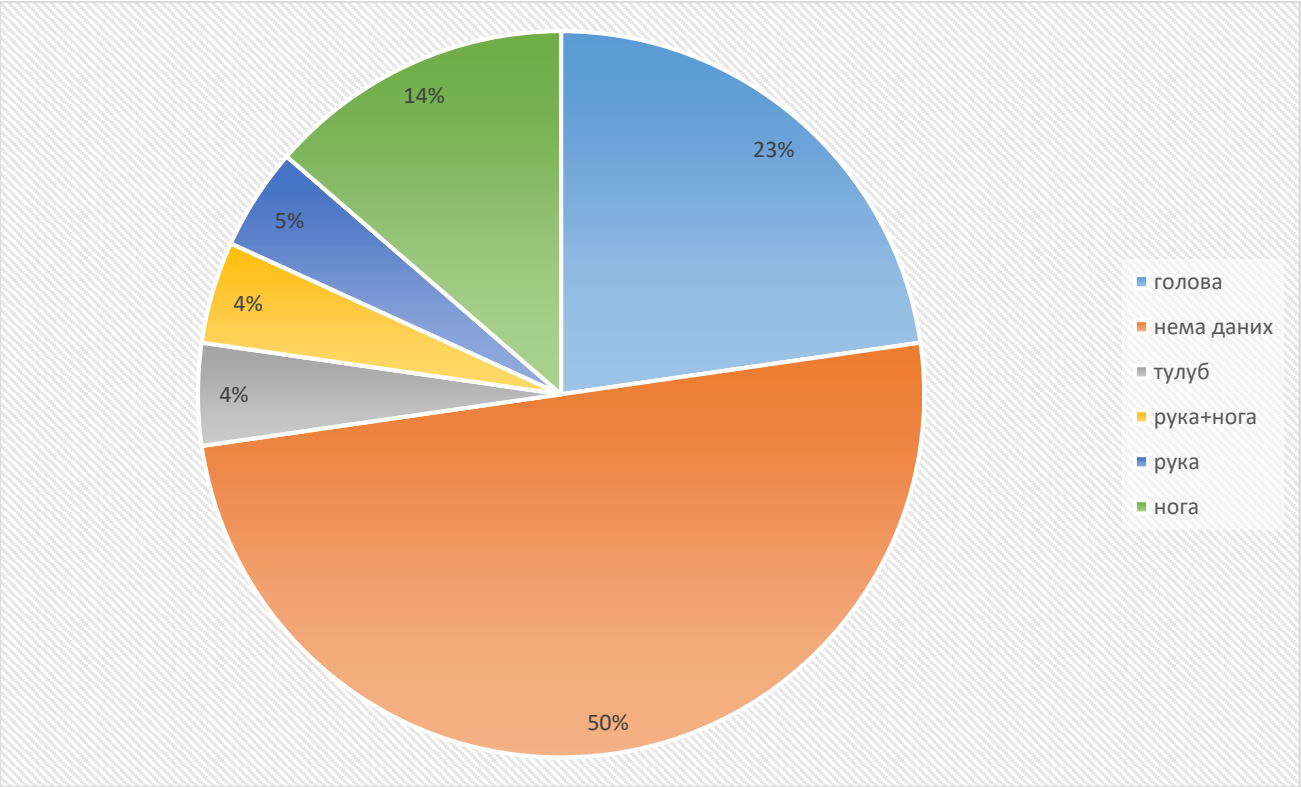


Рисунок 2.6. Ділянки присмоктування кліща у пацієнтів з БЕФ ЛБ, %

У пацієнтів з БЕФ ЛБ захворювання найчастіше було спричинене поєднанням трьох видів борелій (B. afzelii, B. burgdoferi та B. garinii) (Табл. 2.5).

У дітей з БЕФ ЛБ цей показник становив 36.4 % [18.0-57.1], що було достовірно менше (p<0.0001) у порівнянні з пацієнтами з ІМЕ та ММЕ.

Істотною виявилась також відмінність цього показника між пацієнтами з ІМЕ та БЕФ ЛБ (p=0.02).

Дану тенденцію відзначено і серед пацієнтів жіночої статі; достовірні (p=0.02) відмінності за рівнем даного показника виявлено поміж когортою пацієнтів з ММЕ (88.9% [61.8-100.0]) та БЕФ ЛБ (45.5% [18.5-74.0]).

Серед хлопців з БЕФ ЛБ частка пацієнтів, у яких зареєстровано наявність антитіл до B. afzelii, B. burgdoferi та B. garinii становила 13.6% [2.8-30.7], що було істотно (p<0.0001) менше у порівнянні з пацієнтами з ІМЕ (68.3% [53.4-81.5]). Також достовірні (p=0.04) відмінності за даним показником виявлені поміж пацієнтами чоловічої статі з ММЕ (43.8% [21.1-67.8] та БЕФ ЛБ.

Таблиця 2.5

Етіологічні особливості Лайм-бореліозу у пацієнтів з БЕФ ЛБ до лікування (%, [95% ДІ])

Показник	БЕФ ЛБ
Антитіла до одного виду борелій	0.0 [0.0-4.3]
• **B. afzelii**	0.0 [0.0-4.3]
• **B. burgdoferi**	0.0 [0.0-4.3]
• **B. garinii**	0.0 [0.0-4.3]
Антитіла до двох видів борелій	22.7 [8.1-42.1]
• **B. afzelii та B. burgdoferi**	22.7 [8.1-42.1]
• **B. afzelii та B. garinii**	0.0 [0.0-4.3]
• **B. burgdoferi та B. garinii**	0.0 [0.0-4.3]
Антитіла до трьох видів борелій (B.afzelii, B.burgdorferi, B.garinii)	36.4 [18.0-57.1]

Частка дітей з БЕФ ЛБ, у яких захворювання було спричинене поєднанням двох видів борелій, а саме B. afzelii та B. burgdoferi, становила 22.7 % [8.1-42.1], що було достовірно вище (p=0.02) у порівнянні з пацієнтами з ММЕ. Частка дітей чоловічої статі з БЕФ ЛБ у яких захворювання спричинене поєднянням двох видів борелій становила 13.6% [2.8-30.7]), що було достовірно (p=0.001) нижче у порівнянні з хлопчиками з ІМЕ.

У жодного пацієнта з БЕФ ЛБ один вид борелії не став причиною захворювання.

Антибіотикотерапія призначена пацієнтам з БЕФ ЛБ, залежала від віку та форми захворювання. Серед 22 пацієнтів з БЕФ ЛБ, 15 дітям проводилась антибіотикотерапія доксицикліном (68,18%). П'ятьом дітям (22,72%) призначався амоксицилін з клавулановою кислотою .

Двоє дітей, які проходили лікування в стаціонарних умовах отримували цефтріаксон з подальшим переходом на пероральний антибіотик.

Тривалість антибіотикотерапії у пацієнтів з БЕФ ЛБ складала 21день у дітей з Лайм-кардитом, паралічем лицевого нерва, Лайм-менінгітом, бореліозною лімфоцитомою та 28 днів у пацієнтів з Лайм-артритом. Усі пацієнти з Лайм-артритом одужали після одного курсу антибіотикотерапії.

Після лікування у жодного із пацієнтів з БЕФ ЛБ (p<0.0001 у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ та p=0.01 у порівнянні із пацієнтами з ММЕ) не було виявлено антитіл одночасно до двох борелій (Табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Етіологічні особливості Лайм-бореліозу у пацієнтів з БЕФ ЛБ після проведеного лікування в динаміці через 6 місяців (%, [95% ДІ])

Форма ЛБ / Показник	БЕФ ЛБ
Антитіла IgM, IgG до бореліоз-специфічних антигенів OspC та VlsE однієї борелії	22.7 [8.1-42.1]
• **B. afzelii**	9.1 [0.9-24.3]
• **B. burgdoferi**	13.6 [2.8-30.7]
• **B. garinii**	0.0 [0.0-4.3]
Антитіла IgM, IgG до бореліоз-специфічних антигенів OspC та VlsE двох видів борелій	0.0 [0.0-4.3]
• **B. afzelii та B. burgdoferi**	0.0 [0.0-4.3]
• **B. afzelii та B. garinii**	0.0 [0.0-4.3]
• **B. burgdoferi та B. garinii**	0.0 [0.0-4.3]

Продовження таблиці 2.6

Форма ЛБ / Показник	БЕФ ЛБ
Антитіла IgM, IgG до бореліоз-специфічних антигенів OspC та VlsE трьохвидів боре лій **(B.afzelii, B.burgdorferi, B.garinii)**	36.4 [18.0-57.1]

Частка пацієнтів з БЕФ ЛБ у яких визначалися антитіла до одного виду борелій після лікування становила 22.7 % [8.1-42.1]. Частка пацієнтів з антитілами до B. afzelii становила 9.1% [0.9-24.3], до B. burgdoferi - 13.6 % [2.8-30.7]. У 9.1% [0.9-24.3] дітей чоловічої статі з БЕФ ЛБ після лікування виявлено антитіла до одного виду борелій, що було достовірно (p=0.0003) менше у порівнянні з хлопчиками з ІМЕ.

Висновки:

1. Пацієнти з ІМЕ, ММЕ та з БЕФ ЛБ найчастіше зазнавали укусу кліща в червні (23,44% , 25% та 13,64% відповідно).

2. У дітей з ІМЕ найчастішим місцем присмоктування кліща були нижні кінцівки (18%), у пацієнтів з ММЕ – тулуб та нижні кінцівки (19%).

3. У дітей з БЕФ ЛБ найчастішим місцем присмоктування кліща була голова (23%). Проте 50% пацієнтів даної групи не пам'ятали про епізод укусу кліща.

4. У 38 пацієнтів (59,38%) з ІМЕ хвороба спричинена поєднанням трьох видів борелій. Найчастіше поєднання двох видів борелій, B.afzelii та B.burgdorferi, виявлено у 17,19% дітей з ІМЕ. B.garinii була найчастішою причиною ІМЕ у пацієнтів, в яких ЛБ спричинений одним видом борелій (6,25 %).

5. У дітей ММЕ була спричинена у 14 пацієнтів поєднанням трьох видів борелій (87,5%). У жодного пацієнта один вид борелій не був причиною ММЕ.

6. У пацієнтів з БЕФ ЛБ, поєднання трьох видів борелій стало причиною захворювання у 10 дітей (45,45%), поєднання B.afzelii та B.burgdorferi зустрічалося у чотирьох, а B.burgdorferi виявлена в одного пацієнта.

ІІІ. Клінічно-лабораторні особливості еритемних та безеритемних форм Лайм-бореліозу у дітей.

3.1 Клінічно-лабораторні особливості пацієнтів з еритемною формою Лайм-бореліозу до лікування.

У групу з ЕФ ЛБ було включено пацієнтів із одиничною мігруючою еритемою (n=64) та з множинною мігруючою еритемою (n=16). Контрольну групу склали умовно здорові особи (n=27).

Серединне значення віку пацієнтів з ізольованою МЕ складало 8.0 [4.8; 11.0], 5.5 [3.0; 7.3] років для пацієнтів з множинною МЕ та 8,0 [4.5; 11.0] років у групі контролю.

Розподіл груп залежно від статі наведено в Табл 3.1.

Таблиця 3.1.

Розподіл пацієнтів залежно від статі (%, [95% ДІ])

Стать / Показник	ІМЕ n=64	ММЕ n=16	БЕФ ЛБ n=22	Контрольна група n=27
Хлопці	64.1% [52.0-75.3]	43.8% [21.1-67.8]	50.0% [29.7-70.3]	63.0% [44.3-79.8],
Дівчата	35.9% [24.7-48.0]	56.3% [32.2-78.9]	50.0%[29.7-70.3]	37.0% [20.2-55.7]

Враховуючи, що найчастішим клінічним проявом у пацієнтів з ЛБ є мігруюча еритема, ми з'ясували найчастіші місця локалізації ME у пацієнтів з IME та MME.

Нами встановлено, що серед 64 дітей з IME, мігруюча еритема найчастіше спостерігалася на нижніх кінцівках (36%) та тулубі (25%) і лише у 5% пацієнтів в ділянці шиї (Рис. 3.1)

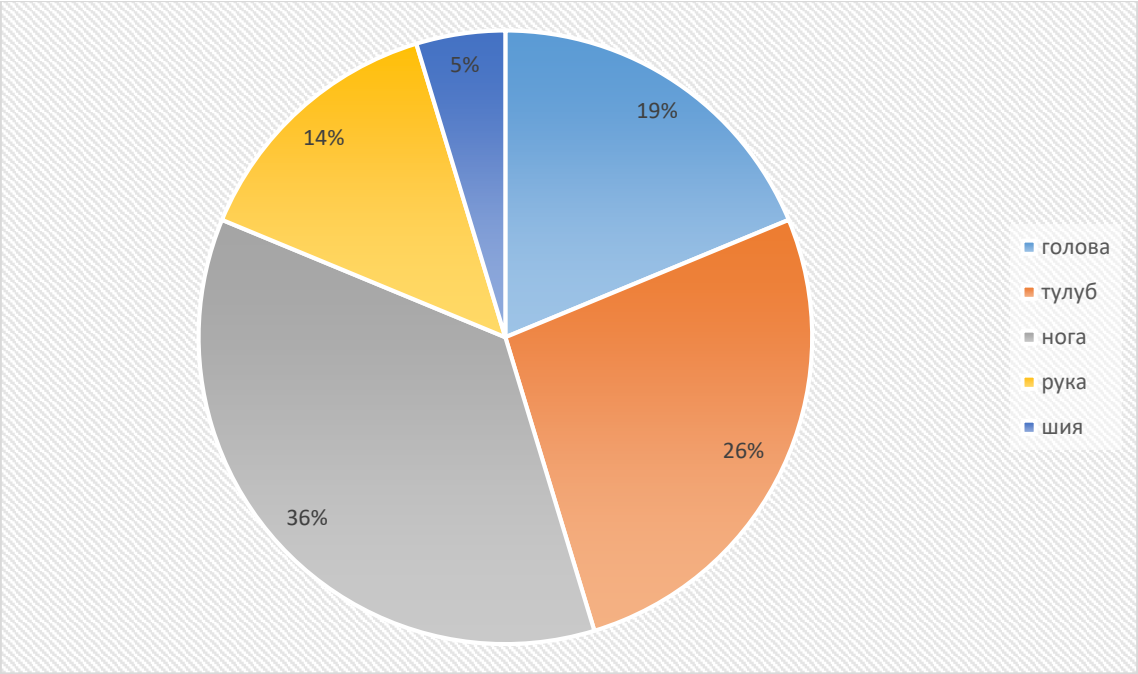


Рисунок 3.1. Локалізація еритем у пацієнтів з IME (n=64), %

У дітей з MME найчастіше спостерігалося поєднання наявності еритем на тулубі та верхніх кінцівках (25%), на верхніх, нижніх кінцівках та голові (19%) (Рис. 3.2)

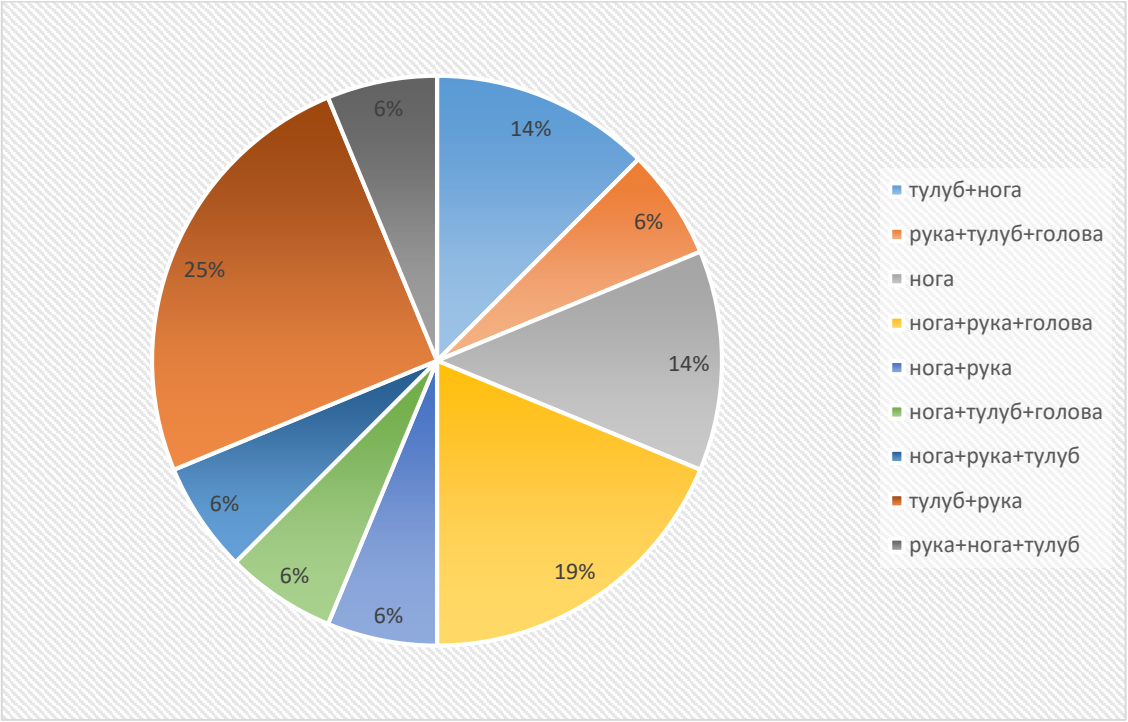


Рисунок 3.2. Локалізація еритем у пацієнтів з MME (n=16), %

У пацієнтів з ІМЕ найчастіше спостерігалась мігруюча еритема розміром 7 см в діаметрі (51,58%), лише у 9,36% дітей МЕ сягала більше 10 см. У більшості дітей з ІМЕ, мігруюча еритема мала круглу форму (46,86%) і червоне забарвлення (28,13%). У пацієнтів з ММЕ найчастіше спостерігалося до 10 мігруючих еритем одночасно (68,75%) і лише в однієї дитини було більше 20 еритем (6,25%) (Табл.3.2).

Таблиця 3.2

Характеристика ізольованої та множинної мігруючої еритеми у пацієнтів з ЕФ ЛБ, %

ф **Форма ЛБ** / **Опис еритеми**	**Ізольована мігруюча еритема (n=64)**	**Множинна мігруюча еритема (n=16)**
Розмір МЕ		
5 см	15 (23,43%)	6 (37.5%)
7 см	33 (51,58%)	7 (43,75)
10 см	10 (15,63%)	3 (18,75%)
>10 см	6 (9,36%)	Не було
Форма МЕ		
Овальна	20 (31,26%)	6 (37,5%)
Кругла	30 (46,86%)	10 (62.5%)
Дугою	14 (21,88%)	Не було
Колір еритем		
Червоний	18 (28,13%)	3 (18,75%)
Багряний	12 (18,75%)	Не було
Рожевий	16 (25%)	8 (50%)
З просвітленням всередині	10 (15,62%)	3 (18,75%)
Зі затемненням всередині	8 (12,5%)	2 (12,5%)
МЕ з везикулами	1 (1,56%)	Не було
МЕ з місцем видимого присмоктування кліща	10 (15,62%)	Не було
Кількість еритем		
До 10		11 (68,75 %)
10-20		4 (25%)
>20		1 (6.25%)



Рисунок 3.3. Множинна мігруюча еритема в ділянці нижніх кінцівок дитини. Хворий Г., 3 роки, діагноз: Лайм-бореліоз: рання дисемінована стадія, множинна мігруюча еритема.

Також нами було оцінено ряд лабораторних показників, зокрема, загального аналізу крові та маркерів запалення: С-реактивний протеїн, ШОЕ, прозапального цитокіну IL-6. До та після лікування було оцінено рівні креатинфосфокінази, фракцію МВ (КФК-МВ), антистрептолізину О (АСЛО), ревматоїдного фактору (РФ); Заразом досліджувався рівень антитіл IgM, IgG до B.burgdorferi, а також імуноблот IgM, IgG до B.burgdorferi.

При дослідженні загального аналізу крові, виявлено, що серединні значення усіх показників периферичної крові знаходились у межах норми у всіх пацієнтів та у групі контролю. Водночас встановлено ряд достовірних відмінностей у рівнях досліджуваних показників поміж пацієнтами з ЕФ та БЕФ ЛБ та групою контролю. (Табл 3.3).

Таблиця 3.3

Серединні значення показників загального аналізу крові у пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ (Me [25%; 75%])

Форма ЛБ / Показник	ІМЕ (n= 64)	ММЕ (n=16)	БЕФ ЛБ (n=22)	Контрольна група (n=27)
Лейкоцити, 10^9/л, у т. ч.	6.9 [5.9; 8.1]	7.9 [6.6; 8.8]	8.7 [7.8; 9.6]	6.9 [6.1; 7.3]
Паличкоядерні нейтрофіли, %	2.0 [2.0; 6.0]	2.0 [0.5; 3.0]	2.0 [2.0; 4.0]	1.0 [0.0; 2.5]
Сегментоядерні нейтрофіли, %	42.0 [35.3; 45.0]	45.0 [39.5; 49.5]	43.5 [40.0; 47.0]	39.5 [31.2; 47.3]
Лімфоцити, %	41.0 [36.3; 46.9]	39.0 [33.8; 41.0]	38.3 [34.5; 40.0]	44.6 [37.5; 51.0]

Аналізуючи гендерні відмінності поміж пацієнтами клінічних груп, відзначимо, що у хлопчиків з ІМЕ серединний рівень лейкоцитів (6.8 [5.6; 8.0 109/л] виявився достовірно нижчим, аніж такий у хлопчиків з ММЕ (8.9 [8.3; 11.3] 109/л, p=0.01. У дівчаток істотні відмінності виявлені при оцінці серединних рівнів паличкоядерних нейтрофілів. Так, найнижчим цей показник виявився у пацієнток з ММЕ - 2.0% [0.0; 2.0], достовірно відрізняючись від такого у дітей з ізольованою МЕ (3.5% [2.0; 5.3], p=0.001). Серединний рівень сегментоядерних нейтрофілів (39.5% [31.2; 47.3]) у контрольній групі зареєстровано найнижчим у порівнянні із пацієнтами з ЕФ та БЕФ ЛБ; достовірними ці відмінності відзначено у порівнянні з дітьми з ММЕ (p=0.03). Заразом у групі контролю серединний рівень лімфоцитів виявився вищим, аніж такий у пацієнтів з ММЕ (p=0.04) та БЕФ ЛБ (p=0.005) .

При оцінці маркерів запальних захворювань, нами встановлено, що найвища частка пацієнтів, у яких рівень СРП становив <0.3 мг/л, виявилась у дітей з ММЕ і складала 43.8% [21.1-67.8], у той час, як у пацієнтів з ІМЕ цей показник становив 39.1% [27.6-51.2].

У пацієнтів з ІМЕ серединні рівні ШОЕ (p=0.047) виявилися достовірно нижчими у порівнянні із пацієнтами з ММЕ.

Відзначимо, що рівень IL-6, в межах референтних значень, частіше (у 85.9% [76.4-93.3] випадків) реєструвався у пацієнтів з ІМЕ у порівнянні із пацієнтами з ММЕ, де частка пацієнтів із такими рівнями даного показника становила 56.3% [32.2-78.7]. Нормальні рівні IL-6 визначалися в 82.6% [64.9-95.0] дівчат з ІМЕ і у 33.3% [8.1-65.4] пацієнток з ММЕ.

Серединні рівні СРП, ШОЕ та ІЛ-6 подано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Серединні значення маркерів запальних захворювань у пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ (Me [25%; 75%])

Форма ЛБ / Показник	ІМЕ (n=64)	ММЕ (n=16)	БЕФ ЛБ (n=22)
СРП, мг/л	1.4 [0.6; 3.7]	2.1 [1.5; 2.4]	5.0 [3.9; 12.0] *, #
ІЛ-6, пг/мл	3.1 [2.7; 3.3]	2.3 [2.1; 2.8]	4.2 [3.0; 4.4] *, #
ШОЕ, мм/год	5.0 [2.0; 8.0]	6.0 [3.5; 6.5]	6.5 [4.0; 14.3]

- p<0,05 у порівнянні з ІМЕ

* - p<0,05 у порівнянні з ММЕ

Рівень АСЛО в межах норми був зареєстрований у майже половини пацієнтів з ІМЕ – у 45.3% [33.4-57.5] випадків, близько у третини пацієнтів з ММЕ - 31.3% [11.6-55.3] та у 40.7% [23.3-59.5] осіб групи контролю.

Рівень АСЛО та РФ у пацієнтів з ЕФ ЛБ та контрольної групи був в межах норми.

Серединний рівень КФК-МВ у пацієнтів з ММЕ становив 28.0 [25.5; 33.5] Од/л і виявився достовірно вищим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ (25.0 [19.8; 27.0] Од/л, p=0.03). При аналізі гендерних особливостей даного показника істотні зміни виявлені лише у пацієнтів чоловічої статі. Так, серединний рівень КФК-МВ у хлопців з ММЕ (28.0 [26.3; 44.0] Од/л) виявився достовірно (p=0.046) вищим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ (25.0 [21.0; 28.0] Од/л). (Таблиця 3.5).

Таблиця 3.5

Серединні значення КФК-МВ у пацієнтів з ЕФ ЛБ та контрольної групи (Me [25%; 75%])

Форима ЛБ / Показник	Кількість (n)	КФК-МВ, ОД/л
ІМЕ	64	25.0 [19.8; 27.0]
ММЕ	16	28.0 [25.5; 33.5] *.#
Контрольна група	27	21.0 [19.5; 23.5]

* - p<0,05 у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ

- <0,05 у порівнянні із БЕФ ЛБ

До лікування у близько чверті пацієнтів з ізольованою МЕ (у 15.6% [7.8-25.5] випадків) та з ММЕ (у 18.8% [4.1-40.8] випадків) було виявлено рівні IgM >200 Од/мл. Відзначимо, що аналізуючи гендерні особливості даного показника, частка хлопчиків та дівчаток із рівнями IgM >200 Од/мл у пацієнтів з ІМЕ становила 12.2% [4.09-23.81] та 21.7% [7.7-40.5], відповідно.

Водночас серединні рівні IgM у пацієнтів з ізольованою формою МЕ становили 23.8 [5.7; 30.9] Од/мл. Відзначимо також, що серединний рівень IgM у хлопців з ІМЕ (26.0 [7.3; 37.2] Од/мл) був достовірно (p=0.03) вищим, аніж такий у цієї ж когорти пацієнтів з БЕФ ЛБ (23.9 [15.6; 26.5]).

Надмірно високі рівні IgG >200 Од/мл виявлено лише в одного пацієнта з ізольованою МЕ (1.6% [0-6.0]) та у 2 пацієнтів з ММЕ (12.5% [1.4-32.5]) (Таблиця 3.6).

Таблиця 3.6

Рівень антитіл IgM, IgG до B.burgdorferi >200 Од/мл задежно від форми ЛБ (%, [95% ДІ])

Форма ЛБ / Показник	Ізольована мігруюча еритема	Множинна мігруюча еритема
IgM >200 Од/мл	15.6% [7.8-25.5]	18.8% [4.1-40.8]
IgG >200 Од/мл	1.6% [0-6.0]	12.5% [1.4-32.5]

Структура результатів імуноблотаналізу IgM та IgG у пацієнтів клінічних груп до лікування представлена у додатку В.1.

Частка виявлених IgM до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів з ІМЕ становила 76.6% [65.5-86.0] і виявилася достовірно нижчою (p=0.04), аніж у пацієнтів з ММЕ (93.8% [77.2-100.0]). Також частка виявлених IgM у пацієнтів з ММЕ виявилась достовірно вищою, ніж така у групі з БЕФ ЛБ. додатку В.1.

При аналізі гендерних особливостей встановлено, що в усіх пацієнтів чоловічої статі з ММЕ (100.0% [86.9-100.0]) зареєстровано наявність антитіл IgM до бореліоз-специфічних антигенів; цей показник виявився істотно вищим, аніж такий у хлопчиків з ізольованою МЕ і становив 70.7% [56.1-83.5], p=0.0001.

У пацієнтів з ЕФ ЛБ (ІМЕ та з ММЕ) найвищими були частки виявлених IgM до p41 та OspC Ba (Рис.3.4, 3.5).

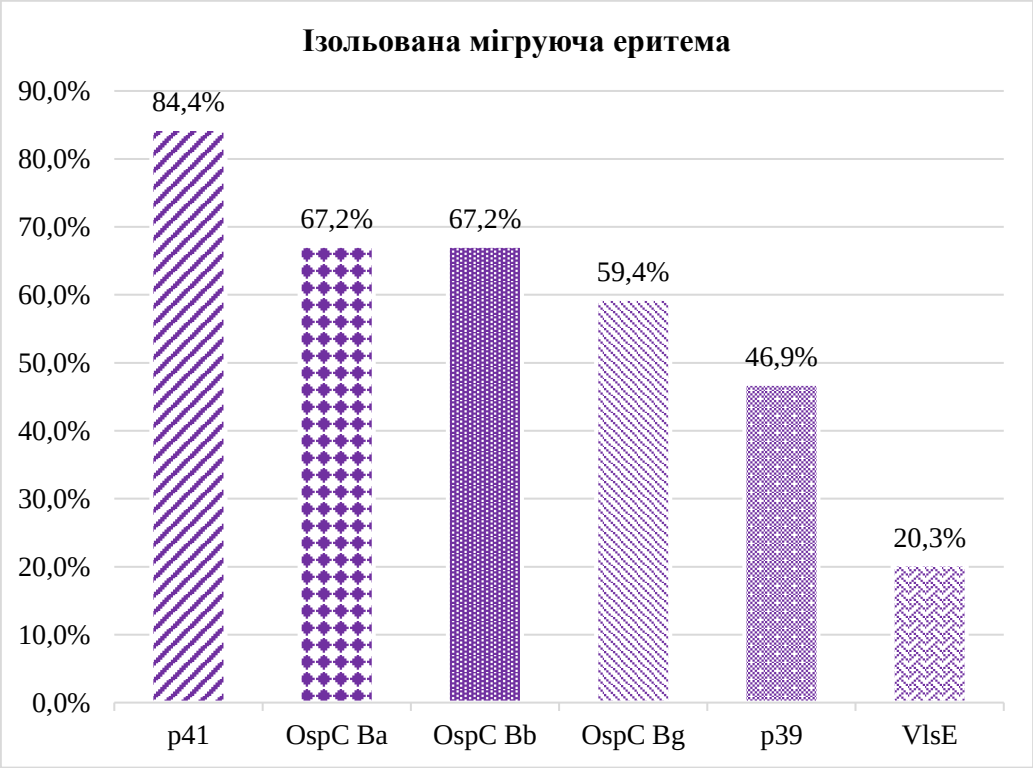


Рисунок 3.4. Структура виявлених антитіл IgM до бореліоз-специфічних антигенів OspC (Ba, Bb, Bg), p41, p 39, VlsE у пацієнтів з ІМЕ до лікування

У всіх пацієнтів чоловічої статі з ММЕ було виявлено наявність антитіл класу IgM до антигену p41, істотно частіше у порівнянні з хлопцями з ІМЕ (80.5% [67.1-91.0], p=0.002).

Відзначимо також, що у дітей з ІМЕ частка пацієнтів, у яких було виявлено IgM до p39 становила 46.9% [34.9-59.1]. Подібна тенденція відзначалась і у пацієнтів чоловічої статі: так, частка цього показника серед хлопців з ІМЕ становила 48.8% [33.8-63.9].

Частка виявлених IgM до OspC Ba у пацієнтів з ІМЕ становила 67.2% [55.3-78.1], у пацієнтів з ММЕ - 87.5% [67.5-98.7] (Рис.3.4, 3.5).

Подібні показники виявлені серед пацієнтів чоловічої статі: у дітей з ізольованою МЕ - 68.3% [53.4-81.5], в осіб з ММЕ - 85.7% [52.7-100.0].

У дівчаток з ІМЕ та ММЕ подібних істотних відмінностей не виявлено.

У пацієнтів з ІМЕ та ММЕ також вагомі частки складали IgM до OspC Bb - 67.2% [55.3-78.1] та 81.3% [59.2-95.9] відповідно (Рис 3.4, 3.5).

Такі ж відмінності прослідковувались і серед пацієнтів чоловічої статі: у дітей з ІМЕ частка IgM до OspC Bb становила 70.7% [56.1-83.5], а у хлопчиків з ММЕ - 100.0% [86.9-100.0]. Окрім того відмінності даних показників виявились істотними і поміж хлопцями з ізольованою МЕ та ММЕ (p=0.0001). Поміж дівчатами з ІМЕ та ММЕ достовірних відмінностей у частках IgM до антигену OspC Bb виявлено не було.

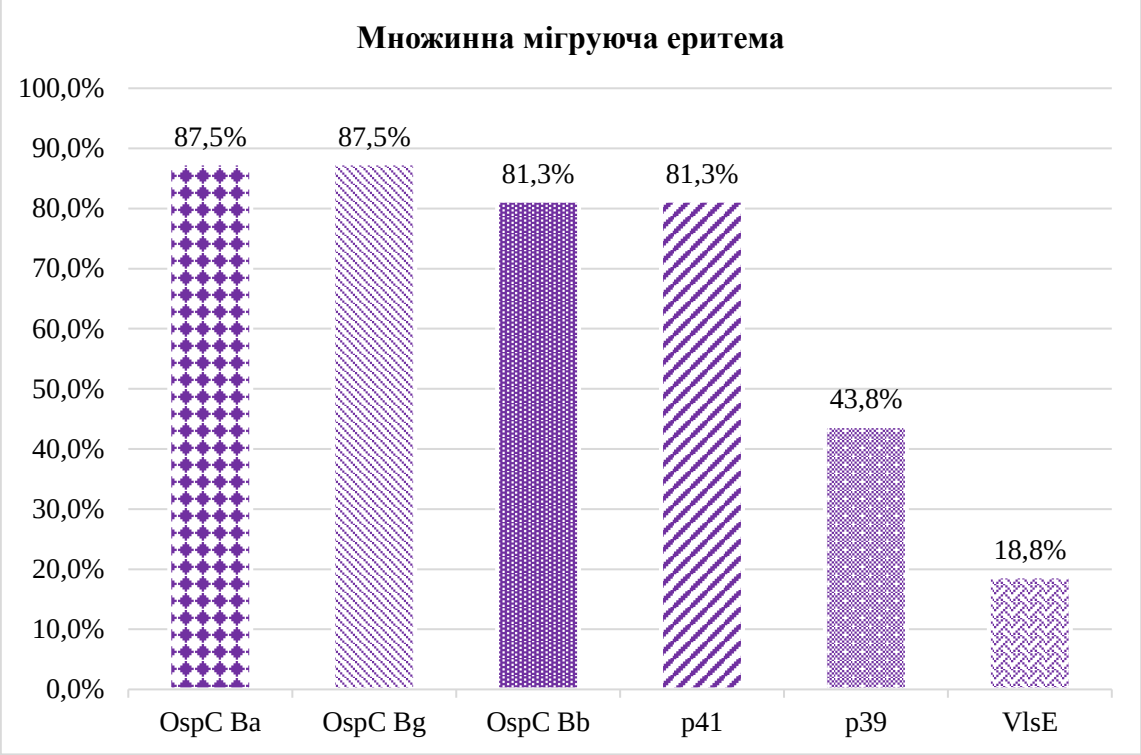


Рисунок 3.5. Структура виявлених антитіл IgM до бореліоз-специфічних антигенів OspC (Ba, Bb, Bg), p41, p 39, VlsE у пацієнтів з ММЕ до лікування

Натомість частка пацієнтів із верифікованою наявністю антитіл до OspC Bg (59.4% [47.2-71.0]) у дітей з ІМЕ виявилась достовірно (p=0.01) нижчою у порівнянні із пацієнтами з ММЕ (87.5% [67.5-98.7]). Аналогічна тенденція прослідковувалась і окремо у дівчат: частка IgM до антигену OspC Bg у пацієнток з ІМЕ становила 52.2% [32.1-71.9], а з ММЕ - 88.9% [61.8-100.0] (p=0.02 у порівнянні з ІМЕ). У хлопчиків подібних істотних відмінностей не виявлено.

Найнижчою в дітей з ІМЕ та ММЕ виявилась частка IgM до VlsE; проте за даним показником істотних відмінностей поміж пацієнтами групи ЕФ ЛБ виявлено не було (p>0,05).

У групі з ЕФ ЛБ усього у 5 пацієнтів з ІМЕ (7.8% [2.6-15.6] та окремо серед хлопчиків - у 9.8% [2.7-20.6] випадків) не було виявлено антитіл класу IgM до жодного із бореліоз-специфічних антигенів, достовірно (p=0.02 для загальної групи пацієнтів та p=0.04 у випадку пацієнтів чоловічої статі) більше у порівнянні із пацієнтами з ММЕ, де таких дітей зареєстровано не було. Подібних істотних відмінностей поміж дівчатами не виявлено.

Частка виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів знаходилась на приблизно однаковому рівні в усіх дітей: у пацієнтів з ІМЕ цей показник становив 70.3% [58.6-80.8], у дітей з ММЕ - 87.5% [67.5-98.7]. За даним показником пацієнти та їх жіноча когорта поміж собою достовірно не відрізнялись (p>0,05) (Рис 3.5, 3.6).



Рисунок 3.6. Структура виявлених антитіл IgG до бореліоз-специфічних антигенів VlsE (Ba, Bb, Bg), p41, OspC Ba, p83, p39, p20, p58, p21, p18, p19, Lipid Ba, Bb у пацієнтів з ІМЕ до лікування.

Натомість частка виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів чоловічої статі з ІМЕ (65.9% [50.8-79.4]) виявилась достовірно нижчою, аніж така у пацієнтів з ММЕ (100.0% [86.9-100.0], p<0.0001).

В пацієнтів з ЕФ ЛБ найвищими були частки виявлених IgG до p41, OspC Ba, VlsE Bb та VlsE Ba.

Антитіла IgG до антигену p41 були виявлені у всіх пацієнтів з ММЕ (Рис. 3.6, 3.7). Водночас привертає увагу те, що частка виявлених IgG до VlsE Ba у пацієнтів з ІМЕ (48.4% [36.4-60.6]) була істотно нижчою (p=0.0003) у порівнянні із пацієнтами з ММЕ, де цей показник становив 87.5% [67.5-98.7].

Зауважимо, що в усіх пацієнтів чоловічої статі з ММЕ було виявлено наявність антитіл класу IgG до антигену VlsE Bb; цей показник був достовірно (p=0.0005) вищим у порівнянні із таким у пацієнтів з ІМЕ, де він становив 75.6% [61.5-87.4]. Серед пацієнток з ІМЕ та ММЕ таких істотних відмінностей за даним показником виявлено не було.



Рисунок 3.7. Структура виявлених антитіл IgG до бореліоз-специфічних антигенів VlsE (Ba, Bb, Bg), p41, OspC Ba, p83, p39, p20, p58, p21, p18, p19, Lipid Ba, Bb у пацієнтів з ММЕ до лікування.

В усіх пацієнтів чоловічої статі з ММЕ встановлено наявність антитіл класу IgG до антигену VlsE Bg; цей показник був істотно вищим, аніж такий у пацієнтів з ізольованою МЕ (43.9% [29.2-59.1], p<0.0001). Аналогічні відмінності зареєстровані і щодо антитіл до антигену OspC Ba – у пацієнтів з ізольованою МЕ їх частка становила 75.6% [61.5-87.4], p <0.0005 у порівнянні із пацієнтами з ММЕ.

Для оцінки характеру й щільності взаємозв'язків поміж обраними досліджуваними епідеміологічними, клінічними та лабораторними показниками було застосовано кореляційний аналіз.

Частота наявності як ізольованої, так і множинної мігруючої еритеми у пацієнтів із еритемними формами захворювання достовірно поєднувалась із частотою виявлення антитіл класу IgM до антигенів OspC Ba та OspC Bg, а також IgG до антигену VlsE Ba, демонструючи середньої сили, протилежно направлений зв'язок для пацієнтів з ІМЕ (r= -0.30, r= -0.34, та r= -0.38 відповідно, p<0,05) та прямий зв'язок для пацієнтів із ММЕ (r=0.30, r=0.34, та r=0.38 відповідно, p<0,05).

Нами було оцінено характер та щільність взаємозв'язків поміж наявністю і рівнями антитіл класів IgG та IgM та антитіл до антигенів OspCBa, OspCBb, OspCBg, p41, VlsEBa, VlsEBb, VlsEBg, p83, p39 та p41.

У пацієнтів з ЕФ ЛБ частота виявлення наявності антитіл класу IgM достовірно поєднувалась із частотою встановлення наявності антитіл цього класу до антигенів OspC Ba (r=0.58, p<0,05), OspC Bb (r=0.63, p<0,05), OspC Bg (r=0.48, p<0,05), p41 (r=0.46, p<0,05), а також із IgM до антигену p41 (r=0.46, p<0,05); між цими показниками зареєстровано прямий достовірний зв'язок середньої сили.

Достовірно у пацієнтів з ЕФ ЛБ поєднувалась також і частота наявності антитіл класу IgG до антигенів VlsE Ba (r=0.33, p<0,05), VlsE Bb (r=0.40, p<0,05), VlsE Bg (r=0.30, p<0,05), OspC Ba (r=0.46, p<0,05), демонструючи прямий зв'язок середньої сили, а також до антигену p39 (r=0.27, p<0,05), де виявлено прямий слабкий зв'язок. Натомість виявлено протилежно направлений достовірний слабкий зв'язок (r=-0.26, p<0,05) антитіл IgM до антигену OspC Bg. Також частота виявлення антитіл класу IgG поєднувалась із частотою встановлення наявності антитіл IgM до антигену p41 (r=0.35, p<0,05, прямий зв'язок середньої сили).

Аналізуючи рівні антитіл класу IgG та IgM, виявлено, що зростання рівня IgM поєднувалось зі зростанням частоти виявлення антитіл цього ж класу до антигенів OspC Ba (r=0.29, p<0,05, прямий слабкий зв'язок) та OspC Bb (r=0.30, p<0,05, прямий зв'язок середньої сили) (Рис. 3.8).

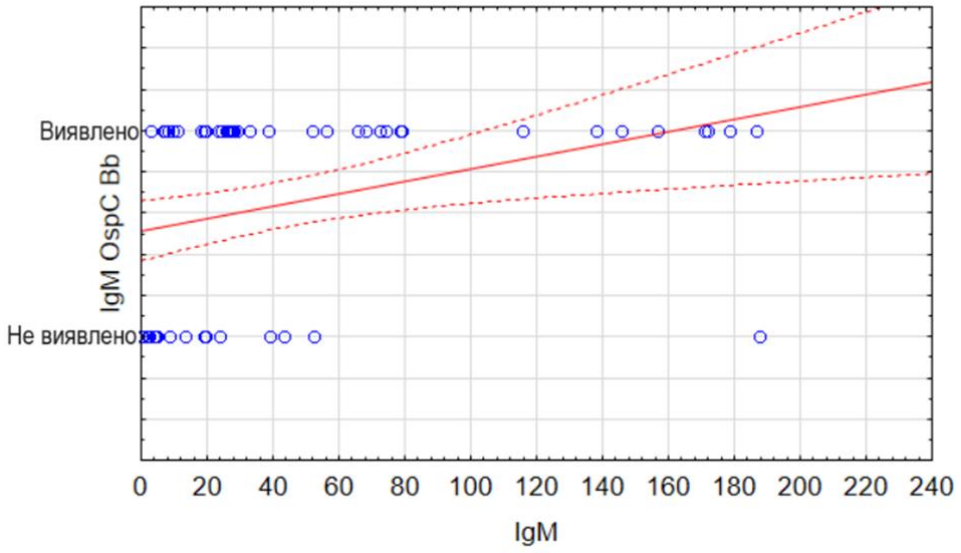


Рисунок 3.8. Кореляційні зв'язки між рівнем антитіл класу IgM та частотою виявлення антитіл IgM до антигенів OspC Ba та OspC Bb у пацієнтів з ЕФ ЛБ

У пацієнтів з ЕФ ЛБ зростання рівня IgG достовірно поєднувалось із зростанням частоти виявлення антитіл цього ж класу до антигену p39 (r=0.31, p<0,05, прямий зв'язок середньої сили), а також антитіл класу IgG до антигенів OspC Ba (r=0.29, p<0,05) та VlsE Ba (r=0.26, p<0,05); в обох випадках відзначено прямий слабкий кореляційний зв'язок.

У групі пацієнтів з ЕФ ЛБ не було встановлено наявності достовірних кореляційних зв'язків поміж наявністю ІМЕ чи ММЕ та рівнями КФК-МВ, ІЛ-6, СРП і ШОЕ (p>0,05).

У пацієнтів з ЕФ ЛБ день появи МЕ достовірно поєднувався із частотою виявлення у цих пацієнтів антитіл класу IgG до антигену p83 (r=0.32, прямий зв'язок середньої сили, p<0,05).

Аналізуючи особливості локалізації МЕ у цієї групи пацієнтів, відзначено ряд достовірних зв'язків. Так, зростання рівня IgG (r=0.38, прямий зв'язок середньої сили, p<0,05) та частоти виявлення антитіл класу IgM до антигену p39 (r=0.27, прямий слабкий зв'язок, p<0,05) достовірно поєднувалось із зростанням частоти появи МЕ на обличчі пацієнтів.

Частота локалізації МЕ на руці поєднувалась із частотою визначення антитіл класу IgG до антигену OspC Ba (r=0.24, прямий слабкий зв'язок, p<0,05), на тулубі – із рівнем антитіл IgG (r=0.26, прямий слабкий зв'язок, p<0,05). Також виявлено ряд достовірних протилежно направлених взаємозв'язків: частота локалізації МЕ на животі поєднувалась із частотою визначення наявності антитіл IgG до антигену p41 (r=-0.34, зв'язок середньої сили, p<0,05), на шиї – із частотою виявлення антитіл цього ж класу до антигену VlsE Ba (r=-0.22, слабкий зв'язок, p<0,05), у підколінній ділянці – із частотою наявності антитіл того ж класу до антигенів OspC Ba (r=-0.30, зв'язок середньої сили, p<0,05) та VlsE Bb (r=-0.34, зв'язок середньої сили, p<0,05). Відзначимо також, що частота появи МЕ на передпліччі поєднувалась із частотою визначення наявності IgG до антигену p39 (r=0.35, прямий зв'язок середньої сили, p<0,05).

При вивченні особливостей сезонності укусу кліща достовірні кореляційні зв'язки виявлені лише для весняного періоду. Так, зростання частоти укусу кліща у весняний період поєднувалась із зростанням рівня антитіл класу IgM (r=0.27, прямий слабкий зв'язок, p<0,05). Окрім того, частота укусу кліща у весняний період поєднувалась із частотою визначення наявності антитіл класу IgG до антигену VlsE Ba; встановлений кореляційний зв'язок виявився слабким, протилежно направленим (r=-0.22, p<0,05).

Рідкісна форма ЛБ представлена на рисунку 3.9



Рисунок 3.9. Бореліозна лімфоцитома мочки правого вуха до та після лікування. Хвора М.,5 років. Діагноз: Хвороба Лайма: рання дисемінована стадія, бореліозна лімфоцитома.

3.2. Клінічно-лабораторні особливості пацієнтів з безеритемною формою Лайм-бореліозу.

Серед пацієнтів з безеритемними формами ЛБ (n=22), у шести дітей було підтверджено параліч лицевого нерва, у семи дітей – Лайм-артрит, четверо пацієнтів мали бореліозну лімфоцитому, троє – атріовентрикулярну блокаду, у двох дітей було діагностовано Лайм-кардит та нейробореліоз.

Серединне значення віку пацієнтів становило 8,0 [5.3; 13.8] років. У структурі пацієнтів з БЕФ ЛБ хлопці склали 50.0% [29.7-70.3] та дівчатка 50.0% [29.7-70.3]. За статевою ознакою групи з ЕФ ЛБ та БЕФ ЛБ між собою достовірно не відрізнялись (p>0.05) (Табл.3.1).

Нами було оцінено наступні лабораторні показники: загальний аналіз крові, маркери запальних захворювань (С-реактивний протеїн (СРП), ШОЕ, прозапальний цитокін IL-6. До та після лікування було оцінено рівні креатинфосфокінази, фракцію МВ (КФК-МВ), антистрептолізину О (АСЛО), ревматоїдного фактору (РФ); Водночас досліджувався рівень антитіл IgM, IgG до B.burgdorferi, а також імуноблот IgM, IgG до B.burgdorferi.

Істотні відмінності виявлено також при порівнянні серединних значень рівнів показників загального аналізу крові з ЕФ, БЕФ ЛБ та групи контролю.

У пацієнтів з безеритемними формами Лайм-бореліозу серединний рівень ШОЕ виявився вищим (10.6±2.1 мм/год) у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ та достовірно (p=0.02) вищим порівняно із рівнем цього показника у пацієнтів з ММЕ. Водночас, серединні рівні лейкоцитів (p=0.001) та ШОЕ (p=0.005) у пацієнтів з БЕФ ЛБ виявились достовірно вищими, аніж такі у групі контролю.

Також серединний рівень ШОЕ у групі контролю був істотно нижчим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ (p=0.049).

У дівчат з БЕФ ЛБ серединні рівні паличкоядерних нейтрофілів виявились достовірно вищими (2.5% [2.0; 6.8], p=0.03), ніж у пацієнток з ММЕ - 2.0% [0.0; 2.0]. Серединні рівні нейтрофілів поміж пацієнтами з ІМЕ, ММЕ та БЕФ ЛБ достовірно не відрізнялись (p>0.05) (Табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Серединні значення показників загального аналізу крові у пацієнтів клінічних груп (Me [25%; 75%])

Показник	Ізольована МЕ	Множинна мігруюча еритема	Безеритемні форми	Контрольна група
Лейкоцити, 10^9/л, у т. ч.	6.9 [5.9; 8.1]*	7.9 [6.6; 8.8]	8.7 [7.8; 9.6]	6.9 [6.1; 7.3]*
Паличкоядерні нейтрофіли, %	2.0 [2.0; 6.0]#	2.0 [0.5; 3.0]	2.0 [2.0; 4.0]	1.0 [0.0; 2.5]
Сегментоядерні нейтрофіли, %	42.0 [35.3; 45.0]	45.0 [39.5; 49.5]	43.5 [40.0; 47.0]	39.5 [31.2; 47.3]#
Лімфоцити, %	41.0 [36.3; 46.9]*	39.0 [33.8; 41.0]	38.3 [34.5; 40.0]	44.6 [37.5; 51.0]#,*

* - p<0,05 у порівнянні із пацієнтами з БЕФ ЛБ

\# - p<0,05 у порівнянні із ММЕ

При оцінці маркерів запальних захворювань, нами встановлено, що рівень СРП <0.3 мг/л у дітей з БЕФ ЛБ був зареєстрований у близько третини пацієнтів (27.3% [11.2-47.3] випадків). Однак клінічні групи ЕФ ЛБ та БЕФ ЛБ за даним показником достовірно, як між собою, так і в порівнянні із групою контролю, не відрізнялись (p>0.05).

Натомість оцінюючи серединні рівні СРП, нами було встановлено, що цей показник виявився найвищим у пацієнтів з БЕФ ЛБ і становив 5.0 [3.9; 12.0] мг/л, достовірно відрізняючись від такого у пацієнтів з ІМЕ (p=0.02), де він склав 1.4 [0.6; 3.7] мг/л , 2.1 [1.5; 2.4] мг/л у пацієнтів з ММЕ та 1.3 [0.7; 4.9] мг/л (p=0.02) у групі контролю.

Відзначимо, що рівень IL-6 <1.5 пг/мл реєструвався у пацієнтів з БЕФ ЛБ у 59.1% [38.4-78.3] випадків. У хлопців істотні (p=0.04) відмінності виявлені між пацієнтами з ІМЕ (87.8% [76.2-95.9]) та дітьми з БЕФ ЛБ (54.5% [26.0-81.5]). Серед осіб контрольної групи частка тих, у кого рівень IL-6 становив <1.5 пг/мл склала 92.6% [80.0-99.2], істотно відрізняючись від такої у пацієнтів з ММЕ та БЕФ ЛБ (p=0.01).

При оцінці серединних рівнів IL-6 виявлено, що у групі з БЕФ ЛБ цей показник був достовірно вищим у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ (p=0.03), ММЕ (p=0.03) та групою контролю і становив 4.2 [3.0; 4.4] пг/мл, у той час як серединні значення IL-6 у дітей з ІМЕ склали 3.1 [2.7; 3.3] пг/мл, у пацієнтів з ММЕ - 2.3 [2.1; 2.8] пг/мл, а у контрольній групі - 3.1 [2.6; 3.6] пг/мл.

У дівчат найнижчий серединний рівень IL-6 зафіксовано у пацієнтів з ММЕ, де він становив 2.2 [2.0; 2.3] пг/мл, виявившись достовірно нижчим у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ (3.2 [3.1; 3.4] пг/мл, p<0.0001) та з БЕФ ЛБ (19.9 [12.1; 27.7] пг/мл, p=0.01). Істотно відрізнялись у даної когорти пацієнтів серединні рівні IL-6 також і поміж пацієнтами з ЕФ ЛБ та БЕФ ЛБ (p=0.01). Подібних достовірних відмінностей даного показника у пацієнтів чоловічої статі не виявлено.

Серединний рівень КФК-МВ у пацієнтів з БЕФ ЛБ був достовірно нижчим (25.0 [16.3; 31.8] Од/л, p=0.03), ніж у пацієнтів з ММЕ (28.0 [25.5; 33.5] Од/л) і та ІМЕ (25.0 [19.8; 27.0] Од/л, p=0.03) та у контрольній групі (21.0 [19.5; 23.5] Од/л, p=0.02).

Таблиця. 3.8

Серединні значення КФК-МВ у пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ (Me [25%; 75%])

Форма ЛБ/показник	Кількість (n)	КФК-МВ, ОД/л
ІМЕ	64	25.0 [19.8; 27.0]
ММЕ	16	28.0 [25.5; 33.5] *
БЕФ ЛБ	22	25.0 [16.3; 31.8] #

* - p<0,05 у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ

\# - p<0,05 у порівнянні із ММЕ

Рівень АСЛО <20 МО/мл був зареєстрований у 36.4% [18.0-57.1] пацієнтів з БЕФ ЛБ. Найвищий серединний рівень АСЛО було зареєстровано у пацієнтів з БЕФ ЛБ, де цей показник становив 178.0 [100.0; 234.0] МО/мл; майже удвічі нижчим виявився серединний рівень АСЛО у пацієнтів з ММЕ, складаючи 110.0 [98.0; 134.0] МО/мл. Аналізуючи гендерні відмінності даного показника, відзначимо, що у дівчат з БЕФ ЛБ серединні рівні АСЛО виявились достовірно вищими (178.0 100.0; 234.0] МО/мл, p=0.040), ніж у пацієнток з ММЕ (98.0 [34.0; 110.0] МО/мл). Проте за даним показником клінічні групи поміж собою достовірно не відрізнялись (p>0.05).

Рівень РФ <10 МО/мл достовірно (p=0.02 у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ, p=0.03 порівняно із пацієнтами з ММЕ та p=0.01 у порівнянні із групою контролю) рідше виявлявся у пацієнтів з БЕФ ЛБ, частка яких склала 68.2% [47.7-85.5]. Відзначимо також, що в усіх пацієнтів чоловічої статі з ММЕ рівень РФ виявився <10 МО/мл, істотно (p=0.049) відрізняючись від такого у пацієнтів групи 2, де він становив 72.7% [44.1-93.7]. Серед дівчат клінічних груп подібних достовірних відмінностей не було зареєстровано.

Серединний рівень РФ у пацієнтів з БЕФ ЛБ (18.8 [17.9; 19.7] МО/мл) виявився більш ніж удвічі вищим у порівнянні із таким в пацієнтів з ІМЕ (7.0 [4.0; 7.0] МО/мл) (p<0.001). Аналогічні відмінності виявлені і серед пацієнтів жіночої статі з БЕФ ЛБ (18.8 [17.9; 19.7] МО/мл) та пацієнтів з ізольованою МЕ (7.0 [7.0; 15.0] МО/мл, p=0.002 у порівнянні із групою 2). Серед хлопчиків достовірних відмінностей за даним показником виявлено не було.

Таблиця 3.9

Серединні значення маркерів запальних захворювань у пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ (Me [25%; 75%])

Показник	**ІМЕ (n=64)**	**ММЕ (n=16)**	**БЕФ ЛБ (n=22)**
СРП, мг/л	1.4 [0.6; 3.7]	2.1 [1.5; 2.4]	5.0 [3.9; 12.0]
ІЛ-6, пг/мл	3.1 [2.7; 3.3]	2.3 [2.1; 2.8]	4.2 [3.0; 4.4]
(ШОЕ), мм/год	5.0 [2.0; 8.0]*	6.0 [3.5; 6.5]	6.5 [4.0; 14.3]#

* - p<0,05 у порівнянні із пацієнтами з БЕФ ЛБ

\# - p<0,05 у порівнянні із ММЕ

До лікування рівні IgM >200 Од/мл не було виявлено у жодного із пацієнтів з БЕФ ЛБ (p=0.001 у порівнянні із групою з ЕФ ЛБ). Водночас серединні рівні IgM виявились достовірно (p=0.01) нижчими у пацієнтів з БЕФ ЛБ в порівнянні із такими у пацієнтів з ІМЕ, де ці показники становили 18.7 [13.6; 26.2] Од/мл та 23.8 [5.7; 30.9] Од/мл, відповідно.

Частка виявлених IgM до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів з БЕФ ЛБ становила 45.5% [25.6-66.1] і виявилася майже удвічі нижчою (p=0.01), ніж у пацієнтів з ІМЕ 76.6% [65.5-86.0].

При аналізі гендерних особливостей встановлено, що у хлопчиків з БЕФ ЛБ наявність антитіл IgM до бореліоз-специфічних антигенів становила 54.5% [26.0-81.5] та виявилася істотно нижчою (p=0.004) ніж у пацієнтів чоловічої статі з ММЕ (100.0% [86.9-100.0]). Серед дівчаток рівень цього показника у пацієнтів з БЕФ ЛБ (36.4% [11.9-65.5]) виявився достовірно нижчим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ (87.0% [11.9-65.5], p=0.0023) та у пацієнтів з ММЕ (88.9% [61.8-100.0], p=0.01).

В групі пацієнтів з БЕФ ЛБ найвищими були частки виявлених IgM до p41 та OspC Ba (Рис.3.10).

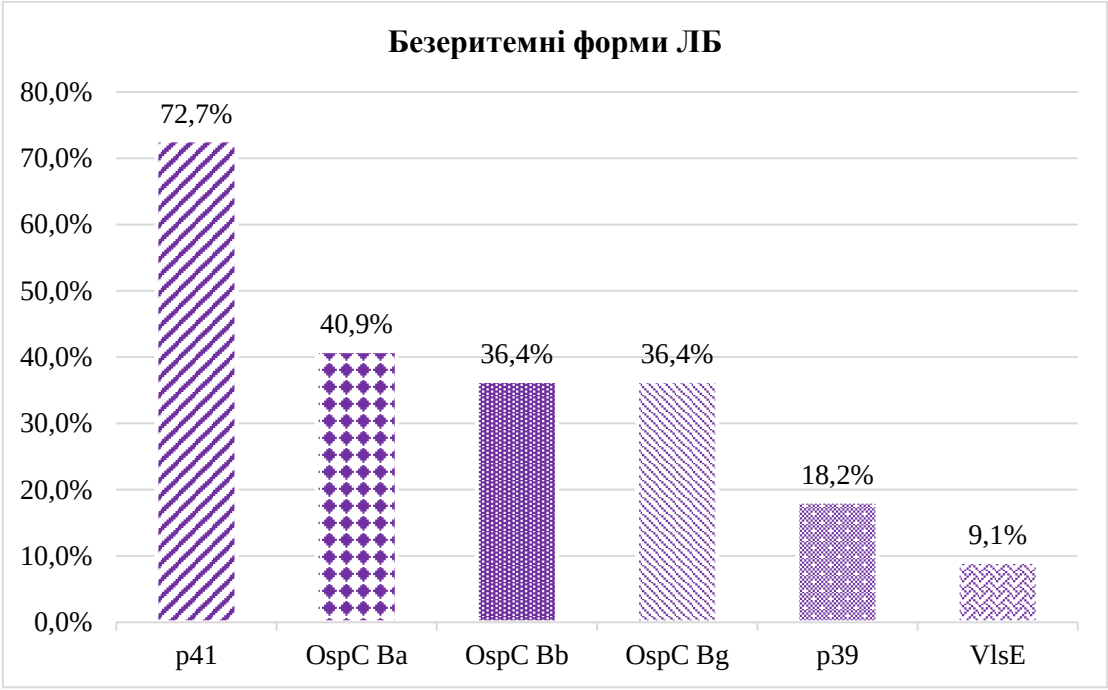


Рисунок 3.10. Структура виявлених антитіл IgM до бореліоз-специфічних антигенів OspC (Ba, Bb, Bg), p41, p 39, VlsE у пацієнтів з БЕФ ЛБ до лікування.

У хлопчиків з БЕФ ЛБ антитіла класу IgM до антигену p41 виявлялись у 72.7% [44.1-93.7] , що було істотно менше у порівнянні з пацієнтами чоловічої статі з ММЕ.

Відзначимо також, що у дітей з БЕФ ЛБ частка пацієнтів, у яких було виявлено IgM до p39 становила 18.2% [5.3-36.6] і була достовірно (p=0.01) нижчою, аніж така у пацієнтів з ІМЕ. Подібна тенденція відзначалась і у відношенні пацієнтів чоловічої статі: так, частка цього показника серед хлопців з БЕФ ЛБ становила 9.1% [0.0-32.1]. (48.8% [33.8-63.9]), що виявилось у п'ять разів нижче (p=0.001), аніж у пацієнтів з ІМЕ.

Частка виявлених IgM до OspC Ba у клінічній групі з БЕФ ЛБ становила 40.9% [21.7-61.6], що є достовірно нижчим у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ та ММЕ (p=0.03 та p=0.001). Подібні показники виявлені і серед пацієнтів чоловічої статі з БЕФ ЛБ - 27.3% [6.3-55.9], у пацієнтів з ІМЕ - 68.3% [53.4-81.5] (p=0.01 у порівнянні з пацієнтами з БЕФ ЛБ), у пацієнтів з ММЕ - 85.7% [52.7-100.0] (p=0.004 у порівнянні із пацієнтами з БЕФ ЛБ).

У пацієнтів з БЕФ ЛБ частка IgM до OspC Bb становила 36.4% [18.0-57.1], що виявилося достовірно нижчим (p=0.01 та p=0.003, відповідно) у порівнянні з ІМЕ та ММЕ. Такі ж відмінності прослідковувались і серед пацієнтів чоловічої статі з БЕФ ЛБ, у яких частка IgM до OspC Bb становила 27.3% [6.3-55.9], виявившись достовірно нижчою, аніж така у пацієнтів з ІМЕ (70.7% [56.1-83.5], p=0.01) та з ММЕ (100.0% [86.9-100.0], p<0.0001).

У пацієнтів з БЕФ ЛБ частка антитіл до OspC Bg виявилась істотно нижчою (36.45% [18.0-57.1], p=0.0004), ніж така у пацієнтів з ММЕ. Аналогічна тенденція прослідковувалась окремо у дівчат: частка IgM до антигену OspC Bg у дівчаток з БЕФ ЛБ становила 27.3% [6.3-55.9] (p=0.0009 у порівнянні із ММЕ).

Рівні IgG >200 Од/мл виявлено лише в трьох пацієнтів з БЕФ ЛБ (13.6% [2.8-30.7]). Однак пацієнти з ЕФ ЛБ та БЕФ ЛБ за даним показником достовірно між собою не відрізнялись (p>0.05).

Водночас серединні рівні IgG у пацієнтів з БЕФ ЛБ (159.0 [101.2; 169.5] Од/мл) виявились у вісім (p<0.001) та майже у шість (p<0.001) разів вищими, аніж такі у пацієнтів з ІМЕ (19.2 [9.0; 44.3] Од/мл) та ММЕ (27.0 [12.4; 60.5] Од/мл) відповідно. Ця тенденція зберігається також при аналізі даного показника безпосередньо окремо у хлопчиків та дівчаток – серединний рівень IgG у пацієнтів даної статі з БЕФ ЛБ становив 158.3 [139.8; 162.5] Од/мл і виявився істотно вищим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ (26.0 [9.9; 88.9] Од/мл, p<0.0001) та з ММЕ (52.9 [15.2; 68.0] Од/мл, p=0.048); у дівчат з БЕФ ЛБ - 163.1 [58.1; 182.9] Од/мл, з ізольованою ME - 15.1 [8.8; 20.9] Од/мл (p=0.0002 у порівнянні із БЕФ ЛБ) та з ММЕ - 21.9 [10.5; 46.5] Од/мл (p=0.01 у порівнянні з БЕФ ЛБ).

Частка виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів знаходилась на приблизно однаковому рівні в пацієнтів з різними формами ЛБ. У дітей з БЕФ ЛБ становила 86.4% [69.3-97.2]. Натомість частка виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів чоловічої статі з БЕФ ЛБ (90.9% [68.0-100.0]) виявилась достовірно вищою (p=0.03), аніж така в осіб з ІМЕ (65.9% [50.8-79.4]).

У пацієнтів з БЕФ ЛБ найвищими були частки виявлених IgG до p41, OspC Ba, VlsE Bb та VlsE Ba (Рис. 3.6, Додаток В.2).

Відзначимо, що у дітей з БЕФ ЛБ частки пацієнтів, у яких були виявлені IgG до антигенів VlsE Bg (68.2% [47.7-85.5]), Lipid Ba (40.9% [21.7-61.6]), Lipid Bb (36.4% [18.0-57.1]), p83 (59.1% [38.4-78.3]), p39 (50.0% [29.7-70.3]), а також p20 (45.5% [25.6-66.1]), виявились достовірно вищими, аніж такі у пацієнтів з ІМЕ, де ці показники становили 43.8% [31.9-56.0] (p=0.04), 10.9% [4.5-19.7] (p=0.01), 9.4% [3.5-17.7] (p=0.02), 25.0% [15.2-36.3] (p=0.005), 17.2% [9.0-27.3] (p=0.01) та 12.5% [5.6-21.6] (p=0.005), відповідно (Рис. 3.6). Частка виявлених IgG до VlsE Ba у пацієнтів БЕФ ЛБ становила 77.3% [57.9-91.9] та було істотно вищою (p=0.01) ніж у дітей з ІМЕ (48.4% [36.4-60.6]).

У хлопців з БЕФ ЛБ антитіла класу IgG до антигену VlsE Bg становили 63.6% [34.5-88.1 і були істотно нижчі (p=0.02) ніж у пацієнтів чоловічої статі з ММЕ. Аналогічні відмінності зареєстровані щодо антитіл до антигену OspC Ba – у пацієнтів з БЕФ ЛБ їх частка становила 72.7% [44.1-93.7], p=0.049 у порівнянні із особами з ММЕ.

У пацієнтів з БЕФ ЛБ достовірно вищими були зареєстровані показники антитіл до антигенів Lipid Ba (54.5% [26.0-81.5]), Lipid Bb (45.5% [18.5-74.0]), p18 (45.5% [18.5-74.0]), p20 (45.5% [18.5-74.0]), а також p83 (63.6% [34.5-88.1]) у порівнянні із такими у дітей з ІМЕ, де вони становили 9.8% [2.7-20.6] (p=0.01), 7.3% [1.5-17.2] (p=0.02), 12.2% [4.1-23.8] (p=0.04), 12.2% [4.1-23.8] (p=0.04) та 22.0% [10.8-35.7] (p=0.010) відповідно. Подібних істотних відмінностей за вищеназваними показниками серед пацієнток клінічних груп виявлено не було (Рис. 3.11).

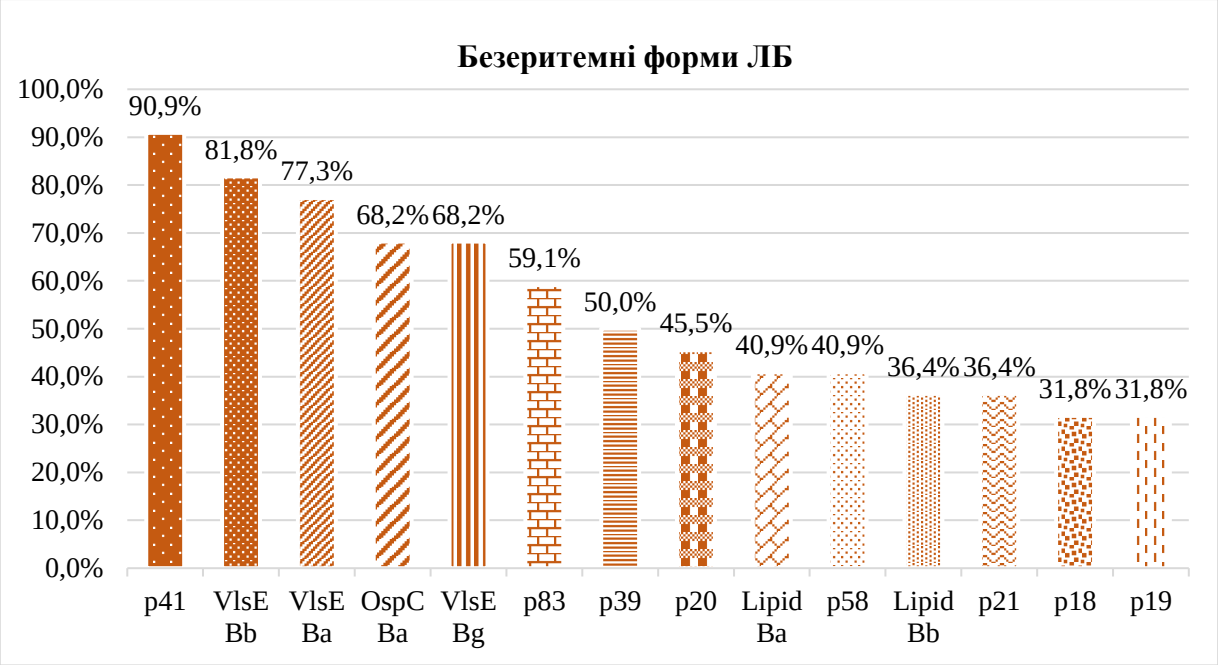


Рисунок 3.11. Структура виявлених антитіл IgG до бореліоз-специфічних антигенів VlsE (Ba, Bb, Bg), p41, OspC Ba, p83, p39, p20, p58, p21, p18, p19, Lipid Ba, Bb у пацієнтів з БЕФ ЛБ до лікування

Частка пацієнтів з БЕФ ЛБ, у якої було виявлено IgG до p39 також виявилась достовірно (p=0.04) вищою, аніж у дітей з ММЕ (18.8% [4.1-40.8]). При аналізі гендерних відмінностей поміж клінічними групами встановлено, що за даним показником серед хлопців істотних відмінностей зафіксовано не було; натомість у когорті пацієнток з БЕФ ЛБ частка антитіл до антигену p39 виявилась достовірно вищою (54.5% [26.0-81.5], аніж така у пацієнток з ізольованою ME (17.4% [5.0-35.1], p=0.03) та з ММЕ (11.1% [0.0-38.2], p=0.02).

Слід зауважити, що частка пацієнтів з БЕФ ЛБ, у яких були виявлені антитіла класу IgG до бореліоз-специфічного антигену p58 (40.9% [21.7-61.6]) виявилась істотно (p=0.01) вищою, аніж така у дітей з ІМЕ (10.9% [4.53-19.67]) та з ММЕ (6.3% [0.0-22.8]).

У жодного із пацієнтів чоловічої статі з ММЕ не було виявлено антитіл до даного антигену, істотно відрізняючись за цим показником з пацієнтами чоловічої статі з ІМЕ (9.8% [2.7-20.6], p=0.04) та з БЕФ ЛБ (45.5% [18.5-74.0], p=0.004). Достовірними (p=0.03) виявились також відмінності даного показника поміж пацієнтами чоловічої статі з ІМЕ та з БЕФ ЛБ. Подібних істотних відмінностей серед пацієнток клінічних груп не було виявлено.

Кореляційні взаємозв'язки у пацієнтів з безеритемними формами Лайм-бореліозу.

У пацієнтів із безеритемною формою ЛБ наявність антитіл IgM достовірно поєднувалась із наявністю антитіл IgM до антигену OspC Bg (r=0.64, p<0,05), а також антитіл IgG до антигену VlsE Bb (r=0.43, p<0,05), в обох зазначених випадках виявлено прямий достовірний зв'язок середньої сили поміж зазначеними ознаками. Аналогічний за силою та направленістю достовірний зв'язок виявлено також і поміж наявністю антитіл класу IgG та наявністю антитіл IgG до антигенів VlsE Bg (r=0.58, p<0,05) та p83 (r=0.48, p<0,05). Поміж іншими показниками достовірних кореляційних зв'язків виявлено не було (p>0,05).

Аналізуючи пов'язаність рівнів антитіл класу IgM та IgG із антитілами до вищенаведених антигенів, достовірні (p<0,05) зв'язки було зареєстровано лише для IgG. Так, зростання рівня IgG поєднувалось із зростанням частки пацієнтів, у яких було виявлено наявність антитіл IgM до антигенів p41 (r=0.73, сильний прямий зв'язок), OspC Ba (r=0.55, прямий зв'язок середньої сили), антитіл IgG до антигенів VlsE Bg (r=0.53, прямий зв'язок середньої сили) та p39 (r=0.52, прямий зв'язок середньої сили). Також достовірний протилежно направлений зв'язок аналогічної сили було відзначено поміж рівнем IgG та частотою виявлення антитіл IgM до антигену p39 (r=-0.55, p<0,05) (Рис. 3.12).

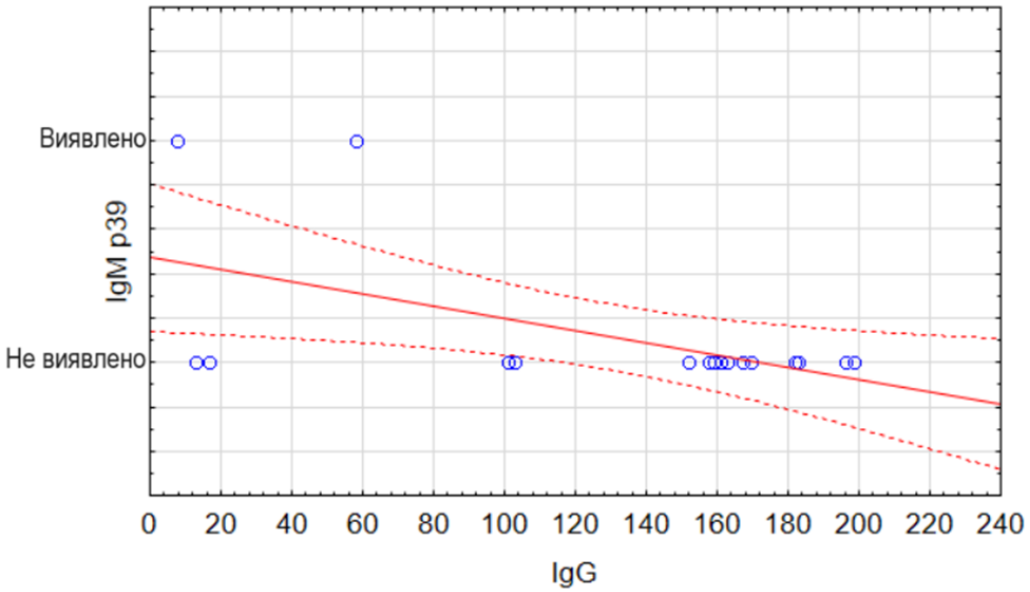


Рисунок 3.12. Кореляційний зв'язок між рівнем антитіл класу IgG та антитілами IgM до антигену p39 у пацієнтів з БЕФ ЛБ

У пацієнтів з БЕФ ЛБ частота виявлення антитіл класу IgG поєднувалась із рівнем IL-6. Між цими показниками встановлений достовірний сильний протилежно направлений зв'язок (r=-0.997, p<0,05); подібного зв'язку поміж антитілами класу IgM та рівнем IL-6 не виявлено. Достовірних кореляційних зв'язків поміж часткою пацієнтів, у яких було встановлено наявність антитіл класу IgG та IgM та рівнями КФК-МВ, СРП, ШОЕ, а також лейкоцитів виявлено не було. Також не було встановлено достовірних кореляційних зв'язків поміж рівнями IgG та IgM та рівнями вищезгаданих лабораторних показників (p>0,05).

У пацієнтів з БЕФ ЛБ не було виявлено достовірних кореляційних зв'язків поміж епідеміологічними даними (відсутність даних про укус кліща та сезонність укусу), наявністю і рівнями антитіл класу IgG і IgM та антитілами до антигенів OspCBa, OspCBb, OspCBg, p41, VlsEBa, VlsEBb, VlsEBg, p83, p 39, p41 (p>0,05).

ВИСНОВКИ:

1. У 62,75% дітей з Лайм-бореліозом діагностовано ІМЕ; ММЕ виявлялась в 4 рази рідше. БЕФ ЛБ підтверджено у 21,57% пацієнтів. Середній вік дітей з ІМЕ та БЕФ ЛБ був однаковим – 8 років, тоді як середній вік пацієнтів з ММЕ – 5,5 років.

2. Серед пацієнтів з ІМЕ частіше хворіли хлопці, а серед дітей з ММЕ – дівчата.

2. Маркери запального процесу (ШОЕ, СРП, ІЛ-6) виявились достовірно вищими у дітей з безеритемною формою ЛБ. Найвищі 4.2 [3.0; 4.4] пг/мл серединні рівні ІЛ-6 виявлялися у пацієнтів з БЕФ ЛБ. Достовірно нижчими були серединні значення ІЛ-6 у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ (p=0.03 та p=0.03 відповідно).

4. Серединний рівень КФК-МВ у пацієнтів з ММЕ був достовірно вищим, ніж у пацієнтів з ІМЕ (p=0.03) та з БЕФ ЛБ (p=0.03).

5. IgM>200 Од/мл виявлялися лише у пацієнтів з ЕФ ЛБ, (p=0.001). Серединні рівні IgG у пацієнтів з БЕФ ЛБ були у вісім та шість разів вищими, ніж в дітей з ІМЕ та ММЕ, (p<0.001).

6. Серединний рівень IgG у хлопців та дівчат з БЕФ ЛБ виявився істотно вищим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ (p<0.0001 та p=0.0002 відповідно) та з ММЕ (p=0.048 та p=0.01).

7. IgM до OspC усіх борелій, p 41 були достовірно вищими у пацієнтів з ЕФ ЛБ. IgG до VlsE Bb найчастіше виявлялось у пацієнтів з ММЕ, тоді як IgG до VlsE Ba – в дітей з БЕФ ЛБ.

8. IgM до OspC Ba, OspC Bb, OspC Bg найчастіше виявлялися у дітей з ММЕ і становилм 87.5%, 81,3% та 87.5% відповідно. Найчастіше IgM до OspC Ba виявлявся у хлопців з ММЕ - 85.7%. IgM до OspC Bb виявлявся позитивним у всіх хлопців, а IgM до OspC Bg виявлявся у 88,9% дівчат з ММЕ.

9. У пацієнтів з БЕФ ЛБ IgM до OspC Ba, OspC Bb, OspC Bg виявлялися достовірно рідше в порівнянні з дітьми з ІМЕ та ММЕ.

10. У пацієнтів з БЕФ ЛБ IgG до p39 виявлялися достовірно вищими (p=0.04) ніж у пацієнтів з ММЕ.

11. У пацієнтів з ММЕ був встановлений достовірний прямий середньої сили зв'язок наявності антитіл IgM до антигенів OspC Ba та OspC Bg, антитіл IgG до антигену VlsE Ba.

12. У пацієнтів з ЕФ ЛБ зареєстровано прямий достовірний зв’язок середньої сили між наявністю антитіл IgM і частотою наявності антитіл цього класу до антигенів OspC Ba, OspC Bb, OspC Bg, антигену p41; антитіл IgG до антигенів VlsE Ba, VlsE Bb, VlsE Bg, OspC Ba, а також до антигену p39.

13. У пацієнтів з ЕФ ЛБ виявлено прямий достовірний зв’язок між антиітлами IgG та антитілами цього ж класу до антигену p39 (r=0.31, p<0,05).

Після проведеного лікування найнижчим серединний рівень IgM виявився у пацієнтів з БЕФ ЛБ і склав 10.9 [7.6; 15.3] Од/мл, у той час як у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ серединні рівні цього показника були достовірно вищими та становили 14.1 [9.8; 21.7] Од/мл (p=0.004) та 15.9 [11.1; 26.1] Од/мл (p=0.048), відповідно. Подібні відмінності було відзначено і окремо у пацієнтів чоловічої статі. Так, у дітей з БЕФ ЛБ серединний рівень IgM становив 11.8 [10.0; 14.6] Од/мл і виявився достовірно (p=0.022) нижчим, аніж такий у пацієнтів чоловічої статі з ізольовонаю ME (14.6 [9.1; 21.0] Од/мл). Серед дівчат з ЕФ та БЕФ ЛБ подібних істотних відмінностей виявлено не було.

Натомість найвищий серединний рівень IgG було зафіксовано у пацієнтів з БЕФ ЛБ. Цей показник становив 26.8 [19.8; 58.5] Од/мл і виявився достовірно (p=0.002) вищим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ, де він склав 15.1 [10.0; 21.7] Од/мл. У пацієнтів з ММЕ серединний рівень IgG становив 19.1 [17.2; 36.5] Од/мл. Аналогічні відмінності констатовано і при вивченні гендерних

особливостей даного показника. Так, у хлопців з БЕФ ЛБ серединний рівень IgG склав 28.1 [20.8; 65.4] Од/мл, у дівчаток - 26.8 [17.7; 51.8] Од/мл, істотно відрізняючись від такого у пацієнтів з ІМЕ, де він становив 15.2 [9.9; 24.3] Од/мл (p=0.023) та 15.0 [11.1; 17.8] Од/мл (p=0.018) відповідно.

У жодного із пацієнтів рівнів IgM та IgG >200 Од/мл зареєстровано не було.

Частка пацієнтів, у яких було виявлено IgM до бореліоз-специфічних антигенів у дітей з ІМЕ склала 12.5% [5.6-21.6], в осіб з ММЕ - 25.0% [7.6-48.3], у дітей з БЕФ ЛБ цей показник становив 9.1% [0.9-24.3]. Однак, за даним показником клінічні форми поміж собою достовірно не відрізнялись (p>0.05) (Додаток В.2).

Істотні відмінності за цим показником були виявлені лише при порівнянні пацієнтів чоловічої статі. Так, у жодного з пацієнтів з БЕФ ЛБ не було виявлено IgM до бореліоз-специфічних антигенів, достовірно (p<0.0001 та p=0.03, відповідно) відрізняючись за даним показником від пацієнтів з ІМЕ (34.1% [20.6-49.2] та з ММЕ (42.9% [11.3-78.1]).

У всіх пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ найвищими були частки виявлених IgM до p41 (Рис. 3.5,3.7,3.12,), при чому найбільша частка пацієнтів із верифікованою наявністю антитіл до даного антигену була у пацієнтів з ММЕ, де становила 81.3% [59.2-95.9], не відрізняючись, однак, достовірно від інших клінічних груп (p>0.05)

При аналізі гендерних особливостей даного показника у пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ встановлено, що в усіх хлопчиків з ММЕ були виявлені антитіла класу IgM до антигену p41, достовірно відрізняючись за даним показником від пацієнтів з ІМЕ (78.0% [64.3-89.2], p=0.001) та пацієнтів з БЕФ ЛБ (72.7% [44.1-93.7], p=0.049). Подібних істотних відмінностей у пацієнтів жіночої статі констатовано не було.

Високими виявились також частки IgM до бореліоз-специфічних антигенів OspC Ba, OspC Bb та OspC Bg.

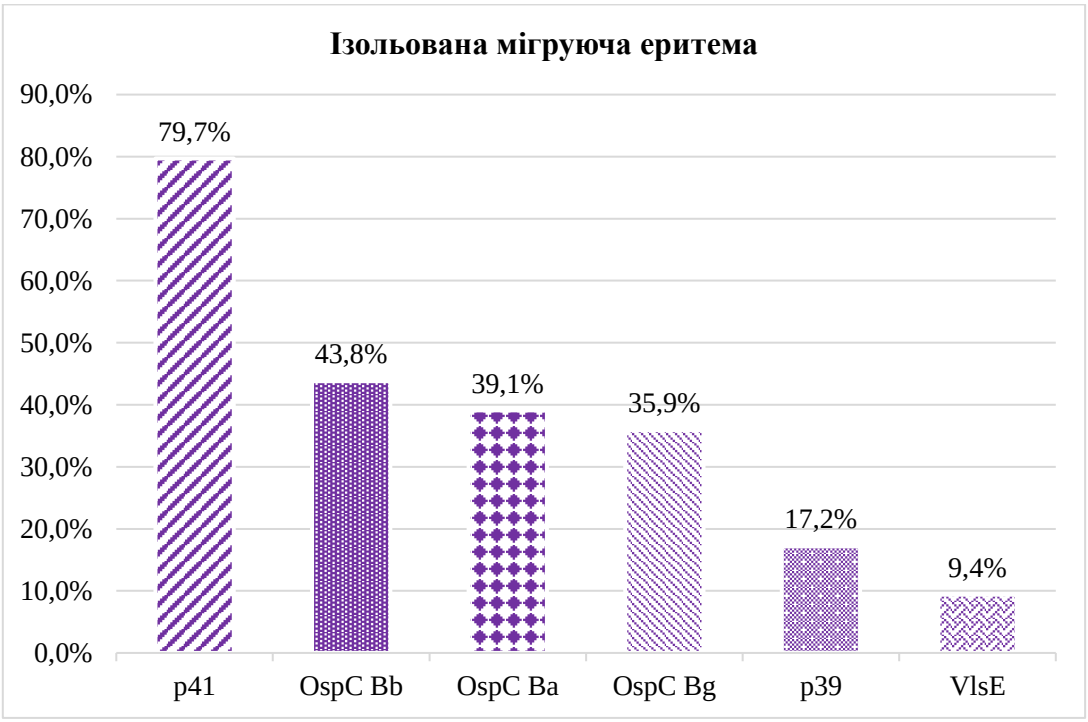


Рисунок. 3.13 Структура виявлених IgM до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів з ІМЕ після лікування

Найнижчими натомість в пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ зареєстровано частки антитіл до антигену VlsE. Відзначимо, що у жодного пацієнта чоловічої статі з БЕФ ЛБ не зафіксовано наявності антитіл до антигену VlsE, достовірно (p=0.04) відрізняючись від пацієнтів з ІМЕ, де частка таких хворих становила 9.8% [2.7-20.6]. Подібних істотних відмінностей серед дівчат з ЕФ та БЕФ ЛБ не було виявлено.

За показником частки виявлених IgM до OspC Ba та OspC Bg пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ поміж собою також істотно не відрізнялись (p>0.05). Однак, достовірні відмінності було виявлено у пацієнтів чоловічої статі: так, частка пацієнтів з ІМЕ, у яких було підтверджено наявність IgM до OspC Ba (36.6% [22.79-51.7]) була істотно (p=0.02) вищою, аніж така у пацієнтів з БЕФ ЛБ (9.1% [0.0-32.1]), водночас достовірно не відрізняючись поміж пацієнтами жіночої статі.

Натомість у дівчат з ЕФ та БЕФ ЛБ істотні відмінності були зареєстровані при порівнянні часток IgM до антигену OspC Bg. Так, у пацієнток з ММЕ цей показник виявився найвищим, складаючи 77.8% [46.8-97.3] та достовірно (p=0.03 та p=0.002) відрізнячись від такого у пацієнтів з ІМЕ та БЕФ ЛБ, де він становив 39.1% [20.6-59.4] та 18.2% [2.1-45.1], відповідно.

У пацієнтів з ІМЕ та ММЕ вагомими були частки пацієнтів, у яких виявлено наявність IgM до антигену OspC Bb - 43.8% [31.9-56.0] та 50.0% [26.5-73.5], які були достовірно (p=0.002 та p=0.02, відповідно) вищими у порівнянні із даним показником у групі пацієнтів з БЕФ ЛБ, де він становив лише 13.6% [2.8-30.7] (Рис 3.11, 3.12, 3.13).

При аналізі гендерних особливостей даного показника, аналогічні відмінності виявлені були у пацієнтів чоловічої статі: так, у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ частка IgM до антигену OspC Bb становила 46.3% [31.5-61.5] та 85.7% [52.7-100.0] і була достовірно (p=0.047 та p=0.0005) вищою, аніж така у пацієнтів з БЕФ ЛБ (18.2% [2.1-45.1]). За даним показником відзначено наявність достовірних (p=0.01) відмінностей також і безпосередньо поміж пацієнтами з ІМЕ та ММЕ. Серед жіночої когорти за даним показником достовірно (p=0.027) відрізнялись між собою лише пацієнти з ІМЕ (39.1% [20.6-59.4] та БЕФ ЛБ (9.1% [0.0-32.1]).

Антитіла класу IgM до антигену p39 у хлопчиків клінічних груп були виявлені лише у дітей з ІМЕ (12.2% [4.1-23.8]), достовірно (p=0.02) відрізняючись за даним показником від пацієнтів з ММЕ та БЕФ ЛБ. Подібних істотних відмінностей у пацієнтів жіночої статі відзначено не було.

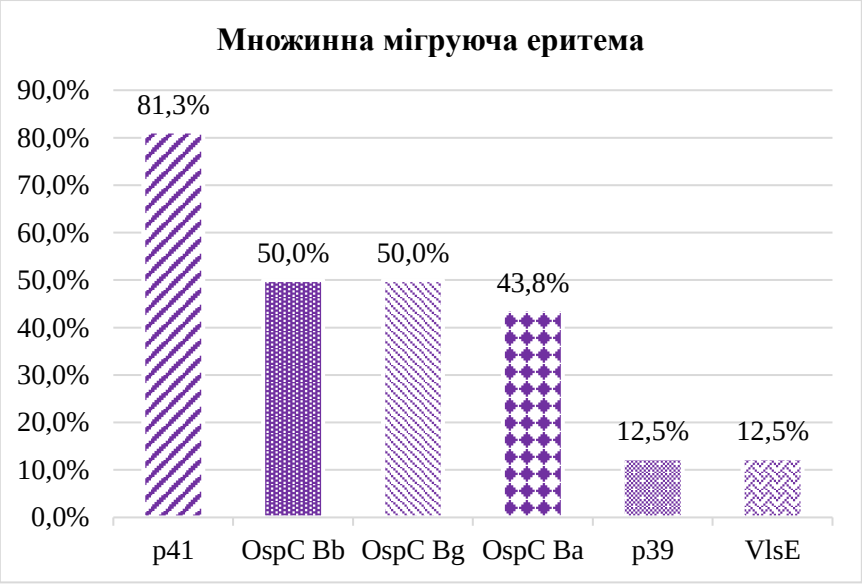


Рисунок 3.14. Структура виявлених антитіл IgM до бореліоз-специфічних антигенів OspC (Ba, Bb, Bg), p41, p 39, VlsE у пацієнтів з ММЕ до лікування

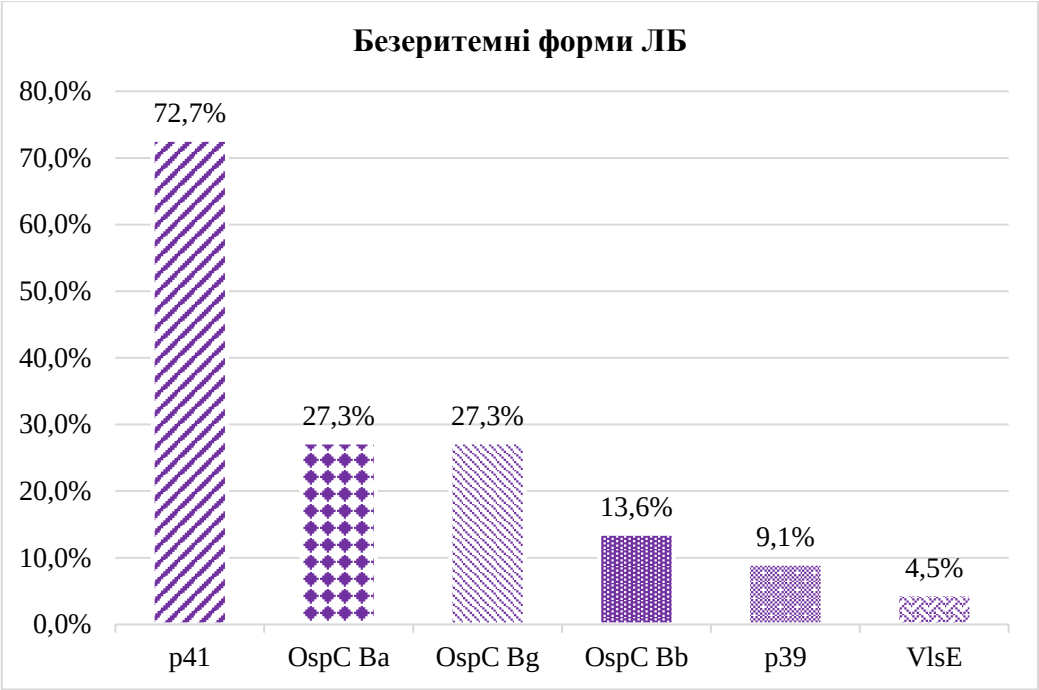


Рисунок 3.15. Структура виявлених антитіл IgM до бореліоз-специфічних антигенів OspC (Ba, Bb, Bg), p41, p 39, VlsE у пацієнтів з БЕФ ЛБ після лікування.

Частка виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів виявилась найнижчою у пацієнтів з ІМЕ - 17.2% [9.0-27.3], достовірно (p=0.049 та p=0.0005, відповідно) відрізняючись від рівня цього показника у пацієнтів з ММЕ (43.8% [21.1-67.8]) та з БЕФ ЛБ (59.1% [38.4-78.3]). Натомість у пацієнтів жіночої статі клінічних груп даний показник виявився найнижчим у дітей з ІМЕ (21.7% [7.7-40.5]), достовірно (p=0.01) відрізняючись від такого у пацієнток з БЕФ ЛБ (63.6% [34.5-88.1]). Подібних істотних відмінностей серед пацієнтів чоловічої статі не зареєстровано.

В усіх клінічних групах найвищими були частки виявлених IgG до p41 та VlsE Bb. (Рис. 3.10,3.11,3.12).

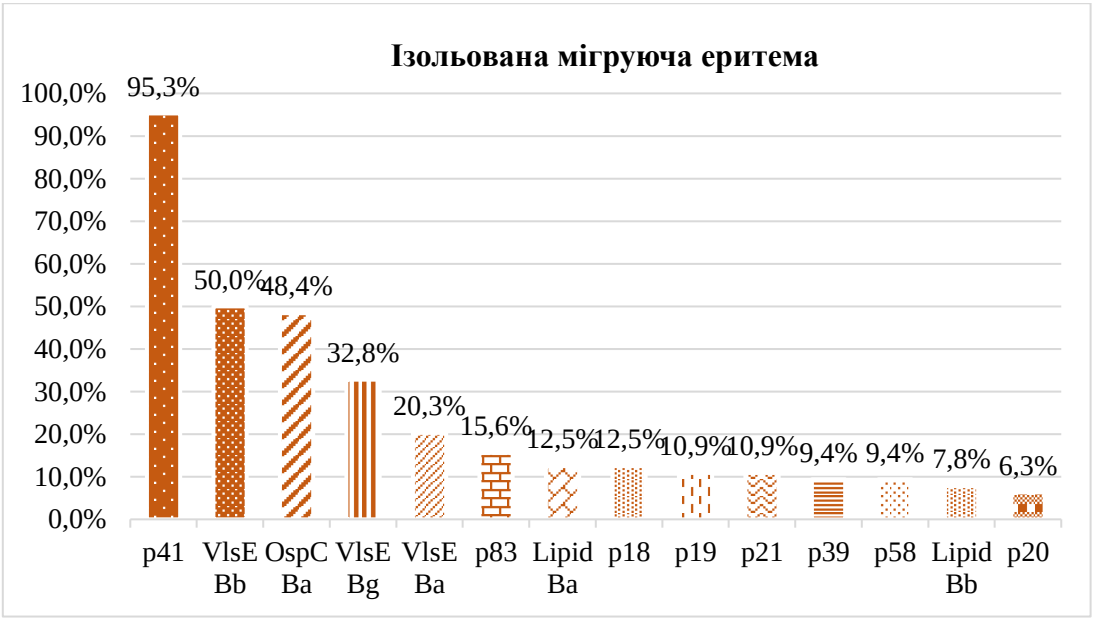


Рисунок 3.17. Структура виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів з ІМЕ.

Водночас відзначимо, що найнижчу частку IgG до антигену VlsE Bb зафіксовано у пацієнтів з ІМЕ - 50.0% [37.9-62.1]; цей показник виявився істотно нижчим, аніж такий у пацієнтів з ММЕ (75.0% [51.7-92.4], p=0.05) та з БЕФ ЛБ (77.3% [57.9-91.9], p=0.01). Істотні відмінності за даним показником також були виявлені і серед пацієнтів чоловічої статі з ЕФ та БЕФ ЛБ. Так, частка даної когорти пацієнтів з ІМЕ у яких було констатовано наявність IgG до антигену VlsE Bb становила 46.3% [31.5-61.5], достовірно (p=0.01) відрізняючись за даним показником від пацієнтів з ММЕ (85.7% [52.7-100.0]) та з БЕФ ЛБ (81.8% [54.9-97.9], p=0.01).

У пацієнтів з БЕФ ЛБ вагомою виявилась частка дітей із наявними IgG доантигену VlsE Ba - 54.5% [34.0-74.4], достовірно вищою, аніж така у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ. Так, у них цей показник становив 20.3% [11.4-31.0] (p=0.005, у порівнянні з БЕФ ЛБ) у пацієнтів з ІМЕ, а у пацієнтів з ММЕ - 18.8% [4.1- 40.8] (p=0.018, у порівнянні з дітьми з БЕФ ЛБ). Істотні відмінності за даним показником виявлені також і серед пацієнтів чоловічої статі: у пацієнтів з ІМЕ він становив лише 17.1% [7.3-29.9], достовірно (p=0.022) відрізняючись від такого у дітей з БЕФ ЛБ, де антитіла класу IgG до антигену VlsE Ba були виявлені у більш ніж половини пацієнтів - 54.5% [26.0-81.5].

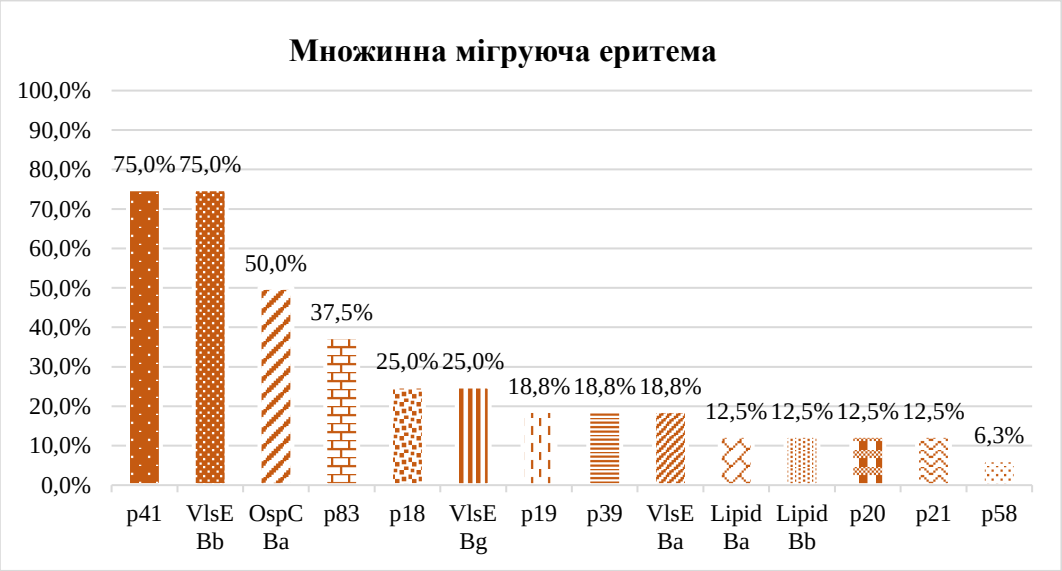


Рисунок 3.18. Структура виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів з ММЕ

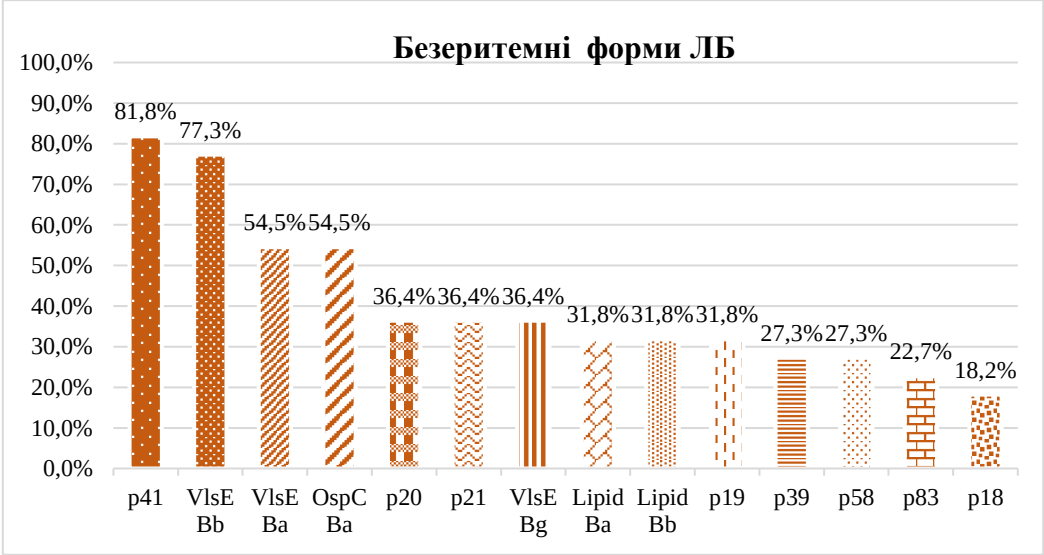


Рисунок 3.19. Структура виявлених IgG до бореліоз-специфічних антигенів у пацієнтів з БЕФ ЛБ

Серед інших показників відзначимо, що частки пацієнтів з БЕФ ЛБ, у яких було зафіксовано наявність антитіл класу IgG до бореліоз-специфічних антигенів Lipid Bb (31.8% [14.5-52.3]), p21 (36.4% [18.0-57.1]), а також p20 (36.4% [18.0-57.1]), виявились достовірно вищими, аніж такі у дітей з ІМЕ - 7.8% [2.6-15.6] (p=0.02), 10.9% [4.5-19.7] (p=0.02) та 23.4% [14.0-34.5] (p=0.01), відповідно.

При аналізі гендерних відмінностей за даними показниками виявлено, що у пацієнтів з ІМЕ частка пацієнтів чоловічої статі, у яких було зареєстровано наявність IgG до антигенів Lipid Ba (9.8% [2.7-20.6]) та Lipid Bb (4.9% [0.5-13.5]), була істотно (p=0.03 та p=0.04, відповідно) нижчою, аніж така у групі пацієнтів з БЕФ ЛБ (45.5% [18.5-74.0] та 36.4% [11.9-65.5]).

Істотні відмінності у даної когорти пацієнтів виявлені також за показниками частки IgG до антигенів p58 та p20. У пацієнтів з ММЕ не виявлено жодної дитини, у якої було зафіксовано наявність антитіл класу IgG до антигену p58, достовірно відрізняючись за даним показником із пацієнтами з ІМЕ (9.8% [2.7-20.6], p=0.04) та з БЕФ ЛБ (27.3% [6.3-55.9], p=0.049). Натомість частка пацієнтів чоловічої статі, у яких були виявлені IgG до антигену p20, була найвищою у пацієнтів з БЕФ ЛБ - 45.5% [18.5-74.0], істотно відрізняючись від такої в осіб з ІМЕ (7.3% [1.5-17.2], p=0.02) та ММЕ, де антитіла до даного антигену не виявлено у жодного із пацієнтів (p=0.004).

Зауважимо, що в усіх клінічних групах не зареєстровано пацієнтів, у яких не було би зафіксовано наявність IgG до жодного із бореліоз-специфічних антигенів.

ВИСНОВКИ:

1. У пацієнтів з БЕФ ЛБ після проведеного лікування виявлено найнижчий рівень IgM до B.burgdorferi, у той час як у дітей з ІМЕ та ММЕ показники були достовірно вищі (p=0.004 та p=0.048). Подібні відмінності було відзначено і окремо у пацієнтів чоловічої статі.

2. Найвищий серединний рівень IgG виявлявся в пацієнтів з БЕФ ЛБ, що достовірно вище (p=0.002) ніж у дітей з ІМЕ та ММЕ.

3. У жодного з пацієнтів з ЛБ після лікування не було зареєстровано IgM та IgG >200 Од/мл.

4. Найвищий рівень КФК-МВ після лікування виявлявся у пацієнтів з ММЕ, що було достовірно вище (p=0.0001) в порівнянні з ізольованою МЕ.

5. У хлопців з ІМЕ IgM до OspC Ba виявлялися істотно частіше (36.6% [22.79-51.7]), ніж з БЕФ ЛБ (9.1% [0.0-32.1]). У дівчат з ММЕ IgM до OspC Bg виявився найвищим, складаючи 77.8% [46.8-97.3] та достовірно (p=0.03 та p=0.002) відрізнячись від такого у пацієнток з ІМЕ та БЕФ ЛБ, де він становив 39.1% [20.6-59.4] та 18.2% [2.1-45.1], відповідно.

6. У пацієнтів чоловічої статі з ІМЕ та ММЕ частка IgM до антигену OspC Bb становила 46.3% [31.5-61.5] та 85.7% [52.7-100.0] і була достовірно (p=0.047 та p=0.0005) вищою, аніж така у хлопців з БЕФ ЛБ (18.2% [2.1-45.1]).

7. У пацієнтів з БЕФ ЛБ виявилась найвища частка дітей із наявними IgG до антигену VlsE Ba - 54.5% [34.0-74.4] після лікування та виявились достовірно вищими антитіла IgG до Lipid Bb (31.8% [14.5-52.3]), p21 (36.4% [18.0-57.1]), а також p20 (36.4% [18.0-57.1]), ніж такі у дітей з ІМЕ - 7.8% [2.6-15.6] (p=0.02), 10.9% [4.5-19.7] (p=0.02) та 23.4% [14.0-34.5] (p=0.01), відповідно.

8. Частка виявлених IgG до p20, була найвищою у хлопчиків з БЕФ ЛБ - 45.5% [18.5-74.0], істотно відрізняючись від такої у дітей з МЕ (7.3% [1.5-17.2], p=0.02) та ММЕ, де антитіла до даного антигену не виявлено у жодного із пацієнтів (p=0.004).

9. Серед 16 дітей зі суглобовим синдромом спостерігалося 56,25% хлопчиків та 43,75% дівчаток. У структурі пацієнтів з артритами іншої етіології хлопчики склали 66,7% [34,6-91,9], із підтвердженим Лайм-артритом – 42,9% [11,3-78,1], а дівчатка – 33,3% [8,1-65,4] та 57,1% [21,9-88,7] відповідно. За віковою та статевою ознакою пацієнти між собою достовірно не відрізнялись (p>0,05).

При вивченні загального аналізу крові, виявлено, що серединні значення усіх показників знаходились у межах норми у пацієнтів з артритами іншої етіології та з підтвердженим Лайм-артритом.

Водночас зазначимо, що у пацієнтів з артритами іншої етіології серединне значення показника паличкоядерних нейтрофілів виявилося достовірно (p=0,04) вищим у порівнянні із таким у пацієнтів з підтвердженим Лайм-артритом. Достовірних відмінностей між іншими проаналізованими показниками загального аналізу крові виявлено не було (Таблиця 3.10).

Таблиця 3.10

Серединні значення показників загального аналізу крові з лейкоцитарною формулою у пацієнтів клінічних груп (Me [25%; 75%])

Показник	**Пацієнти з артритами іншої етіології**	**Пацієнти з підтвердженим ЛА**
Лейкоцити, 10^9/л, у т. ч.	7,5 [7,1;7,9]	8,6 [8,1; 9,1]
• Паличкоядерні нейтрофіли, %	4,0 [2,8;4,5]*	2,0 [1,5; 2,5]
• Сегментоядерні нейтрофіли, %	43,0 [30,0;46,9]	47,0 [40,5; 49,5]
• Лімфоцити, %	43,9 [37,0;54,0]	39,0 [34,5; 41,3]

* - p<0,05 у порівнянні із групою пацієнтів з підтвердженим ЛА

Оцінюючи серединні рівні СРП, нами було встановлено, що цей показник виявився у чотири рази вищим у пацієнтів з підтвердженим Лайм-артритом, склавши 16,9 [5,7;43,1] мг/л, у той час як у пацієнтів з артритами іншої етіології він становив 4,0 [1,4;12,6] мг/л. Проте достовірних відмінностей за серединним рівнем СРП поміж пацієнтами виявлено не було (p>0,05).

Рівень IL-6 <1.5 пг/мл частіше (у 71,4% [35,3-96,3] випадків) реєструвався у групі пацієнтів з підтвердженим Лайм-артритом у порівнянні із пацієнтами з артритами іншої етіології, де їх частка із такими рівнями IL-6 становила 44,4% [15,4-75,8]. За даним показником групи поміж собою достовірно не відрізнялись (p>0,05).

При оцінці серединних рівнів IL-6, виявлено, що у пацієнтів з артритами іншої етіології цей показник становив 18,1 [6,1;19,7] пг/мл, у той час як у пацієнтів з підтвердженим ЛА він виявився дещо вищим, склавши 19.3 [11,2; 27,4] пг/мл. (Табл. 3.11)

Таблиця 3.11

Серединні значення маркерів запальних захворювань у пацієнтів з ЛА та артритами іншої етіології (Me [25%; 75%])

Показник	**Артрити іншої етіології (n=9)**	**Лайм-артрит (n=7)**
СРП, мг/л	4,0 [1,4;12,6]	16,9 [5,7;43,1]
ІЛ-6, пг/мл	18,1 [6,1;19,7]	19.3 [11,2; 27,4]
(ШОЕ), мм/год	4,0 [4,0;5,0]	5,0 [4,0; 10,0]

* - p<0,05 у порівнянні із пацієнтами з БЕФ ЛБ

\# - p<0,05 у порівнянні із ММЕ

На сьогодні найоптимальнішим методом для підтвердження Лайм-артриту залишається двохетапний метод, що включає імуноферментний аналіз та імуноблотаналіз. У пацієнтів з ендемічних зон у яких діагностовано як моно- так і олігоартрит, виявлений позитивний IgG до B. burgdorferi є діагностичним критерієм ЛА.

У жодного із наших пацієнтів з підтвердженим Лайм-артритом та лише в 1 пацієнта з артритами іншої етіології (11,1% [0,02-38,2]) було виявлено рівень IgM <2 Од/мл.

Водночас серединні рівні IgM виявились достовірно (p=0,02) вищими у пацієнтів із підтвердженим Лайм-артритом у порівнянні із такими у пацієнтів з артритами іншої етіології, де ці

показники становили 17,4 [7,9;19,7] Од/мл і були в межах сумнівних референтних значень та 7,1 [5,1;9,6] Од/мл, відповідно.

Достовірно (p=0,02) частіше рівні IgG >200 Од/мл виявлялись у групі пацієнтів із підтвердженим ЛА, де частка таких пацієнтів склала 42,9% [11,3-78,1], у той час, як у дітей з артритами іншої етіології такий рівень показника IgG не було виявлено у жодного із пацієнтів. Водночас серединні рівні IgG у дітей із підтвердженим Лайм-артритом (174,0 [115,9;196,7] Од/мл) виявились майже у 30 разів (p<0,001) вищими, аніж такі у пацієнтів з з артритами іншої етіології (5,9 [3,6;8,8] Од/мл). Через 6 місяців лікування серединні рівні IgM та IgG у дітей із Лайм-артритом становили 7,2 [6,1;11,8] Од/мл та 40,7 [24,2;63,2] Од/мл відповідно.

Показники серединних рівнів КФК-МВ виявились подібними і становили 19,0 [18,0;23,0] Од/л у пацієнтів з артритами іншої етіології та 22,0 [15,5;32,5] Од/л у пацієнтів із підтвердженим Лайм-артритом, достовірно між собою не відрізняючись (p>0,05).

За допомогою імуноблотаналізу можливим є визначення трьох видів B. burgdorferi sensu lato: B. burgdorferi sensu stricto, B. afzelii та B. garinii. Причиною хвороби Лайма може бути, як один вид борелій, так і їх поєднання. Найчутливішим антигеном для виявлення IgM є OspC, а для IgG – VlsE відповідно.

Таблиця 3.12

Структура результатів імуноблотаналізу IgM та IgG у пацієнтів з ЛА та з артритами іншої етіології (%, [95% ДІ])

Показник	Пацієнти з артритами іншої етіології		Пацієнти з підтвердженим ЛА	
	Не виявлений, %	Виявлений, %	Не виявлений, %	Виявлений, %
Bb IgM (імуноблотаналіз)				
OspC Ba	88,9 [61,8-99,98]	11,1 [0,02-38,2]	57,1 [21,9-88,7]	42,9 [11,3-78,1]
OspC Bb	100,0 [61,8-100]	0 [0,0-10,3]	71,4 [35,3-96,3]	28,6 [3,7-64,7]
OspC Bg	100,0 [61,8-100]	0 [0,0-10,3]	85,7 [52,7-99,97]	14,3 [0,03-47,3]
Bb IgG (імуноблотаналіз)				
VlsE Ba	100,0 [61,8-100]	0 [0,0-10,3]*	14,3 [0,03-47,3]	85,7 [52,7-99,97]
VlsE Bb	100,0 [61,8-100]	0 [0,0-10,3]*	14,3 [0,03-47,3]	85,7 [52,7-99,97]
VlsE Bg	100,0 [61,8-100]	0 [0,0-10,3]*	42,9 [11,3-78,1]	57,1 [21,9-88,7]

* - p<0,05 у порівнянні із групою 2

Серед вибраних антитіл класу IgM у пацієнтів з артритами іншої етіології антитіла до антигену OspC Ba (11,1% [0,02-38,2]) було виявлено лише в однієї дитини. Також у жодного із пацієнтів не виявлено IgG до антигенів VlsE Ba, VlsE Bb та VlsE Bg.

Істотно відмінними виявились показники імуноблотаналізу у дітей із підтвердженим Лайм-артритом. Так, у 42,9% [11,3-78,1] пацієнтів було виявлено IgM до антигену OspC Ba, у близько третини (28,6% [3,7-64,7]) – до антигену OspC Bb та у 14,3% [0,03-47,3] – до антигену OspC Bg. Антитіла до усіх трьох вибраних антигенів було виявлено в одного пацієнта (14,3% [0,03-47,3]), а також в однієї дитини з підтвердженим ЛАвиявлено IgM одночасно до антигенів OspC Ba та OspC Bb.

У більшості пацієнтів із підтвердженим Лайм-артритом виявлялись антитіла класу IgG до антигенів VlsE Ba та VlsE Bb (по 85,7% [52,7-99,97] відповідно, достовірно (p<0,001) частіше у порівнянні з пацієнтами з артритами іншої етіології) та у більш ніж половини пацієнтів з ЛА – до антигену VlsE Bg (57,1% [21,9-88,7]); цей показник також виявився достовірно (p=0,003) вищим, аніж такий у пацієнтів з артритами іншої етіології.

У трьох пацієнтів із підтвердженим ЛА виявились IgG одночасно до двох антигенів (в двох дітей - B.afzelii, B.burgdorferi, в 1 дитини - B.afzelii, B.garinii) і в аналогічної кількості пацієнтів встановлено наявність антитіл до усіх трьох обраних антигенів (42,9% [11,3-78,1]). Цей показник виявився достовірно (p=0,02) вищим аніж такий у пацієнтів з артритами іншої етіології.

У нашому дослідженні у більшості пацієнтів з Лайм-артритом найчастіше уражались колінні суглоби. В однієї дитини діагностовано бореліозне ураження плечового суглоба. У чотирьох пацієнтів було присмоктування кліща в анамнезі, проте в жодного не розвинулася мігруюча еритема.

При проведенні диференційної діагностики дев'яти пацієнтам із підозрою на ЛА виключено бореліозну етіологію артриту. Причинами суглобового синдрому у них виявилися: ювенільний ідіопатичний артрит (моноартрит, олігоартрит та системна форма ЮІА), транзиторні синовіїти, хвороба Осгуд-Шляттера (остеохондропатія горбистості великогомілкової кістки), віллонодулярний синовіїт та пост-ковідні артрити (Табл 3.13).

Таблиця 3.13

Диференційна діагностика Лайм-артриту, ювенільного ідіопатичного артриту та септичного артриту.

Клінічний діагноз	Характерні клінічні ознаки	Типові клініко-епідеміологічні та лабораторні ознаки
Лайм-артрит	• Асиметричний • Моноартрит або олігоартрит • Коліний, плечовий, променево-зап'ясний, ліктьовий, скронево-нижньощелепний суглоби	• Контакт з кліщем Ixodes scapularis в анамнезі • Мігруюча еритема в ранній локалізованій стадії • Позитивні антитіла до B.burgdorferi • Синовіальна рідина ~ 25000 лейкоцитів/мм^3 з переважанням нейтрофілів • Негативні АНА • Дрібні суглоби не уражаються • Кон'юктивіт, кератит
Септичний артрит	• Моноартрит • Раптовий початок з набряком суглоба та еритемою, зазвичай асоційований з ознаками системної інфекції	• Значне підвищення запальних маркерів в сироватці крові • Синовіальна рідина >50000 лейкоцитів/мм^3 з переважанням нейтрофілів • Позитивне бактеріологічне дослідження синовіальної рідини в >95% • Позитивне бактеріологічне дослідження крові в 50%
Олігоартрит ЮІА	• Асиметричний • Моноартрит або олігоартрит • Колінний, гомілково-стопний, променево-зап'ясний суглоби	• Вік дебюту 2-4 роки • Дівчатка:хлопчики=3:1 • Запальні маркери крові в нормі або незначно підвищені • Позитивні АНА>50% • Негативний РФ • В 5-10% випадків можливе ураження дрібних суглобів • Високий ризик розвитку іридоцикліту (хронічний негранулематозний передній увеїт)

ВИСНОВКИ:

1. Причиною Лайм-артриту у дітей є поєднання декількох видів борелій.

У трьох пацієнтів ЛА розвинувся внаслідок інфікування одночасно трьома видами борелій (B.burgdorferi, B.afzelii, B.garinii), ще у трьох – через поєднання двох видів борелій (B.afzelii і B.burgdorferi, B.afzelii та B.garinii), лише у одного пацієнта ЛА спричинений одним видом борелії (B.burgdorferi).

2. У пацієнтів з Лайм-артритом значення СРП були у 4 рази вищими (16,9 [5,7;43,1] мг/л), ніж пацієнтів з артритами іншої етіології (4,0 [1,4;12,6] мг/л). Проте серединний рівень IL-6 у пацієнтів з артритами іншої етіології становив 18,1 [6,1;19,7] пг/мл, у той час як у пацієнтів з підтвердженим ЛА він виявився дещо вищим 19.3 [11,2; 27,4] пг/мл.

3. У дітей з ЛА серединні рівні IgM визначалися в межах сумнівних референтних значень та були негативними у пацієнтів з артритами іншої етіології.

4. Лабораторним критерієм Лайм-артриту є позитивні IgG до B.burgdorferi в імуноферментному та імуноблотаналізах виконані у відповідний термін. Достовірно (p=0,02) частіше рівні IgG >200 Од/мл виявлялись у 42,9% пацієнтів з Лайм-артритом, у той час, як у пацієнтів з артритами іншої етіології такий рівень IgG не було виявлено у жодного.

5. Серединні рівні IgG у пацієнтів із підтвердженим ЛА (174,0 [115,9;196,7] Од/мл) виявились майже у 30 разів (p<0,001) вищими, аніж такі у пацієнтів з артритами іншої етіології (5,9 [3,6;8,8] Од/мл).

6. Для виявлення причини суглобового синдрому у дітей, попри відсутність даних про укус кліща чи наявність мігруючої еритеми в анамнезі, необхідний двохетапний метод діагностики Лайм-артриту.

IV. Прогнозування розвитку Лайм-артриту та Лайм-асоційованого паралічу лицевого нерва у дітей

При формуванні прогностичної моделі для визначення вірогідності розвитку Лайм-артриту та паралічу лицевого нерва у дітей з Лайм-бореліозом, нами застосовано метод логістичної регресії. Даний метод дозволяє ідентифікувати факторні ознаки, які впливають на виникнення даних нозологій, а також здійснювати персоніфіковане прогнозування у дітей з ЛБ виходячи з конкретних значень досліджуваних чинників.

Імовірність появи Лайм-артриту чи паралічу лицевого нерва (L) залежно від встановлених чинників розраховувалась за формулою 2.1:

$$L = \frac{1}{1+e^{-Z}} * 100\% \qquad (2.1)$$

де e = 2,718... – основа натуральних логарифмів,

Z – величина, обчислена за формулою 2.2:

$$Z = K + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots \beta_n x_n, \qquad (2.2)$$

де K - константа,

β_i - коефіцієнти при кожному факторі,

x_i - значення факторів.

Теоретично L може приймати значення від 0% до 100%. Межею згідно якої здійснювали поділ на високий чи низький ризики, було прийнято 50,0%.

Для встановлення чинників, які при поєднаній дії мають достовірний вплив на появу Лайм-артриту чи паралічу лицевого нерва, нами було застосовано покроковий метод логістичної регресії

з поступовим включенням достовірних ознак за методом Вальда. Отримані коефіцієнти моделі аналізувалися за допомогою критерію ксі-квадрат (Chi-square).

Розрахунки проводились із використанням програмного забезпечення RStudio v. 1.1.442 та R Commander v.2.4-4.

За допомогою методу логістичної регресії, нами було виокремлено 9 факторних ознак, які при поєднаній дії мають достовірний вплив на розвиток паралічу лицевого нерва у дітей з Лайм-бореліозом. Фактори та їхні бета-коефіцієнти регресії наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Коефіцієнти регресії факторів, які при поєднаній дії впливають на розвиток паралічу лицевого нерва у госпіталізованих дітей з хворобою Лайма

№ з/п	Фактори	Умовне позначення	Коефіцієнти регресії (βі)
1.	Лейкоцити, *10^9/л	X1	17,17
2.	ІФА IgG Од/мл	X2	2,66
3.	КФК-МВ Од/л	X3	-18,04
4.	ІЛ-6 пг/мл	X4	3,25
5.	Bb IgM (блотаналіз): p41	X5	64,02
6.	Bb IgM (блотаналіз): OspC Bg	X6	158,88
7.	Bb IgM (блотаналіз): OspC Ba	X7	1,23
8.	Bb IgM (блотаналіз): OspC Bb	X8	2,33
9.	Місце укусу: рука	X9	249,69
	Константа		-449,19

При побудові рівняння логістичної регресії, значення перших чотирьох факторів (лейкоцити, ІФА IgG, КФК-МВ, ІЛ-6) наводяться у вигляді їхніх абсолютних значень, тоді як для факторів блотаналізу (№ 5-8) використано наступне кодування: «1» – виявлений, «0» – не виявлений. Щодо останнього фактору, то якщо місце укусу кліща було ідентифіковано на руці, то використовується код «1», а при всіх інших місцях укусу або при неідентифікації місця укусу використовується код «0».

З-поміж аналізованих 9-ти факторів один (КФК-МВ) має превентивну дію – при зростанні його рівня у дітей з ЛБ зменшується ризик появи паралічу лицевого нерва. Натомість всі інші вісім факторів мають провокуючу дію – при їхній наявності / зростанні абсолютного значення, у пацієнтів з ЛБ зростає ризик появи паралічу лицевого нерва.

Вірогідність коефіцієнтів логістичної регресії перевірено за допомогою методу Вальда, а цілої моделі – за допомогою ксі-квадрату, значення якого становить 45,6 та вказує на те, що модель є достовірною з вірогідністю помилки менше 0,1% ($p<0,001$).

Методологічно, у процесі прогнозування появи паралічу лицевого нерва у дітей з ЛБ, необхідно обраховувати два рівняння. Першочергово здійснюється розрахунок Z (5.1) згідно лінійної функції (2.2):

$$Z = 17,17*X1 + 2,66*X2 - 18,04*X3 + 3,25*X4 + 64,02*X5 + 158,88*X6 + 1,23*X7 + 2,33*X8 + 249,69*X9 - 449,19 \quad (5.1)$$

Другим кроком є вставлення отриманого значення Z в рівняння логістичної регресії (2.1).

$$L= \frac{1}{1+e^{-Z}} * 100\%$$

де: e – основа натуральних логарифмів (=2,718).

Згідно встановлених критеріїв, якщо отриманий результат L буде рівним або більшим 50,0%, то це буде свідчити про високий ризик появи паралічу лицевого нерва у дітей з ЛБ. Відповідно, значення L до 50,0% вказуватиме на низький ризик появи даної нозології.

Для кращого розуміння функціонування запропонованої моделі можемо навести клінічний ***приклад №1. Пацієнт №44*** (хлопчик, віком 8 років). У даного пацієнта було діагностовано наступні показники: Лейкоцити – 9,43*10^9/л; ІФА IgG 152,04 Од/мл; КФК-МВ – 32 Од/л; ІЛ-6 – 3,04 пг/мл; на блотаналізі Bb IgM було виявлено p41 (код 1), OspC Bg (код 1), OspC Ba (код 1), OspC Bb (код 1). Анамнестично з'ясовано, що укус кліща був у руку (код 1).

Підставивши дані в формули 2.1 та 5.1 отримаємо:

$$Z = 17,17*9,43 + 2,66*152,04 - 18,04*32 + 3,25*3,04 + 64,02*1 + \\ + 158,88*1 + 1,23*1 + 2,33*1 + 249,69*1 - 449,19 = 25,9$$

$$L = \frac{1}{1+e^{-25,9}} * 100\% = 99,99\%$$

Тобто, виходячи з проведених розрахунків, даний хлопчик має високий ризик паралічу лицевого нерва, оскільки результат перевищує 50,0%. Подальше спостереження показало, що у нього дійсно розвинувся параліч лицевого нерва, тобто прогноз справдився.

Аналіз ретроспективної бази даних пацієнтів дозволив встановити основні діагностичні параметри даної прогностичної моделі. Загальна точність становила 98,04%, при високій чутливості (100,0%) та специфічності (97,92%).

Аналогічно, використовуючи метод логістичної регресії, нами було виокремлено 9 факторних ознак, які при поєднаній дії мають достовірний вплив на розвиток Лайм-артриту у дітей з ЛБ. Фактори та їхні бета-коефіцієнти регресії наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Коефіцієнти регресії факторів, які при поєднаній дії впливають на розвиток Лайм-артриту у дітей з Лайм-бореліозом

№ з/п	Фактори	Умовне позначення	Коефіцієнти регресії (βі)
1.	ІФА IgG, Од/мл	X1	1,71
2.	Bb IgM (блотаналіз): p41	X2	-321,25
3.	Bb IgM (блотаналіз): p39	X3	34,17
4.	Bb IgG(блотаналіз): VlsE Ba	X4	7,52
5.	Bb IgG(блотаналіз): VlsE Bb	X5	0,63
6.	Bb IgG(блотаналіз): p39	X6	66,41
7.	Місце укусу: рука	X7	470,61
8.	Місце укусу: нога	X8	89,53
9.	Місце укусу: не було	X9	479,34
	Константа		-524,29

При побудові рівняння логістичної регресії, значення ІФА IgG наводиться у вигляді його абсолютного значення, тоді як для факторів блотаналізу (№№ 2-6) використано наступне кодування: «1» – виявлений, «0» – не виявлений. Щодо місця укусу кліща, то при ствердній відповіді щодо зазначеної ділянки тіла використовується код «1», а при заперечувальній відповіді – код «0».

З-поміж аналізованих 9-ти факторів один (p41 при блотаналізі Bb IgM) має превентивну дію – при його наявності у госпіталізованих дітей з ЛБ зменшується ризик появи Лайм-артриту. Натомість всі інші вісім факторів мають провокуючу дію – при їхній наявності / зростанні абсолютного значення, у пацієнтів з ЛБ зростає ризик появи Лайм-артриту.

Вірогідність коефіцієнтів логістичної регресії перевірено за допомогою методу Вальда, а цілої моделі – за допомогою ксі-квадрату, значення якого становить 51,02 та вказує на те, що модель є достовірною з вірогідністю помилки менше 0,1% ($p<0,001$).

Методологічно, у процесі прогнозування появи Лайм-артриту у дітей з Лайм-бореліозом, необхідно обраховувати два рівняння. Першочергово здійснюється розрахунок Z (5.2) згідно лінійної функції (2.2):

$$Z = 1{,}71*X1 - 321{,}25*X2 + 34{,}17*X3 + 7{,}52*X4 + 0{,}63*X5 + \\ + 66{,}41*X6 + 470{,}61*X7 + 89{,}53*X8 + 479{,}34*X9 - 524{,}29 \quad (5.2)$$

Другим кроком є вставлення отриманого значення Z в рівняння логістичної регресії (2.1).

$$L = \frac{1}{1+e^{-Z}} * 100\%$$

де: e – основа натуральних логарифмів (=2,718).

Аналогічно, якщо отриманий результат L буде рівним або більшим 50,0%, то це буде свідчити про високий ризик появи Лайм-артриту у дітей з хворобою Лайма. Відповідно, значення L до 50,0% вказуватиме на низький ризик появи даної нозології.

Для кращого розуміння функціонування запропонованої моделі можемо навести клінічний ***приклад №2. Пацієнт №16*** (дівчинка, віком 2 роки та 1 місяць). У даної пацієнтки було діагностовано наступні показники: ІФА IgG 7,58 Од/мл; на блотаналізі Bb IgM не було виявлено p41 (код 0), виявлено p39 (код 1); на блотаналізі Bb IgG не було виявлено VlsE Ba (код 0), виявлено VlsE Bb (код 1) та не виявлено p39 (код 0). Батьки дитини не змогли згадати укус кліща: код 1 для відповіді «не було» та коди «0» для місця укусу в ділянці руки та ноги.

Підставивши дані в формули 2.1 та 5.2 отримаємо:

$$Z = 1{,}71*7{,}58 - 321{,}25*0 + 34{,}17*1 + 7{,}52*0 + 0{,}63*1 + \\ + 66{,}41*0 + 470{,}61*0 + 89{,}53*0 + 479{,}34*1 - 524{,}29 = 2{,}81$$

$$L = \frac{1}{1+e^{-2{,}81}} * 100\% = 94{,}32\%$$

Тобто, виходячи з проведених розрахунків, у даної дівчинки існує високий ризик розвиток Лайм-артриту, оскільки результат перевищує 50,0%. Подальше спостереження показало, що у неї дійсно розвинувся Лайм-артрит, тобто прогноз справдився.

Аналіз ретроспективної бази даних пацієнтів дозволив встановити основні діагностичні параметри даної прогностичної моделі. Загальна точність становила 96,08%, при високій чутливості (100,0%) та специфічності (95,79%).

Обговорення результатів дослідження. Лайм-бореліоз – це мультисистемне природно-осередкове інфекційне захворювання, яке часто називають «великим імітатором» через різноманітність його клінічних проявів. ЛБ виникає внаслідок інфікування бактеріями роду Borrelia і характеризується ураженням шкіри з розвитком МЕ, нервової, серцево-судинної системи та опорно-рухового апарату[305].

До комплексу Borrelia burgdorferi sensu lato входить більше 20 різних видів борелій, вісім з яких циркулюють в ендемічних областях Європи (B. afzelii, B. bavariensis, B. bissettii, B. burgdorferi

[305] Rudenko, N., Golovchenko, M., Grubhoffer, L., & Oliver, J. H., Jr (2009). Borrelia carolinensis sp. nov., a new (14th) member of the Borrelia burgdorferi Sensu Lato complex from the southeastern region of the United States. *Journal of clinical microbiology*, *47*(1), 134–141. https://doi.org/10.1128/JCM.01183-08

s.s., B. garinii, B. spielmanii, B. lusitaniae та B. valaisiana), а 5 інших видів (B. americana, B. andersonii, B. californiensis, B. carolinensis і B. kurtenbachii) раніше вважалися обмеженими лише в США[306,307].

В останнє десятиріччя захворюваність на ЛБ невпинно зростає, як в європейському регіоні в цілому, так і в Україні зокрема[308]. Найбільша захворюваність на ЛБ реєструється на заході України. Показник захворюваності на Лайм-бореліоз в Україні з 2000 року за 10 років зріс у 29 зросло в 58 р разів[309]. За 9 місяців 2022 року по Україні зареєстровано 2973 випадки ЛБ, з них 433 дитини віком до 17 років, проте за такий же період 2023 року виявлено 4051 випадки ЛБ, з них 430 дітей віком до 17 років[310].

Зміна клімату, перенесення природних екосистем у міста чи рекреаційні зони внаслідок урбанізації призводять до розширення як джерела, так і переносника хвороби Лайма, що, ймовірно, призведе до ще більшого зростання захворюваності на ЛБ[311].

Європейські дослідники стверджують що різні штами борелій можливо визначити за основними варіабельними білками малої молекулярної маси (OspA, OspB, OspC)[312]. Найчутливішим антигеном для виявлення IgM є OspC, а для IgG – VlsE[313]. Причиною ЛБ може бути як один, так і поєднання різних видів борелій. За допомогою імуноблотаналізу можливим є визначення трьох видів B. burgdorferi sensu lato: B. burgdorferi sensu stricto, B. afzelii та B. garinii.

У дослідженні взяли участь 80 пацієнтів з еритемними формами (ІМЕ та ММЕ) та 22 дитини з безеритемними формами Лайм-бореліозу (Лайм-кардит, Лайм-артрит, лімфоцитома, параліч лицевого нерва, менінгіт).

У результаті проведеного дослідження виявлено, що у 38 пацієнтів (59,38%) з ІМЕ, захворювання було спричинене поєднанням одразу трьох видів борелій (B.burgdorferi, B.afzelii, B.garinii). Найчастіше поєднання двох видів борелій, B.afzelii та B.burgdorferi, виявлено у 17,19% дітей з ІМЕ. У 6,25% випадків ІМЕ була спричинена лише одним видом борелій - B.garinii.

Серед 16 дітей з ММЕ, хвороба була спричинена у 14 пацієнтів поєднанням трьох видів борелій (87,5%).У жодного пацієнта один вид борелій не був причиною ММЕ.

У пацієнтів з БЕФ ЛБ, поєднання трьох видів борелій стало причиною захворювання у 10 дітей (45,45%), поєднання B.afzelii та B.burgdorferi зустрічалося у чотирьох, а B.burgdorferi виявлена в одного пацієнта.

Причиною Лайм-артриту у дітей було поєднання декількох видів борелій. У трьох пацієнтів (42,86%) ЛА розвинувся внаслідок інфікування одночасно трьома видами (B.burgdorferi, B.afzelii,

[306] Hanincová, K., Taragelová, V., Koci, J., Schäfer, S. M., Hails, R., Ullmann, A. J., Piesman, J., Labuda, M., & Kurtenbach, K. (2003). Association of Borrelia garinii and B. valaisiana with songbirds in Slovakia. *Applied and environmental microbiology*, *69*(5), 2825–2830. https://doi.org/10.1128/AEM.69.5.2825-2830.2003

[307] Christen, H. J., Hanefeld, F., Eiffert, H., & Thomssen, R. (1993). Epidemiology and clinical manifestations of Lyme borreliosis in childhood. A prospective multicentre study with special regard to neuroborreliosis. *Acta paediatrica (Oslo, Norway : 1992). Supplement*, *386*, 1–75. https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.1993.tb18082.x

[308] Куляс С.М. Сучасний погляд на особливості специфічної діагностики, лікування та профілактики Лайм-бореліозу / С.М. Куляс // Biomedical and biosocial anthropology. – 2013. – № 20. – С. 245-250.

[309] Shostakovych-Koretska, L. R., Budayeva, I. V., Cherginets, A. V., Mavrutenkov, V. V., & Marchenko, N. Y. (2014). Лайм-бореліоз: питання діагностики і терапії. ACTUAL INFECTOLOGY, (2.03), 34-38.

[310] https://phc.org.ua/monitoring-i-statistika

[311] Rudenko, N., Golovchenko, M., Grubhoffer, L., & Oliver, J. H., Jr (2009). Borrelia carolinensis sp. nov., a new (14th) member of the Borrelia burgdorferi Sensu Lato complex from the southeastern region of the United States. *Journal of clinical microbiology*, *47*(1), 134–141. https://doi.org/10.1128/JCM.01183-08

[312] Forde, K. M., O'Gorman, J., Gavin, P. J., Dryden, M. S., Keady, D., Hanahoe, B., McDonnell, C., Power, L., Cryan, B., Sweeney, J., Conyard, K. F., & O'Grady, M. J. (2021). The clinical presentation, treatment and outcome of serologically confirmed paediatric Lyme disease in the Republic of Ireland over a 5-year period: a retrospective cohort study. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases : official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, *40*(4), 725–734. https://doi.org/10.1007/s10096-020-04064-7

[313] Копча ВС, Васильєва НА, Шкільна МІ, та ін. Діагностичні можливості імунного блотингу при бореліозі. Здоров'я України 21 сторіччя. 2016; (11-12): 73-4.

B.garinii), ще у трьох – через поєднання двох видів борелій (B.afzelii і B.burgdorferi, B.afzelii та B.garinii), лише у одного пацієнта ЛА спричинений одним видом борелії (B.burgdorferi). Близькі дані висвітлені у дослідженні проведеному в Тернопільському державному медичному університеті ім. І.Я. Горбачевського, серед дорослих пацієнтів з Лайм-артритом: встановлено, що в 11 (78,6 %) із 14 хворих з гострим ЛА спостерігалося одночасно поєднання трьох видів борелій (OspC B. burgdorferi s. s., B. garinii, B. afzelii). В жодного пацієнта один вид борелій не був причиною ЛА[314].

Аналіз епідеміологічних даних 102 пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ виявив, що діти з ІМЕ та ММЕ найчастіше зазнавали укусу кліща в червні (23,44% , 25% відповідно). Не пам'ятали про епізод присмоктування кліща - 43,75% пацієнтів з ММЕ, та 17,19% дітей з ІМЕ. Пацієнти з БЕФ ЛБ найчастіше піддавались укусам кліщів, як в червні так і в липні (13,64%), проте 50% пацієнтів не пам'ятали про укус. Близькі дані висвітлені у дослідженні ЛБ проведеному Forde et al., де 52% пацієнтів з ЕФ ЛБ (ІМЕ, ММЕ) та 55% дітей з БЕФ ЛБ не пам'ятали про епізод присмоктування кліща[315].

У дітей з ІМЕ найчастішим місцем присмоктування кліща були нижні кінцівки (18%), у пацієнтів з ММЕ – тулуб та нижні кінцівки (19%). У дітей з БЕФ ЛБ найчастішим місцем присмоктування кліща була голова (23%). Проте 50% пацієнтів даної групи не пам'ятали про епізод укусу кліща.

При вивченні клінічних та лабораторних характеристик еритемних та безеритемних форм Лайм-бореліозу встановлено, що у 62,75% дітей було діагностовано ІМЕ. Множинна мігруюча еритема виявлялась в 4 рази рідше. БЕФ ЛБ підтверджено у 21,57% пацієнтів. Середній вік дітей з ІМЕ та БЕФ ЛБ був однаковим – 8 років, тоді як середній вік пацієнтів з ММЕ – 5,5 років.

У групі пацієнтів з ІМЕ та ММЕ хлопці склали 64.1% та 43.8% відповідно, дівчата – 35,9% та 56,3% .У структурі пацієнтів з БЕФ ЛБ хлопці та дівчатка склали 50.0% . За статевою ознакою групи з ЕФ ЛБ та БЕФ ЛБ між собою достовірно не відрізнялись ($p>0.05$).

Для порівняння, у дослідженні проведеному Ogden NH et al. в Канаді серед 95 дітей, середній вік яких становив 7 років, ІМЕ спостерігалась у 32 випадках, у решти діагностовані ММЕ та БЕФ ЛБ: кардити, артрити, краніальні нейропатії. Хоча у досліджуваних групах виявлено більше пацієнтів чоловічої статі, проте результати досліджень не були статистично значущі, як в закордонних, так і в нашому дослідженнях. Лайм-артрит найчастіше спостерігався у дітей, як прояв пізньої стадії Лайм-бореліозу[316].

Близькі до наших даних опублікували в одному зі закордонних досліджень, де вивчалась захворюваність на Лайм-бореліоз у дітей з 2005 по 2020 рік в США та країнах Європи. Вчені зазначають, що вікова категорія дітей віком 5 - 9 років становила найвищу частку пацієнтів з хворобою Лайма[317].

У ході дослідження нами встановлено, що серед 64 дітей з ІМЕ, мігруюча еритема найчастіше спостерігалася на нижніх кінцівках (36%) та тулубі (25%) і лише у 5% пацієнтів в ділянці шиї. У дітей з ММЕ найчастіше спостерігалося поєднання еритем на тулубі та верхніх кінцівках (25%), на голові, верхніх та нижніх кінцівках (19%).

[314] Forde, K. M., O'Gorman, J., Gavin, P. J., Dryden, M. S., Keady, D., Hanahoe, B., McDonnell, C., Power, L., Cryan, B., Sweeney, J., Conyard, K. F., & O'Grady, M. J. (2021). The clinical presentation, treatment and outcome of serologically confirmed paediatric Lyme disease in the Republic of Ireland over a 5-year period: a retrospective cohort study. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases : official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, *40*(4), 725–734. https://doi.org/10.1007/s10096-020-04064-7

[315] Shkilna, M. I. (2019). Етіологічна структура гострого Лайм-бореліозу за видами збудника. Інфекційні хвороби, (1), 43–49. https://doi.org/10.11603/1681-2727.2019.1.9942

[316] Ogden, N. H., Gasmi, S., Koffi, J. K., Barton, M., Lindsay, L. R., & Langley, J. M. (2020). Lyme disease in children: Data from the Canadian Paediatric Surveillance Program. *Ticks and tick-borne diseases*, *11*(2), 101347. https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.101347

[317] Shafquat, M., Angulo, F. J., Pilz, A., Moïsi, J. C., & Stark, J. H. (2023). The Incidence of Lyme Borreliosis Among Children. *The Pediatric infectious disease journal*, *42*(10), 867–874. https://doi.org/10.1097/INF.0000000000004040

Для порівняння наводимо дані ретроспективного дослідження ЛБ у дітей в Ірландії, де зазначають, що у пацієнтів з ІМЕ, мігруюча еритема найчастіше спостерігалася в ділянці тулуба (50%) та голови і шиї (27%)[318].

Нами застосовано двохетапний метод діагностики ЕФ та БЕФ ЛБ, що дозволило нам на першому етапі визначити рівень антитіл IgM та IgG до B. burgdorferi, підтвердити етіологію хвороби імуноблотаналізом та за рівнем специфічних антигенів покращити діагностику БЕФ ЛБ з можливим прогнозуванням перебігу захворювання. Також ми оцінювали загальний аналіз крові, маркери запальних захворювань (СРП, ШОЕ, IL-6), рівні КФК-МВ у пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ до та після лікування.

Маркери запального процесу (ШОЕ, СРП, ІЛ-6) виявились достовірно вищими у дітей з безеритемною формою ЛБ. Оцінюючи серединні рівні СРП, нами було встановлено, що цей показник виявився найвищим у пацієнтів з БЕФ ЛБ, достовірно відрізняючись від такого у пацієнтів з ІМЕ (p=0.02) та ММЕ. Проте, наші дані відрізняються від результатів отриманих в дослідженні проведеному Uhde M et al., де рівень СРП був значно підвищений у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ, на відміну від пацієнтів з пізніми проявами ЛБ[319].

У пацієнтів з БЕФ ЛБ серединний рівень ШОЕ виявився найвищим у порівнянні із пацієнтами з ІМЕ та достовірно (p=0.02) вищим порівняно із рівнем цього показника у пацієнтів з ММЕ.

Найвищі серединні рівні ІЛ-6 виявлялися у пацієнтів з БЕФ ЛБ (4.2 [3.0; 4.4] пг/мл). Достовірно нижчими були серединні значення ІЛ-6 у пацієнтів з ІМЕ - 3.1 [2.7; 3.3] пг/мл та ММЕ - 2.3 [2.1; 2.8] пг/мл (p=0.03 та p=0.03 відповідно).

Вартий уваги той факт, що серединні рівні КФК-МВ у пацієнтів з ММЕ були достовірно вищими, ніж у пацієнтів з ІМЕ (p=0.03) та з БЕФ ЛБ (p=0.03).

У дослідженні проведеному в Дніпровському державному медичному університеті також виявляли підвищені рівні КФК-МВ у дітей з ранньою дисемінованою стадією ЛБ. Їх трактували як «малі» ознаки кардиту у дітей[320].

Слід зауважити, що до лікування, серед досліджуваних пацієнтів, IgM>200 Од/мл виявлялися лише у дітей з ЕФ ЛБ, (p=0.001), проте не були виявлені у жодного із пацієнтів з БЕФ ЛБ (p=0.001 у порівнянні із групою з ЕФ ЛБ). Водночас серединні рівні IgM виявились достовірно (p=0.01) нижчими у пацієнтів з БЕФ ЛБ в порівнянні з пацієнтами з ІМЕ.

Серединні рівні IgG у пацієнтів з БЕФ ЛБ були у вісім та шість разів вищими, ніж в дітей з ІМЕ та ММЕ, (p<0.001). Рівні IgG >200 Од/мл виявлено лише в одного пацієнта з ІМЕ та у двох пацієнтів з ММЕ. Однак пацієнти з ЕФ ЛБ та БЕФ ЛБ за даним показником достовірно між собою не відрізнялись (p>0.05).

У ході дослідження, нами було встановлено, що серединний рівень IgG у хлопців та дівчат з БЕФ ЛБ виявився істотно вищим, аніж такий у пацієнтів з ІМЕ (p<0.0001 та p=0.0002 відповідно) та з ММЕ (p=0.048 та p=0.01).

Вищевказані дані є близькими до результатів дослідження проведеного Uhde M et al. серед 79 хворих на ЛБ, в яких антитіла IgG до B.burgdorferi були значно підвищеними у пацієнтів з ранньою

[318] Shkilna, M. I. (2019). Етіологічна структура гострого Лайм-бореліозу за видами збудника. Інфекційні хвороби, (1), 43–49. https://doi.org/10.11603/1681-2727.2019.1.9942

[319] Uhde, M., Ajamian, M., Li, X., Wormser, G. P., Marques, A., & Alaedini, A. (2016). Expression of C-Reactive Protein and Serum Amyloid A in Early to Late Manifestations of Lyme Disease. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, *63*(11), 1399–1404. https://doi.org/10.1093/cid/ciw599

[320] Shostakovych-Koretska, L. R., Budayeva, I. V., Cherginets, A. V., Mavrutenkov, V. V., & Marchenko, N. Y. (2014). Лайм-бореліоз: питання діагностики і терапії. ACTUAL INFECTOLOGY, (2.03), 34-38.

та пізньою дисемінованими стадіями хвороби Лайма на відміну від пацієнтів з ранньою локалізованою стадією[321]. Водночас, у дослідженні проведеному у Тернополі, теж виявлено високі значення антитіл IgG до B.burgdorferi у пацієнтів з ранньою та пізньою десимінованими стадіями Лайм-бореліозу[322].

Проведений статистичний аналіз показав, що IgM до OspC усіх борелій та до антигену p 41 були достовірно вищими у пацієнтів з ЕФ ЛБ. Водночас слід зазначити, що частка позитивних IgM до p41 у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ виявилась достовірно вищою (p=0.048 та p=0.001), аніж така у пацієнтів з БЕФ ЛБ. У дослідженні проведеному Шкільною М.І. серед дорослих пацієнтів з ЛБ, зазначається, антитіла IgM до антигену p41 виявили у 18 (69.2%) з 26 пацієнтів з ізольованою мігруючою еритемо[323]. IgM до флагеліну p41 та OspC свідчить про недавнє інфікування бореліями[324]. В літературних джерелах зазначається, що білок флагелін p41 є першим білком проти якого утворюються антитіла одразу після інфікування B.burgdorferi і він є специфічним лише для імуноблоту IgM[325].

Відзначимо також, що у пацієнтів з ІМЕ, IgM до p39 та OspC Bg були достовірно (p=0.01 та p=0.04) вищими, аніж такі у пацієнтів з БЕФ ЛБ.

Дослідники Ma et al. зазначають, що білок p39 є найбільш специфічним маркером Лайм-бореліозу. Приблизно 50% зразків сироватки крові пацієнтів з ранньою стадією Лайм-бореліозу реагують на нього. Науковці Aguero Rosenfeld et al., повідомляють, що антитіла проти білка p 39 спостерігалися в 35% IgM і 26% IgG імуноблотів під час ранніх стадій Лайм-бореліозу[326,327].

IgM до OspC Ba, OspC Bb, OspC Bg найчастіше виявлялися у дітей з ММЕ і становили 87.5%, 81,3% та 87.5% відповідно. Найчастіше IgM до OspC Ba виявлявся у хлопців з ММЕ - 85.7%, IgM до OspC Bg виявлявся у 88,9% дівчат з ММЕ, а IgM до OspC Bb виявлявся позитивним у всіх хлопців з ММЕ.

Найнижчою в дітей з ІМЕ та ММЕ виявилась частка IgM до VlsE; проте за даним показником істотних відмінностей поміж пацієнтами з ЕФ ЛБ виявлено не було (p>0,05).

У пацієнтів з БЕФ ЛБ IgM до OspC Ba, OspC Bb, OspC Bg виявлялися достовірно рідше в порівнянні з дітьми з ІМЕ та ММЕ. Сироваткові антитіла IgG до VlsE Bb найчастіше виявлялись у пацієнтів з ММЕ, тоді як IgG до VlsE Ba – в дітей з БЕФ ЛБ.

Слід відзначити, що у дітей з БЕФ ЛБ частки пацієнтів, у яких були виявлені IgG до антигенів VlsE Bg, Lipid Ba, Lipid Bb, p83, а також p20, виявились достовірно вищими, аніж такі у пацієнтів з

[321] Uhde, M., Ajamian, M., Li, X., Wormser, G. P., Marques, A., & Alaedini, A. (2016). Expression of C-Reactive Protein and Serum Amyloid A in Early to Late Manifestations of Lyme Disease. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, *63*(11), 1399–1404. https://doi.org/10.1093/cid/ciw599

[322] Evaluation of immunoblot results for determination of antibodies to lyme disease pathogens in children of ternopil region [Electronic resource] / S. O. Nykytyuk [et al.] // International journal of medicine and medical research. – 2022. – Vol. 7, no. 2. – P. 76–82. – https://doi.org/10.11603/ijmmr.2413-6077.2021.2.12657

[323] Shkilna, M. I. (2019). Етіологічна структура гострого Лайм-бореліозу за видами збудника. Інфекційні хвороби, (1), 43–49. https://doi.org/10.11603/1681-2727.2019.1.9942

[324] Vaz, A., Glickstein, L., Field, J. A., McHugh, G., Sikand, V. K., Damle, N., & Steere, A. C. (2001). Cellular and humoral immune responses to Borrelia burgdorferi antigens in patients with culture-positive early Lyme disease. *Infection and immunity*, *69*(12), 7437–7444. https://doi.org/10.1128/IAI.69.12.7437-7444.2001

[325] Куляс С.М. Сучасний погляд на особливості специфічної діагностики, лікування та профілактики Лайм-бореліозу / С.М. Куляс // Biomedical and biosocial anthropology. – 2013. – № 20. – С. 245-250.

[326] Ma, B., Christen, B., Leung, D., & Vigo-Pelfrey, C. (1992). Serodiagnosis of Lyme borreliosis by western immunoblot: reactivity of various significant antibodies against Borrelia burgdorferi. *Journal of clinical microbiology*, *30*(2), 370–376. https://doi.org/10.1128/jcm.30.2.370-376.1992

[327] Aguero-Rosenfeld, M. E., Nowakowski, J., McKenna, D. F., Carbonaro, C. A., & Wormser, G. P. (1993). Serodiagnosis in early Lyme disease. *Journal of clinical microbiology*, *31*(12), 3090–3095. https://doi.org/10.1128/jcm.31.12.3090-3095.1993

IME (p=0.01, p=0.02, p=0.005, p=0.01, p=0.005 відповідно). Частка виявлених IgG до VlsE Ba у пацієнтів БЕФ ЛБ виявилася істотно вищою (p=0.01) ніж у дітей з IME.

Вартий уваги той факт, що у пацієнтів з БЕФ ЛБ IgG до p39 виявлялися достовірно вищими (p=0.04) ніж у пацієнтів з ММЕ. Закордонні дослідження зазначають, що білок p39 або основний мембранний білок B. burgdorferi (bmp) A/B оперон, виявляється на поверхні бактерій, має високу антигенність й індукується в людських суглобах. Білок BmpA/B здатний запускати експресію прозапальних цитокінів таких як TNF-α, IL-1β, IL-1α, IL-1β, IL-6, IL-8, IL-12 і IL-18 та IFN-γ у синовіальних клітинах людини, тим самим відіграючи важливу роль у розвитку Лайм-артриту[328,329,330]

У групу пацієнтів з БЕФ ЛБ увійшло 7 пацієнтів з Лайм-артритом. Також було обстежено та виключено діагноз ЛА у 9 дітей, які первинно звернулися із підозрою на Лайм-артрит.

Серед пацієнтів з ЛА переважали хлопці (66,7% [34,6-91,9]), а поміж дітей з артритами іншої етіології – дівчата (57,1% [21,9-88,7]).

У нашому дослідженні у пацієнтів з Лайм-артритом найчастіше діагностовано ураження колінних суглобів (85,71%), яке було єдиною клінічною ознакою ЛБ. Тільки в однієї дитини виявлено бореліозне ураження плечового суглоба в поєднанні з невритом лицевого нерва (14,29%). У 85,71% дітей ЛА перебігав у вигляді гострого моноартриту і лише у 14,29% – олігоартриту. Подібні дані опублікували дослідники зі США, Lucente LN et al., зазначаючи, що серед дітей з ЛА переважали пацієнти чоловічої статі. У 86,4% дітей найчастіше уражався саме колінний суглоб, а у 77,3% пацієнтів – єдиною клінічною ознакою на момент встановлення діагнозу був артрит. У трьох пацієнтів, ЛА поєднувався з неврологічними симптомами ЛБ, включаючи параліч лицевого нерва[331].

Присмоктування кліща в анамнезі зазначено у чотирьох пацієнтів (57,14%) з ЛА, проте у жодної дитини МЕ не передувала ураженню суглобів. За даними дослідження Glaude et al., з Канади, 76% дітей з Лайм-артритом не пам'ятали про епізод присмоктування кліща, і лише у 18% пацієнтів симптомам артриту передувала МЕ[332].

При проведенні порівняння серединних рівнів СРП та ІЛ-6 у дітей зі суглобовим синдромом, нами встановлено, що СРП був у чотири рази вищим у пацієнтів з ЛА, ніж у дітей з артритами іншої етіології (p>0,05). Близькі дані наводять американські дослідники Long KC, Cohn KA повідомляючи, що у пацієнтів з ЛА часто виявляють підвищення рівня ШОЕ, С- реактивного білка та прозапальних інтерлейкінів в порівнянні з пацієнтами з транзиторним синовіїтом та артритами іншої етіології[333].

Такі ж результати наводять науковці зі США Jeelani et al. , у дослідженні яких, у пацієнтів з Лайм-артритом рівні СРП були зачно вищими ніж у дітей з ювенільним ідіопатичним артритом[334].

[328] Yang, X., Izadi, H., Coleman, A. S., Wang, P., Ma, Y., Fikrig, E., Anguita, J., & Pal, U. (2008). Borrelia burgdorferi lipoprotein BmpA activates pro-inflammatory responses in human synovial cells through a protein moiety. *Microbes and infection*, *10*(12-13), 1300–1308. https://doi.org/10.1016/j.micinf.2008.07.029

[329] Shin, J. J., Glickstein, L. J., & Steere, A. C. (2007). High levels of inflammatory chemokines and cytokines in joint fluid and synovial tissue throughout the course of antibiotic-refractory lyme arthritis. *Arthritis and rheumatism*, *56*(4), 1325–1335. https://doi.org/10.1002/art.22441

[330] Radolf, J. D., Norgard, M. V., Brandt, M. E., Isaacs, R. D., Thompson, P. A., & Beutler, B. (1991). Lipoproteins of Borrelia burgdorferi and Treponema pallidum activate cachectin/tumor necrosis factor synthesis. Analysis using a CAT reporter construct. *Journal of immunology (Baltimore, Md. : 1950)*, *147*(6), 1968–1974.

[331] Lucente, L. N., Abu-Dayya, A., Hennon, T., Islam, S., Wrotniak, B. H., & Abdul Aziz, R. (2019). Lyme Arthritis in Children on the Uptick in Western New York Area. *Clinical medicine insights. Arthritis and musculoskeletal disorders*, *12*, 1179544119890851. https://doi.org/10.1177/1179544119890851

[332] Glaude, P. D., Huber, A. M., Mailman, T., Ramsey, S., Lang, B., & Stringer, E. (2015). Clinical characteristics, treatment and outcome of children with Lyme arthritis in Nova Scotia. *Paediatrics & child health*, *20*(7), 377–380. https://doi.org/10.1093/pch/20.7.377

[333] Long, K. C., & Cohn, K. A. (2018). Lyme Arthritis: An Update for Clinical Practice. *Pediatric emergency care*, *34*(8), 588–591. https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001576

[334] Jeelani, W., Harhay, R., Wrotniak, B. H., Hargest, T., Teo, A., & Abdul-Aziz, R. (2022). The Importance of Differentiating Oligoarticular Juvenile Idiopathic Arthritis From Lyme Arthritis in Pediatric Patients. *Cureus*, *14*(12), e32785. https://doi.org/10.7759/cureus.32785

У дітей з ЛА серединні рівні IgM визначалися в межах сумнівних референтних значень та були достовірно (p=0,02) вищими у порівнянні з пацієнтами з підозрою на ЛА. Достовірно (p=0,02) частіше рівні IgG >200 Од/мл виявлялись у 42,9% пацієнтів з Лайм-артритом, у той час, як у жодного пацієнта з артритом іншої етіології такий рівень IgG не виявлявся .

Серединні рівні IgG у пацієнтів із підтвердженим ЛА (174,0 [115,9;196,7] Од/мл) виявились майже у 30 разів (p<0,001) вищими, аніж такі у пацієнтів з артритами іншої етіології (5,9 [3,6;8,8] Од/мл).

Зважаючи на літературне дослідження, у європейців захворювання може проявлятися через 2 місяці після укусу кліща, що лабораторно підтверджується позитивними IgM до B.burgdorferi в ІФА та імуноблоті. Такі результати досліджень можуть слугувати поясненю сумнівних IgM до B.burgdorferi в ІФА у наших результатах[335].

Усі пацієнти з ЛА одужали після одного курсу антибіотикотерапії.

Серед 64 пацієнтів з ІМЕ, 28 дітям проводилась антибіотикотерапія доксицикліном (43,75%), двадцять три дитини (35,93%) отримували амоксицилін з клавулановою кислотою, 12,5% пацієнтів - цефуроксим аксетил. П'ятеро дітей отримували цефтріаксон з подальшим переходом на пероральний антибіотик.

З 16 пацієнтів з ММЕ, семеро дітей отримували антибіотикотерапію амоксиціліном з клавулановою кислотою (43,75%), шестеро - доксицикліном (37,50%), дві дитини – цефуроксим аксетилом (12,50%). Один пацієнт отримував лікування в стаціонарних умовах цефтріаксоном (6,25%).

Тривалість антибіотикотерапії у дітей з ІМЕ складала 14 та 21 день, а у пацієнтів з ММЕ - 21 день.

Подальший аналіз отриманих даних показав, що після проведеного лікування найнижчим серединний рівень IgM виявився у пацієнтів з БЕФ ЛБ, у той час як у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ його серединні рівні були достовірно вищими p=0.004 та p=0.048 відповідно. Подібні відмінності було відзначено і окремо у пацієнтів чоловічої статі. Серед дівчат з ЕФ та БЕФ ЛБ подібних істотних відмінностей виявлено не було. Натомість найвищий серединний рівень IgG було зафіксовано у пацієнтів з БЕФ ЛБ, що було достовірно (p=0.002) вище, аніж у пацієнтів з ІМЕ. У жодного із пацієнтів рівнів IgM та IgG >200 Од/мл зареєстровано не було.

В одному з довготривалих досліджень проведених вченими Kalish et al. в США, більше половини дорослих пацієнтів з Лайм-артритом та одна третина пацієнтів з ранніми проявами ЛБ все ще мали позитивні антитіла IgM або IgG до B. burgdorferi через 10–20 років після активної інфекції, які визначалися двохетапним методом (ELISA й вестерн-блот). Позитивні IgM до B.burgdorferi спостерігалися у 10% пацієнтів з ранніми проявами ЛБ та у 15% пацієнтів з Лайм-артритом[336].

У всіх пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ найвищими були частки виявлених IgM до p41, при чому найбільша частка пацієнтів із верифікованою наявністю антитіл до даного антигену була у пацієнтів з ММЕ, не відрізняючись, однак, достовірно від інших клінічних груп (p>0.05)

При аналізі гендерних особливостей даного показника у пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ встановлено, що в усіх хлопчиків з ММЕ були виявлені антитіла класу IgM до антигену p41,

[335] Branda, J. A., & Steere, A. C. (2021). Laboratory Diagnosis of Lyme Borreliosis. *Clinical microbiology reviews*, *34*(2), e00018-19. https://doi.org/10.1128/CMR.00018-19

[336] Kalish, R. A., McHugh, G., Granquist, J., Shea, B., Ruthazer, R., & Steere, A. C. (2001). Persistence of immunoglobulin M or immunoglobulin G antibody responses to Borrelia burgdorferi 10-20 years after active Lyme disease. *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, *33*(6), 780–785. https://doi.org/10.1086/322669

достовірно відрізняючись за даним показником від пацієнтів з ІМЕ (p=0.001) та пацієнтів з БЕФ ЛБ (p=0.049). Подібних істотних відмінностей у пацієнтів жіночої статі констатовано не було.

Високими виявились також частки IgM до бореліоз-специфічних антигенів OspC Ba, OspC Bb та OspC Bg.

Найнижчими натомість в пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ зареєстровано частки антитіл до антигену VlsE.

За показником частки виявлених IgM до OspC Ba та OspC Bg пацієнтів з ЕФ та БЕФ ЛБ поміж собою також істотно не відрізнялись (p>0.05). Однак, достовірні відмінності було виявлено у пацієнтів чоловічої статі: так, частка пацієнтів з ІМЕ, у яких було підтверджено наявність IgM до OspC Ba була істотно (p=0.02) вищою, аніж така у пацієнтів з БЕФ ЛБ, водночас достовірно не відрізняючись поміж пацієнтами жіночої статі.

Натомість у дівчат з ЕФ та БЕФ ЛБ істотні відмінності були зареєстровані при порівнянні часток IgM до антигену OspC Bg. Так, у пацієнток з ММЕ цей показник виявився найвищим, достовірно (p=0.03 та p=0.002) відрізнячись від такого у пацієнтів з ІМЕ та БЕФ ЛБ.

У пацієнтів з ІМЕ та ММЕ вагомими були частки пацієнтів, у яких виявлено наявність IgM до антигену OspC Bb, які були достовірно (p=0.002 та p=0.02, відповідно) вищими у порівнянні із даним показником у групі пацієнтів з БЕФ ЛБ.

При аналізі гендерних особливостей даного показника, аналогічні відмінності виявлені були у пацієнтів чоловічої статі: так, у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ частка IgM до антигену OspC Bb була достовірно (p=0.047 та p=0.0005) вищою, аніж така у пацієнтів з БЕФ ЛБ. За даним показником відзначено наявність достовірних (p=0.01) відмінностей також і безпосередньо поміж пацієнтами з ІМЕ та ММЕ.

Антитіла класу IgM до антигену p39 у хлопчиків клінічних груп були виявлені лише у дітей з ІМЕ, достовірно (p=0.02) відрізняючись за даним показником від пацієнтів з ММЕ та БЕФ ЛБ. Подібних істотних відмінностей у пацієнтів жіночої статі відзначено не було.

В усіх клінічних групах найвищими були частки виявлених IgG до p41 та VlsE Bb.

Водночас відзначимо, що найнижчу частку IgG до антигену VlsE Bb зафіксовано у пацієнтів з ІМЕ ; цей показник виявився істотно нижчим, аніж такий у пацієнтів з ММЕ (p=0.05) та з БЕФ ЛБ (p=0.01). Істотні відмінності за даним показником також були виявлені і серед пацієнтів чоловічої статі з ЕФ та БЕФ ЛБ.

У пацієнтів з БЕФ ЛБ вагомою виявилась частка дітей із наявними IgG до антигену VlsE Ba , достовірно вищою, аніж така у пацієнтів з ІМЕ та ММЕ.

Серед інших показників відзначимо, що частки пацієнтів з БЕФ ЛБ, у яких було зафіксовано наявність антитіл класу IgG до бореліоз-специфічних антигенів Lipid Bb, p21, а також p20, виявились достовірно вищими, аніж такі у дітей з ІМЕ (p=0.02, p=0.02, p=0.01відповідно).

Істотні відмінності у даної когорти пацієнтів виявлені також за показниками частки IgG до антигенів p58 та p20. У пацієнтів з ММЕ не виявлено жодної дитини, у якої було зафіксовано наявність антитіл класу IgG до антигену p58, достовірно відрізняючись за даним показником із пацієнтами з ІМЕ (p=0.04) та з БЕФ ЛБ (p=0.049). Натомість частка пацієнтів чоловічої статі, у яких були виявлені IgG до антигену p20, була найвищою у пацієнтів з БЕФ ЛБ, істотно відрізняючись від такої в осіб з ІМЕ (p=0.02) та ММЕ, де антитіла до даного антигену не виявлено у жодного із пацієнтів (p=0.004).

Зауважимо, що в усіх клінічних групах не зареєстровано пацієнтів, у яких не було би зафіксовано наявність IgG до жодного із бореліоз-специфічних антигенів.

ВИСНОВКИ

У ході проведеного комплексного дослідження, в якому взяли участь 102 дитини з Лайм-бореліозом, були досліджені етіологічні, епідеміологічні та клінічно-інструментальні особливості еритемних та безеритемних форм Лайм-бореліозу у дітей.

Отримані дані дозволили удосконалити підхід до оцінки перебігу захворювання, його діагностики та тактики ведення хворих на ЛБ з ураженням серцево-судинної системи, нервової системи, опорно-рухового

Практичне значення отриманих результатів.

Було удосконалено лікувально-діагностичний алгоритм та прогноз перебігу захворювання на хворобу Лайма у дітей, що дає можливість зменшити ризик суглобових, серцево-судинних та неврологічних ускладнень у дітей із-за вчасного комплексного призначення етіопатогенетичного лікування.

Дані про розвиток і перебіг захворювання залежно від геновиду борелій можуть бути використані, як нові додаткові дагностичні критерії для оцінки Лайм бореліозу у дітей.

Розроблена схема диференційної діагностика Лайм-артриту з ювенільним ідіопатичним артритом та септичним артритом у педіатричній практиці, може слугувати додатковим джерелом інформації для практикуючих лікарів. Враховуючи результати досліджень на підставі використання

математично-статистичних розрахунків, створено модель логістичної регресії, яка дає можливість передбачити розвиток дисемінованих безеритемних форм Лайм-бореліозу: Лайм-артриту та паралічу лицевого нерва.

ДОДАТОК В.1

Структура результатів імуноблотаналізу IgM та IgG у пацієнтів клінічних груп до лікування (%, [95% ДІ])

Показник	Група 1 (ізольована МЕ)		Група 1 (ММЕ)		Група 2 (БЕФ ЛБ)	
	Не виявлений, %	Виявлений, %	Не виявлений, %	Виявлений, %	Не виявлений, %	Виявлений, %
Bb IgM (імуноблотаналіз)						
VlsE	79.7 [69.0-88.6]	20.3 [11.4-31.0]	81.3 [59.2-95.9]	18.8 [4.1-40.8]	90.9 [75.7-99.1]	9.1 [0.9-24.3]
p41	15.6 [7.8-25.5]	84.4 [74.5-92.2]	18.8 [4.1-40.8]	81.3 [59.2-95.9]	27.3 [11.2-47.3]	72.7 [52.7-88.9]
p39	53.1 [40.9-65.1]*	46.9 [34.9-59.1]*	56.3 [32.2-78.9]	43.8 [21.1-67.8]	81.8 [63.4-94.7]	18.2 [5.3-36.6]
OspC Ba	32.8 [21.9-44.7]*,#	67.2 [55.3-78.1]*,#	12.5 [1.4-32.5]*	87.5 [67.5-98.7]*	59.1 [38.4-78.3]	40.9 [21.7-61.6]
OspC Bb	32.8 [21.9-44.7]*	67.2 [55.3-78.1]*	18.8 [4.1-40.8]*	81.3 [59.2-95.9]*	63.6 [42.9-82.0]	36.4 [18.0-57.1]
OspC Bg	40.6 [29.0-52.8]#	59.4 [47.2-71.0]#	12.5 [1.4-32.5]*	87.5 [67.5-98.7]*	63.6 [42.9-82.0]	36.4 [18.0-57.1]
IgM	23.4 [14.0-34.5]*,#	76.6 [65.5-86.0]*,#	6.3 [0.0-22.8]*	93.8 [77.2-100.0]*	54.5 [34.0-74.4]	45.5 [25.6-66.1]

Продовження додатку В.1

Показник	Група 1 (ізольована ME)		Група 1 (MME)		Група 2 (БЕФ ЛБ)	
	Не виявлений, %	Виявлений, %	Не виявлений, %	Виявлений, %	Не виявлений, %	Виявлений, %
Bb IgG (імуноблотаналіз)						
VlsE Ba	51.6 [39.4-63.6]*,#	48.4 [36.4-60.6]*,#	12.5 [1.4-32.5]	87.5 [67.5-98.7]	22.7 [8.1-42.1]	77.3 [57.9-91.9]
VlsE Bb	26.6 [16.6-38.0]	73.4 [62.0-83.5]	12.5 [1.4-32.5]	87.5 [67.5-98.7]	18.2 [5.3-36.6]	81.8 [63.4-94.7]
VlsE Bg	56.3 [44.0-68.1]*	43.8 [31.9-56.0]*	31.3 [11.6-55.3]	68.8 [44.7-88.4]	31.8 [14.5-52.3]	68.2 [47.7-85.5]
Lipid Ba	89.1 [80.3-95.5]*	10.9 [4.53-19.67]*	81.3 [59.2-95.9]	18.8 [4.1-40.8]	59.1 [38.4-78.3]	40.9 [21.7-61.6]
Lipid Bb	90.6 [82.3-96.5]*	9.4 [3.5-17.7]*	81.3 [59.2-95.9]	18.8 [4.1-40.8]	63.6 [42.9-82.0]	36.4 [18.0-57.1]
p83	75.0 [63.8-84.8]*	25.0 [15.2-36.3]*	56.3 [32.2-78.9]	43.8 [21.1-67.8]	40.9 [21.7-61.6]	59.1 [38.4-78.3]
p41	1.6 [0-6.0]	98.4 [94.0-100.0]	0.0 [0.0-5.9]	100.0 [94.1-100.0]	9.1 [0.9-24.3]	90.9 [75.7-99.1]
p39	82.8 [72.7-91.0]*	17.2 [9.0-27.3]*	81.3 [59.2-95.9]*	18.8 [4.1-40.8]*	50.0 [29.7-70.3]	50.0 [29.7-70.3]
OspC Ba	29.7 [19.2-41.4]	70.3 [58.6-80.8]	18.8 [4.1-40.8]	81.3 [59.2-95.9]	31.8 [14.5-52.3]	68.2 [47.7-85.5]
p58	89.1 [80.3-95.5]*	10.9 [4.53-19.67]*	93.8 [77.2-100.0]*	6.3 [0.0-22.8]*	59.1 [38.4-78.3]	40.9 [21.7-61.6]
p21	76.6 [65.5-86.0]	23.4 [14.0-34.5]	87.5 [67.5-98.7]	12.5 [1.4-32.5]	63.6 [42.9-82.0]	36.4 [18.0-57.1]
p20	87.5 [78.4-94.4]*	12.5 [5.6-21.6]*	75.0 [51.7-92.4]	25.0 [7.6-48.3]	54.5 [34.0-74.4]	45.5 [25.6-66.1]
p19	87.5 [78.4-94.4]	12.5 [5.6-21.6]	75.0 [51.7-92.4]	25.0 [7.6-48.3]	68.2 [47.7-85.5]	31.8 [14.5-52.3]
p18	84.4 [74.5-92.2]	15.6 [7.8-25.5]	68.8 [44.7-88.4]	31.3 [11.6-55.3]	68.2 [47.7-85.5]	31.8 [14.5-52.3]
IgG	29.7 [19.2-41.4]	70.3 [58.6-80.8]	12.5 [1.4-32.5]	87.5 [67.5-98.7]	13.6 [2.8-30.7]	86.4 [69.3-97.2]

* - p<0,05 у порівнянні із групою 2

- p<0,05 у порівнянні із групою 1 (MME)

ДОДАТОК В.2

Структура результатів імуноблотаналізу IgM та IgG у пацієнтів клінічних груп після лікування (%, [95% ДІ])

Показник	Група 1 (ізольована ME)		Група 1 (ММЕ)		Група 2 (БЕФ ЛБ)	
	Не виявлений, %	Виявлений, %	Не виявлений, %	Виявлений, %	Не виявлений, %	Виявлений, %
Bb IgM (імуноблотаналіз)						
VlsE	90.6 [82.3-96.5]	9.4 [3.5-17.7]	87.5 [67.5-98.7]	12.5 [1.4-32.5]	95.5 [83.1-100.0]	4.5 [0.0-16.9]
p41	20.3 [11.4-31.0]	79.7 [69.0-88.6]	18.8 [4.1-40.8]	81.3 [59.2-95.9]	27.3 [11.2-47.3]	72.7 [52.7-88.9]
p39	82.8 [72.7-91.0]	17.2 [9.0-27.3]	87.5 [67.5-98.7]	12.5 [1.4-32.5]	90.9 [75.7-99.1]	9.1 [0.9-24.3]
OspC Ba	60.9 [48.8-72.4]	39.1 [27.6-51.2]	56.3 [32.2-78.9]	43.8 [31.9-56.0]	72.7 [52.7-88.9]	27.3 [11.2-47.3]
OspC Bb	56.3 [44.0-68.1]*	43.8 [31.9-56.0]*	50.0[26.5-73.5]*	50.0[26.5-73.5]*	86.4 [69.3-97.2]	13.6 [2.8-30.7]
OspC Bg	64.1 [52-75.28]	35.9 [24.7-48.0]	50.0 [26.5-73.5]	50.0 [26.5-73.5]	72.7 [52.7-88.9]	27.3 [11.2-47.3]
IgM	70.3 [58.6-80.8]	29.7 [19.2-41.4]	50.0[26.5-73.5]*	50.0[26.5-73.5]*	81.8±8.2 [63.4-94.7]	18.2 [5.3-36.6]
Bb IgG (імуноблотаналіз)						
VlsE Ba	79.7 [69.0-88.6]*	20.3 [11.4-31.0]*	81.3 [59.2-95.9]*	18.8 [4.1-40.8]*	45.5 [25.6-66.1]	54.5 [34.0-74.4]
VlsE Bb	50.0 [37.9-62.1]*,#	50.0 [37.9-62.1] *,#	25.0 [7.6-48.3]	75.0 [51.7-92.4]	22.7 [8.1-42.1]	77.3 [57.9-91.9]
VlsE Bg	67.2 [55.3-78.1]	32.8 [21.9-44.7]	75.0 [51.7-92.4]	25.0 [7.6-48.3]	63.6 [42.9-82.0]	36.4 [18.0-57.1]
Lipid Ba	87.5 [78.4-94.4]	12.5 [5.6-21.6]	87.5 [67.5-98.7]	12.5 [1.4-32.5]	68.2 [47.7-85.5]	31.8 [14.5-52.3]
Lipid Bb	92.2 [84.4-97.4]*	7.8 [2.6-15.6]*	87.5 [67.5-98.7]	12.5 [1.4-32.5]	68.2 [47.7-85.5]	31.8 [14.5-52.3]
p83	84.4 [74.5-92.2]	15.6 [7.8-25.5]	62.5 [38.3-83.8]	37.5 [16.2-61.8]	77.3 [57.9-91.9]	22.7 [8.1-42.1]
Bb IgG (імуноблотаналіз)						
p41	4.7 [0.9-11.2]	95.3 [88.8-99.1]	25.0 [7.6-48.3]	75.0 [51.7-92.4]	18.2 [5.3-36.6]	81.8 [63.4-94.7]
p39	90.6 [82.3-96.5]	9.4 [3.5-17.7]	81.3 [59.2-95.9]	18.8 [4.1-40.8]	72.7 [52.7-88.9]	27.3 [11.2-47.3]
OspC Ba	51.6 [39.4-63.6]	48.4 [36.4-60.6]	50.0 [26.5-73.5]	50.0 [26.5-73.5]	45.5 [25.6-66.1]	54.5 [34.0-74.4]
p58	90.6 [82.3-96.5]	9.4 [3.5-17.7]	93.8 [77.2-100.0]	6.3 [0.0-22.8]	72.7 [52.7-88.9]	27.3 [11.2-47.3]
p21	89.1 [80.3-95.5]*	10.9 [4.5-19.7]*	87.5 [67.5-98.7]	12.5 [1.4-32.5]	63.6 [42.9-82.0]	36.4 [18.0-57.1]
p20	93.8 [86.6-98.3]*	6.3 [1.7-13.4]*	87.5 [67.5-98.7]	12.5 [1.4-32.5]	63.6 [42.9-82.0]	36.4 [18.0-57.1]
p19	89.1 [80.3-95.5]	10.9 [4.5-19.7]	81.3 [59.2-95.9]	18.8 [4.1-40.8]	68.2 [47.7-85.5]	31.8 [14.5-52.3]
p18	87.5 [78.4-94.4]	12.5 [5.6-21.6]	75.0 [51.7-92.4]	25.0 [7.6-48.3]	81.8 [63.4-94.7]	18.2 [5.3-36.6]
IgG	76.6 [65.5-86.0]*	23.4 [14.0-34.5]*	56.3 [32.2-78.9]	43.8 [21.1-67.8]	40.9 [21.7-61.6]	59.1 [38.4-78.3]

ЗАПАЛЬНІ УРАЖЕННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ: КЛІНІЧНІ, ЕТІОЛОГІЧНІ ТА ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ

INFLAMMATORY LESIONS OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM: CLINICAL, ETIOLOGICAL, AND EPIDEMIOLOGICAL FEATURES

Надія Прикуда, кандидат медичних наук, доцент кафедри інфекційних хвороб ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7188-7591, Email: n.prykuda@gmail.com

Божена Задорожна, доктор медичних наук, професор кафедри сімейної медицини, кардіології, медицини невідкладних станів ФПДО ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6717-5233, Email: bozhenazadorozhna@gmail.com

Андрій Задорожний, кандидат медичних наук, доцент кафедри інфекційних хвороб ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького», ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1116-2836, Email: zandrij13@gmail.com

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.09

Анотація. У статті висвітлено сучасні уявлення щодо етіології, діагностики та лікування запальних уражень центральної нервової системи (ЦНС), зокрема гнійних та вірусних менінгітів, енцефалітів, а також рідкісних випадків септицемії з ураженням ЦНС. На основі аналізу літературних джерел та клінічних випадків, зокрема збуджених Micrococcus luteus, S. pneumoniae, L. monocytogenes та ентеровірусами, охарактеризовано клінічний перебіг, ускладнення та результати лікування. Окрему увагу приділено діагностичним критеріям, ролі сучасних бактеріологічних і молекулярно-генетичних методів. Обговорено тенденції до зростання уражень ЦНС в імунокомпетентних пацієнтів.

Ключові слова: центральна нервова система, менінгіт, енцефаліт, ентеровірус, бактеріальні ураження, нейроінфекції.

Abstract. The article presents modern approaches to the etiology, diagnosis, and treatment of inflammatory lesions of the central nervous system (CNS), including purulent and viral meningitis, encephalitis, and rare cases of septicemia involving CNS damage. Based on a review of scientific literature and clinical cases caused by Micrococcus luteus, S. pneumoniae, L. monocytogenes, and enteroviruses, the paper describes the clinical course, complications, and treatment outcomes. Special attention is given to diagnostic criteria, the role of contemporary bacteriological and molecular methods, and the growing trend of CNS infections in immunocompetent patients.

Keywords: central nervous system, meningitis, encephalitis, enterovirus, bacterial infection, neuroinfection.

1. ВСТУП

Запальні ураження центральної нервової системи (ЦНС) становлять одну з найскладніших проблем клінічної медицини, оскільки вони можуть призводити до швидкого розвитку тяжких ускладнень і часто супроводжуються високими показниками смертності та інвалідизації. До основних клінічних форм таких уражень належать менінгіт, енцефаліт, менінгоенцефаліт, абсцеси

мозку, епідурити та вентрикуліти. Ці стани можуть мати вірусну, бактеріальну, грибкову або паразитарну етіологію та характеризуються гострим або підгострим перебігом із залученням оболонок мозку, речовини мозку або шлуночкової системи.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щорічно реєструється понад 2,5 млн випадків менінгіту, з яких значна частина має інфекційну природу[337]. Найбільш поширеними збудниками є Neisseria meningitidis, Streptococcus pneumoniae, Haemophilus influenzae, Listeria monocytogenes, ентеровіруси, герпесвіруси, вірус сказу, а також умовно-патогенні агенти, серед яких Micrococcus luteus, що останніми роками набувають клінічного значення[338,339].

Особливу увагу привертає підвищення ролі ентеровірусів, як причин серозних менінгітів. Дані ретроспективного аналізу свідчать про високу контагіозність ентеровірусної інфекції та її роль у виникненні спалахів у популяції дітей та молоді[340].

Інфекції ЦНС можуть перебігати блискавично, супроводжуватись тяжкими розладами свідомості, генералізованими судомами, вогнищевою неврологічною симптоматикою. У багатьох випадках захворювання діагностується із запізненням через неспецифічність початкових симптомів або нетиповий клінічний перебіг[341].

Важливе місце у сучасній діагностиці посідає застосування полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР), імуноферментного аналізу (ІФА), а також автоматизованих систем, як-от Vitek 2, які дають змогу точно визначити збудника та його чутливість до антибіотиків.

Ураховуючи широкий спектр можливих збудників, варіабельність клінічного перебігу, а також серйозні ускладнення, актуальним є поглиблений аналіз запальних уражень ЦНС. Мета цієї роботи — охарактеризувати сучасний стан проблеми, розглянути особливості перебігу, діагностики та лікування запальних уражень ЦНС у контексті актуальної наукової літератури та клінічного досвіду.

2. РЕЗУЛЬТАТИ

Результати аналізу підтверджують складну структуру етіології та клінічного перебігу запальних уражень ЦНС. Зібрані дані свідчать, що бактеріальні менінгіти становлять найбільшу небезпеку з огляду на летальність і кількість ускладнень. У структурі збудників домінують Streptococcus pneumoniae (до 30–50 % випадків), Neisseria meningitidis, Haemophilus influenzae, Listeria monocytogenes, а також мультирезистентні штами Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa, особливо у госпітальних умовах[342,343].

У вірусній етіології чільне місце займають ентеровіруси (ECHO типи 30, 6, 13), герпесвіруси (HSV-1, HSV-2), віруси групи арбовірусів. У регіонах зі спекотним кліматом частіше реєструються випадки менінгоенцефалітів, спричинених вірусами Західного Нілу, японського енцефаліту тощо[344,345].

[337] World Health Organization. *Defeating meningitis by 2030: A global road map*. Geneva: WHO; 2020.
[338] Centers for Disease Control and Prevention. Meningitis: Disease outbreak news. [online] Available at: https://www.cdc.gov/meningitis/index.html [Accessed 12 May 2025].
[339] Lino R, Guimarães AR, Sousa E, Azevedo M, Santos L. Emerging Fungal Infections of the Central Nervous System in the Past Decade: A Literature Review. *Infect Dis Rep*. 2024;16(5):952–76.
[340] Masri A, Dwaikat A, Haroun N, et al. Aseptic meningitis and its viral etiologies in children: A retrospective hospital-based study from Jordan. *Cureus*. 2022;14(4):e24383.
[341] Purmohamad A, Abasi E, Azimi T, et al. Global estimate of Neisseria meningitidis serogroups: A meta-analysis. *Microb Pathog*. 2019;134:103571.
[342] Villalpando-Carrión S, Henao-Martínez AF, Franco-Paredes C. Bacterial Meningitis in Low- and Middle-Income Countries. *Curr Trop Med Rep*. 2024;11(2):60–67.
[343] Nau R, Bruck W. Neuronal injury in bacterial meningitis. *Trends Neurosci*. 2021;44(7):573–86.
[344] Venkatesan A, Tunkel AR, et al. Case Definitions in Encephalitis. *Clin Infect Dis*. 2021;72(7):e159–e167.
[345] Huppatz C, Durrheim DN, et al. Etiology of encephalitis in Australia. *Emerg Infect Dis*. 2022;28(3):561–70.

У клінічній практиці зафіксовано випадки ураження ЦНС з розвитком менінгіту, сепсису, перикардиту та плевриту у пацієнтів без супутньої імуносупресії. Так, у Львівській обласній інфекційній клінічній лікарні у 39-річного хворого було виділено Micrococcus luteus як етіологічний агент, використовуючи систему Vitek 2. Хворий мав важкий перебіг із клінікою гострої бактеріальної інфекції, включно з залученням ЦНС, респіраторної системи, а також серозних оболонок серця й легень[346].

Також проаналізовано 19 летальних випадків гнійного менінгіту (2006–2017), де було виявлено як монозбудники, так і бактеріальні асоціації. Серед останніх домінували S. pneumoniae у поєднанні з S. epidermidis, S. viridans, Candida albicans та інші. Понад 36% випадків мали вторинну природу, асоційовану з отитом, пневмонією, синуситом або остеомієлітом основи черепа[347].

Визначено, що ефективність лікування значно зростає при ранньому застосуванні сучасної етіологічної діагностики (ПЛР, посіви, Vitek 2), а також раціональному антибіотикотерапевтичному підході. У тяжких випадках була досягнута позитивна динаміка лише за умови комбінованої терапії (β-лактами + аміноглікозиди або карбапенеми + глікопептиди), з урахуванням чутливості збудника[348].

3. ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати демонструють складну картину інфекційних уражень ЦНС із чіткою варіативністю клінічного перебігу та етіології залежно від віку, імунного статусу пацієнта, наявності супутніх захворювань і умов інфікування (госпітальна чи позагоспітальна форма). Попри певні успіхи в антибіотикотерапії та вакцинопрофілактиці, смертність і частота тяжких ускладнень при бактеріальних менінгітах залишаються високими[349].

На сьогодні більшість досліджень підтверджують, що пневмококовий менінгіт асоціюється з найвищим ризиком летального завершення, особливо серед осіб похилого віку та пацієнтів з імуносупресією[350]. Відповідно, важливим є широке охоплення вакцинацією, особливо серед дітей, людей похилого віку та осіб із супутньою патологією. Згідно з даними ВООЗ, вакцинація проти менінгококової інфекції та пневмокока вже дозволила знизити рівень захворюваності в ряді країн на 70–90%[351].

Цікавою знахідкою є збільшення кількості випадків ураження ЦНС умовно-патогенними збудниками, як-от Micrococcus luteus, навіть у пацієнтів без клінічно вираженої імуносупресії. Цей факт вимагає перегляду традиційного уявлення про етіологію гнійних менінгітів, зокрема в контексті зміни мікробіому шкіри та слизових оболонок, що можливо внаслідок тривалого застосування антибіотиків широкого спектру[352].

Наявність бактеріальних асоціацій (наприклад, S. pneumoniae + S. epidermidis + C. albicans) створює додаткові труднощі у виборі емпіричної терапії. У таких випадках необхідне застосування мультикомпонентної схеми лікування, що базується на результатах точного етіологічного визначення[353].

[346] Zadorozhnyi A, Prykuda N. Micrococcus luteus meningo-septicemia. *Ukr J Infect Dis*. 2021;2(46):27–32.
[347] Prykuda N, Zadorozhnyi A. Purulent meningitis in adults: outcomes. *Ukr Neurol J*. 2018;2:62–67.
[348] Tunkel AR, van de Beek D, Scheld WM. Acute bacterial meningitis. *Lancet*. 2021;398(10306):303–17.
[349] Brouwer MC, Tunkel AR, van de Beek D. Diagnosis and treatment of bacterial meningitis. *Clin Microbiol Rev*. 2020;33(3):e00007–20.
[350] McGill F, Heyderman RS, Michael BD. UK guideline on meningitis. *J Infect*. 2021;82(3):225–49.
[351] Pomeroy C, Holmes SJ, et al. Neurologic sequelae in children. *N Engl J Med*. 2023;308(5):257–63.
[352] Debray D, Kallmann B, Boddaert N. Imaging of meningitis. *Radiographics*. 2020;40(6):1581–99.
[353] Dubos F, Levy C, Duret S, et al. Identifying children with serious infections. *Pediatr Infect Dis J*. 2021;40(4):332–7.

Вірусні ураження ЦНС зазвичай мають більш сприятливий перебіг, однак серозні менінгіти, спричинені ентеровірусами, можуть призводити до епідемій у дитячих колективах[354,355]. У зв'язку з цим важливо своєчасно використовувати ПЛР-методики для ранньої ідентифікації вірусного збудника та запобігання нераціональному застосуванню антибіотиків.

Інструментальні методи (КТ, МРТ) мають обмежене значення для первинної діагностики, проте є корисними при ускладненнях — гідроцефалії, абсцесах, емпіємах тощо. Таким чином, ведення пацієнтів із підозрою на запальні ураження ЦНС повинно базуватись на мультидисциплінарному підході з активною участю інфекціоніста, невролога, епідеміолога та мікробіолога.

4. ВИСНОВКИ

Запальні ураження центральної нервової системи залишаються однією з найнебезпечніших форм інфекційної патології, що супроводжується високими показниками летальності та інвалідизації. Найбільш тяжкий перебіг притаманний бактеріальним менінгітам, зокрема пневмококовій та менінгококовій етіології, що вимагає негайної терапії та ретельного клінічного моніторингу.

Вірусні менінгіти, особливо ентеровірусної етіології, переважно мають доброякісний перебіг, проте можуть призводити до значного поширення в колективах, викликати спалахи захворювань, а також ускладнення у пацієнтів із супутніми імунодефіцитами.

Зростання кількості випадків ураження ЦНС умовно-патогенними агентами, зокрема Micrococcus luteus, вказує на необхідність широкого впровадження сучасних методів мікробіологічної діагностики, таких як ПЛР та автоматизовані системи ідентифікації (наприклад, Vitek 2), які дозволяють своєчасно виявити етіологію захворювання.

Виявлення бактеріальних асоціацій потребує комплексного підходу до лікування з використанням декількох антибактеріальних засобів з різними механізмами дії.

Найбільш ефективним методом профілактики тяжких форм нейроінфекцій є імунопрофілактика — вакцинація проти S. pneumoniae, H. influenzae та N. meningitidis, яка значно знижує частоту інфекційних уражень ЦНС.

Подальші дослідження повинні бути зосереджені на вивченні ролі умовно-патогенних мікроорганізмів у ґенезі менінгітів, ефективності комбінованих схем лікування та визначенні нових біомаркерів тяжкого перебігу нейроінфекцій.

[354] van Sorge NM, Doran KS. Blood-brain barrier and bacteria. *Future Microbiol*. 2022;17(3):183–94.
[355] Schut ES, Brouwer MC, de Gans J, van de Beek D. Community-acquired meningitis. *Pract Neurol*. 2019;19(6):456–65.

ОСОБЛИВОСТІ ДІАБЕТИЧНОГО ДИСТРЕСУ У ВНУТРІШНЬО ПЕРЕМІЩЕНИХ ОСІБ

FEATURES OF DIABETIC DISTRESS IN INTERNALLY DISPLACED PERSONS

Вікторія Сергієнко, доктор медичних наук, професор кафедри ендокринології, проректор з наукової роботи, e-mail: serhiyenkov@gmail.com, Державне некомерційне підприємство "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького", ORCID: 0000-0002-6414-0956

Соломія Головач, лікар-інтерн, e-mail: solomiya.holovach00@gmail.com, "Військовий медичний клінічний центр Західного регіону", Львів, ORCID: 0009-0007-6637-1858

Олександр Сергієнко, доктор медичних наук, професор кафедри ендокринології, e-mail: serhiyenkoa@gmail.com, Державне некомерційне підприємство "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького", ORCID: 0000-0001-7519-2279

Наталія Іванченко, генеральний директор ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", ORCID:

https://orcid.org/0000-0002-0112-6962

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.10

Анотація

Діабетичний дистрес (ДДС) характеризується емоційними реакціями на труднощі самоконтролю та усвідомленням ризиків довгострокових ускладнень. Внутрішньо переміщені особи (ВПО), хворі на цукровий діабет (ЦД) 2-го типу стикаються з як фізичними, так і психологічними викликами. Система оцінки дистресу при ЦД 2-го типу (The Type 2 Diabetes Distress Assessment System, T2-DDAS) - це єдиний спеціалізований інструмент оцінки ДДС. Метою роботи було провести крос-культурну адаптацію T2-DDAS і визначити особливості ДДС у ВПО, хворих на ЦД 2-го типу. Це перехресне дослідження, в якому взяли участь 16 практично здорових осіб (1-ша, контроль), пацієнти з ЦД 2-го типу (м. Львів, 2-га, n = 16) і ВПО, хворі на ЦД 2-го типу (3-я, n = 16). Кожен із респондентів двічі заповнив опитувальник T2-DDAS. Оцінка відповіді ґрунтувалась на 5-бальній шкалі. Середнє значення ≥ 2 вважали ознакою підвищеного рівня ДДС. Статистика - SPSS, IBM SPSS Statistics 20. Встановлено, що T2-DDAS продемонстрував хорошу загальну надійність, а фактор "Діабетичний дистрес" показав високу внутрішню узгодженість, що свідчить про ефективне вимірювання ДДС. Україномовна версія T2-DDAS продемонструвала високу внутрішню узгодженість із значеннями α-Кронбаха. Порівняльний аналіз показників фактора "Діабетичний дистрес" демонструє, що найбільш виражений рівень ДДС спостерігається серед ВПО. Крім того, у ВПО статистично значущими є збільшення таких факторів, як гіпоглікемія, довгострокове здоров'я, взаємодія з медичними працівниками, міжособистісні проблеми, доступ до медичної допомоги і вимоги менеджменту. Отже, найбільш виражений рівень ДДС виявлено у ВПО, хворих на ЦД 2-го типу. Впровадження T2-DDAS в заклади практичної охорони здоров'я дозволить отримати нову, потенційно більш точну систему оцінки ДДС у хворих на ЦД 2-го типу, зокрема ВПО.

Ключові слова: цукровий діабет 2-го типу, діабетичний дистрес, внутрішньо переміщені особи, системи оцінки дистресу при цукровому діабеті 2-го типу

Abstract

Diabetic distress (DD) is characterized by emotional reactions to difficulties in self-control and awareness of the risks of long-term complications. Internally displaced persons (IDPs) with type 2 diabetes (T2DM) face both physical and psychological challenges. The Type 2 Diabetes Distress Assessment System (T2-DDAS) is the only specialized tool for assessing DD. The aim of the study was to conduct a cross-cultural adaptation of the T2-DDAS and determine the features of DD in IDPs with T2DM. This is a cross-sectional study involving 16 healthy individuals (group 1, control), patients with T2DM (Lviv, group 2, n = 16), and IDPs with T2DM (group 3, n = 16). Each respondent completed the T2-DDAS questionnaire twice. The response was scored on a 5-point scale. A mean value of ≥ 2 was considered a sign of an increased level of DD. Statistics - SPSS, IBM SPSS Statistics 20. The T2-DDAS demonstrated good overall reliability, and the "Diabetic Distress" factor showed high internal consistency, indicating that it is an effective measure of DD. The Ukrainian version of the T2-DDAS demonstrated high internal consistency with Cronbach's α-values. A comparative analysis of the indicators of the factor "Diabetic Distress" reveals that IDPs exhibit the most pronounced level of DD. In addition, the increase in such factors as hypoglycemia, long-term health, interpersonal issues, Interpersonal issues, health care access and management demands are statistically significant in IDPs. Thus, IDPs with T2DM showed the most pronounced level of DD. The introduction of T2-DDAS in practical health care facilities will provide a new, potentially more accurate system for assessing DD in patients with T2DM, including IDPs.

Key words: type 2 diabetes mellitus, diabetic distress, internally displaced persons, type 2 diabetes distress assessment system

ВСТУП

Вимоги до самоконтролю захворювання, які можуть включати зміни способу життя та особливі підходи до лікування, часто створюють значний тягар для людей із цукровим діабетом (ЦД)[356,357]. Цей тягар отримав назву емоційного розладу, пов'язаного з діабетом, або діабетичного дистресу (ДДС)[358]. Згідно з оцінками різних досліджень, у 30 % пацієнтів з ЦД спостерігається ДДС[359,360]. Це серйозний психологічний феномен, який негативно впливає на загальне самопочуття людини, мотивацію дотримуватись терапії та прогноз життєвих результатів[361,362].

Актуальні статистичні дані щодо внутрішньо переміщених осіб (ВПО) свідчать про чіткий зв'язок між цим явищем та затяжними збройними конфліктами. Зокрема, повідомляється, що

[356] Powers, M. A., et al., 'Diabetes Self-Management Education and Support in Adults With Type 2 Diabetes: A Consensus Report of the American Diabetes Association, the Association of Diabetes Care & Education Specialists, the Academy of Nutrition and Dietetics, the American Academy of Family Physicians, the American Academy of PAs, the American Association of Nurse Practitioners, and the American Pharmacists Association', *Diabetes Care,* vol. 2, no. 7, 2020, pp. 1636-1649.

[357] Ahmad, F. and S. Joshi, 'Self-Care Practices and Their Role in the Control of Diabetes: A Narrative Review', *Cureus,* vol. 15, no. 7, 2023, e41409.

[358] Alwani, A. A., et al., 'Diabetes Distress and Associated Factors Among Adults with Diabetes Mellitus Residing in a Metropolitan City of India: A Community-based Study', *Clinical Diabetes and Endocrinology,* vol. 10, no. 1, 2024, pp. 1-12.

[359] Grulovic, N., et al., 'Prevalence and Predictors of Diabetes-Related Distress in Adults with Type 1 Diabetes', *Scientific Reports,* vol. 12, no. 1, 2022, Article 15758.

[360] Zhang, Y. Y., et al., 'Prevalence and Correlators of Diabetes Distress in Adults with Type 2 Diabetes: A Cross-sectional Study', *Patient Preference and Adherence,* vol. 18, 2024, pp. 113-130.

[361] Morales-Brown, L. A., et al., 'Understanding Experiences of Diabetes Distress: A Systematic Review and Thematic Synthesis', *Journal of Diabetes Research,* vol. 2024, 2024, 3946553.

[362] Sinha, R., et al., 'Prevalence of Diabetes Distress Among Type 2 Diabetes Mellitus Patients in India: A Systematic Review and Meta-Analysis', *Health Psychology and Behavioral Medicine,* vol. 12, no. 1, 2024, 2324091.

найбільша частка ВПО походить із країн, які перебувають у стані тривалих воєнних дій[363,364]. Понад 20 % вимушено переміщених українців страждають на серцево-судинні захворювання, тоді як кожен двадцятий має ЦД[365]. Окрім того, додатковим дестабілізуючим фактором стала пандемія COVID-19, що разом із впливом російського вторгнення в Україну спричинило значне зростання випадків ДДС, психічних розладів та посттравматичного стресового розладу[366].

Підвищений ДДС тісно пов'язаний із погіршенням самоконтролю та декомпенсацією діабету[367]. Декомпенсований стан здатний призвести до "вигорання" - емоційно пригніченого та виснаженого стану[368]. Крім того, психосоціальні фактори ризику ДДС значною мірою пов'язані із загрозою розвитку серцево-судинних захворювань, що підкреслює важливість інтеграції психосоціальної підтримки в індивідуальні стратегії лікування для зниження серцево-судинних ризиків у пацієнтів з ЦД 2-го типу[369]**Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Отже, рання діагностика ДДС, його врахування як ключового фактора в управлінні діабетом і вчасне втручання можуть суттєво покращити глікемічний контроль і якість життя пацієнтів[370,371]. Система оцінки дистресу при ЦД 2-го типу (The Type 2 Diabetes Distress Assessment System, T2-DDAS) - це єдиний спеціалізований інструмент оцінки ДДС, який валідований та стандартизований виключно для пацієнтів з ЦД 2-го типу. T2-DDAS надає можливість комплексно оцінити як базовий емоційний дистрес, пов'язаний із ЦД 2-го типу, так і фактори, що його спричиняють[372,373]. T2-DDAS дозволяє провести оцінку стану пацієнта під час лікування діабету, а саме занепокоєння щодо контролю глікемії, прихильності до лікування, довгострокових ускладнень та психосоціального впливу захворювання[374,375]. Обстеження пацієнтів з ЦД 2-го типу західної цивілізації за допомогою T2-DDAS показало високу психометричну надійність[376,377]. T2-DDAS було перекладено іншими

[363] Hiasat, D. A., et al., 'The Prevalence of Diabetes Distress Among Patients with Type 2 Diabetes in Jordan', *Journal of Taibah University Medical Sciences,* vol. 18, no. 6, 2023, pp. 1237-1243.
[364] Serhiyenko, A., et al., 'Post-Traumatic Stress Disorder, Insomnia, Heart Rate Variability and Metabolic Syndrome (Narrative Review)', *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society*. Medical Sciences, vol. 73, no. 1, 2024, pp. 1-10.
[365] Pandey, A., et al, 'Disease Burden Among Ukrainians Forcibly Displaced by the 2022 Russian Invasion', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* vol. 120, no. 8, 2023, e2215424120.
[366] Serhiyenko, V. A., et al., *Diabetic Distress: The Main Etiopathogenetic Factors and Psychometric Methods of Diagnosis*, Lviv-Toruń, Liha-Pres, 2025.
[367] Coccaro, E. F., et al., 'Diabetes Distress, Emotional Regulation, HbA_{1c} in People with Diabetes and A Controlled Pilot Study of an Emotion-Focused Behavioral Therapy Intervention in Adults with Type 2 Diabetes' *Primary Care Diabetes,* vol. 16, no. 3, 2022, pp. 381-386.
[368] Wu, X., et al., 'Psychosocial and Behavioral Risk Patterns and Risk of Cardiovascular Complications in People with Type 2 Diabetes', *Diabetes Research and Clinical Practice*, vol. 221, 2025, 112037.
[369] Wu, X., et al., 'Psychosocial and Behavioral Risk Patterns and Risk of Cardiovascular Complications in People with Type 2 Diabetes', *Diabetes Research and Clinical Practice*, vol. 221, 2025, 112037.
[370] Serhiyenko, V. and A. Serhiyenko, 'Diabetic Cardiac Autonomic Neuropathy', in: J. R. Rodriguez-Saldana, (ed.), *The Diabetes Textbook: Clinical Principles, Patient Management and Public Health Issues*, 2nd edn., Basel, Springer, 2023, pp. 939-966.
[371] Wojujutari, A. K., Idemudia, E. S. and L. E. Ugwu, 'Psychological Resilience Mediates the Relationship Between Diabetes Distress and Depression Among Persons with Diabetes in a Multi-Group Analysis. *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, 2024, 6510.
[372] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[373] Fisher, L., et al., 'A New Perspective on Diabetes Distress Using the Type 2 Diabetes Distress Assessment System (T2-DDAS): Prevalence and Change Over Time', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 8, 2022, 108256.
[374] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[375] Sharma, B., et al., 'Psychometric Validation of Type 2 Diabetes Distress Assessment System in an Indian Type 2 Diabetes Population', *Scientific Reports,* vol. 14, 2024, 32059.
[376] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[377] Sharma, B., et al., 'Psychometric Validation of Type 2 Diabetes Distress Assessment System in an Indian Type 2 Diabetes Population', *Scientific Reports,* vol. 14, 2024, 32059.

мовами[378,379], однак, валідована україномовна версія T2-DDAS відсутня, хоча вона потрібна для більш стандартизованої клінічної оцінки пацієнтів із ДДС.

Метою дослідження було провести крос-культурну адаптацію T2-DDAS і визначити особливості ДДС у ВПО, хворих на ЦД 2-го типу.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Перехресне дослідження здійснено на кафедрі ендокринології Державного некомерційного підприємства "Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького, що розташована на базі поліклінічного відділення філії «Центр ендокринологічного здоров'я» КНП ЛОР Львівського обласного клінічного діагностичного центру з дотриманням етичних норм та принципів Ґельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації, переглянутої у 2013 році, про проведення наукових медичних досліджень за участю людини. Усі пацієнти перед проведенням обстеження підписали добровільну інформовану згоду, схвалену комісією з питань етики наукових досліджень, експериментальних розробок і наукових творів Львівського національного медичного університету ім. Данила Галицького (протокол №7 від 26 червня 2023 року).

Обстежено дві групи, з них пацієнти з ЦД 2-го типу, які постійно проживають у м. Львові та області (1-ша, n = 32) і хворі на ЦД 2-го типу, які отримали статус ВПО після початку повномасштабного вторгнення РФ (2-га група, n = 32). Вік, стать, тривалість ЦД 2-го типу, показники індексу маси тіла і глікованого гемоглобіну A1c в обстежених групах статистично значуще не відрізнялись. Усі учасники дослідження були двомовними, українська була рідною мовою та володіли англійською.

Було проведено аналіз медичних історій, а також вивчено звички паління, споживання алкоголю та рівень фізичної активності. Вимірювали антропометричні, клінічні та метаболічні параметри. Кожен із респондентів двічі заповнив опитувальник T2-DDAS, спершу українською, а потім англійською мовами. Порядок заповнення анкети був рандомізований у поліклінічному відділенні філії "Центр ендокринологічного здоров'я" КНП ЛОР Львівського обласного клінічного діагностичного центру. Щоб оцінити відтворюваність, ті ж самі учасники заповнили T2-DDAS з інтервалом у 4 ± 1 тиждень. Оцінка відповіді на кожне питання ґрунтувалась на 5-бальній шкалі Лайкерта (Likert scale), де: 1 - відсутність проблеми, 2 - незначна проблема, 3 - помірна проблема, 4 - серйозна проблема і 5 - дуже серйозна проблема. Опитування враховувало суб'єктивні відчуття пацієнта за останній міс. Більш високий бал відповіді вказував на більший рівень ДДС. Середнє значення ≥ 2 вважали ознакою підвищеного рівня ДДС[380,381]. Для оцінки нормальності розподілу даних використовували критерій Колмогорова-Смірнова (Kolmogorov-Smirnov test). Перевірили вікові відмінності між пацієнтами з ЦД 2-го типу і контрольною групою за допомогою t-критерію Стьюдента (Student's t-test). З метою визначення внутрішньої узгодженості кожного набору запитань для україномовної та оригінальної версій T2-DDAS розрахували α-коефіцієнт Кронбаха (Cronbach's alpha coefficient). Значення α-коефіцієнта Кронбаха 0,7 або вище вказує на прийнятно тісний зв'язок між запитаннями в межах їх певного набору для конкретного домену, а отже, на

[378] Jafari, A., et al., 'Translation and Localization the Persian Version of Diabetes Distress Scale Among Type 2 Diabetes', *Diabetology & Metabolic Syndrome,* vol. 15, no.1, 2023, 201.
[379] Adugnew, M., et al., 'Diabetes-Related Distress and Its Associated Factors Among People With Type 2 Diabetes in Southeast Ethiopia: A Cross-Sectional Study', *BMJ Open,* vol. 14, no. 1, 2024, e077693.
[380] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[381] Fisher, L., et al., 'A New Perspective on Diabetes Distress Using the Type 2 Diabetes Distress Assessment System (T2-DDAS): Prevalence and Change Over Time', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 8, 2022, 108256.

достатню їх надійність[382]. Для аналізу даних використовувалась статистична програма SPSS, IBM SPSS Statistics 20. Дані виражені як середнє ± стандартне відхилення. Статистична значущість припускалася для значень $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

В таблиці представлено особливості показників ДДС англомовної і україномовної версій T2-DDAS у хворих на ЦД 2-го типу.

Таблиця 1

Показники ДДС англомовної і україномовної версій T2-DDAS

Параметри	**Версія**	**ЦД 2-го типу**	**ВПО з ЦД 2-го типу**	**p**
		1-ша група (n = 32)	**2-га група (n = 32)**	
Diabetes distress	Англійська	2.29 ± 0.58	3.44 ± 0.41	p < 0.001
Діабетичний дистрес	Українська	2,31 ± 0,55	3,41 ± 0,42	p < 0,001
Hypoglycemia	Англійська	2.03 ± 0.79	2.65 ± 0.87	p < 0.01
Гіпоглікемія	Українська	2,01 ± 0,77	2,64 ± 0,87	p < 0,01
Long term health	Англійська	2.53 ± 0.59	3.67 ± 0.66	p < 0.001
Довгострокове здоров'я	Українська	2,51 ± 0,61	3,65 ± 0,68	p < 0,001
Healthcare provider	Англійська	2.44 ± 0.89	3.17 ± 0.8	p < 0.01
Взаємодія з медичними працівниками	Українська	2,41 ± 0,88	3,14 ± 0,82	p < 0,01
Interpersonal issues	Англійська	2.43 ± 0.88	3.38 ± 0.99	p < 0.001
Міжособистісні проблеми	Українська	2,41 ± 0,86	3,34 ± 1,0	p < 0,001
Shame/stigma	Англійська	2.17 ± 0.79	2.38 ± 0.83	p > 0.05
Сором/стигма	Українська	2,13 ± 0,82	2,34 ± 0,85	p > 0,05
Healthcare access	Англійська	2.09 ± 0.86	3.26 ± 0.79	p < 0.001
Доступ до медичної допомоги	Українська	2,06 ± 0,82	3,22 ± 0,78	p < 0,001
Management demands	Англійська	2.63 ± 0.89	3.44 ± 0.92	p < 0.001
Вимоги менеджменту	Українська	2,58 ± 0,9	3,43 ± 0,9	p < 0,001

Примітки: p - вірогідна різниця порівняно з 1-ою і 2-ю групами.

Порівняльний аналіз показників фактора "Діабетичний дистрес" демонструє, що найбільш виражений рівень ДДС спостерігається серед ВПО, які страждають на ЦД 2-го типу. Крім того, у цих пацієнтів статистично значними є збільшення таких факторів, як гіпоглікемія, довгострокове здоров'я, взаємодія з медичними працівниками, міжособистісні проблеми, доступ до медичної допомоги і вимоги менеджменту, у порівнянні з даними, отриманими у другій групі **(таблиця).**

Інструмент T2-DDAS продемонстрував хорошу загальну надійність, а фактор "Діабетичний дистрес" показав високу внутрішню узгодженість ($\alpha = 0.91$ Кронбаха), що свідчить про ефективне вимірювання ДДС. Україномовна версія T2-DDAS продемонструвала високу внутрішню узгодженість із значеннями α-Кронбаха, які були подібні до значень α-Кронбаха в оригінальному T2-DDAS. Показники фактора "Діабетичний дистрес", отримані в пацієнтів і в контрольній групі за допомогою україномовної версії T2-DDAS, демонструють тісний зв'язок із балами, оціненими за допомогою оригінальної версії. Коефіцієнти α-Кронбаха для таких факторів, як гіпоглікемія, довгострокове здоров'я, взаємодія з медичними працівниками, міжособистісні проблеми і доступ до до медичної допомоги, а також для опитувальника в цілому були навіть дещо вищими за відповідні коефіцієнти оригінальної версії. Ці фактори показали прийнятну або сильну внутрішню

[382] Fisher, L., et al., 'A New Perspective on Diabetes Distress Using the Type 2 Diabetes Distress Assessment System (T2-DDAS): Prevalence and Change Over Time', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 8, 2022, 108256.

узгодженість (α = 0.67-0.89), що вказує на те, що вони є надійними та достовірними показниками відповідних конструктів ДДС[383,384]. Фактор гіпоглікемії, хоча і демонструє сильні зв'язки (0.77-0.86), має нижчі коефіцієнт α-Кронбаха (0.64), хоча і близький до показників оригінального інструменту. Відомо, що значення α < 0.7 вказує на можливість доопрацювання, такі значення не є рідкістю в психологічних шкалах і можуть відображати унікальні характеристики конструкту, що вимірюється в даній популяції. Крім того, деякі дослідження вважають прийнятним значення коефіцієнта α- Кронбаха ≤ 0.5, стверджуючи при цьому, що вищі значення посилюють внутрішню узгодженість шкали[385,386]. Таким чином, внутрішня узгодженість кожного набору запитань українською мовою є високою та демонструє таку ж надійність запитань, як і в оригінальному варіанті T2-DDAS.

ОБГОВОРЕННЯ

Поняття "дистрес" було введено півстоліття тому як безперервний негативний емоційний стан у відповідь на стресові ситуації і еволюція ДДС досить тісно пов'язана з цим початковим визначенням[387]. ДДС охарактеризовано також як часто прихований емоційний тягар і занепокоєння, які є частиною спектру переживань при управлінні хронічним, складним захворюванням, таким як діабет[388,389] та особливі емоційні проблеми в спектрі переживань пацієнтів, які живуть з прогресуючим і хронічним захворюванням[390]. W. Polonsky et al. (2022) розширив ці визначення, з'ясувавши специфічні емоційні переживання, про які повідомляють багато людей, що живуть з діабетом, включаючи відчуття пригніченості і поразки, відчуття неминучої загибелі, а також почуття гніву, розчарування, страху, провини і сорому[391].

Діабетичний дистрес безпосередньо асоціюється з погіршенням глікемічного контролю, недотриманням лікувальних рекомендацій, незбалансованим харчуванням і зниженням фізичної активності, що підкреслює його важливе клінічне значення[392]. Психосоціальні та поведінкові фактори ризику часто співіснують у пацієнтів з ЦД 2-го типу[393]. Результати аналізу шести масштабних робіт з використанням п'яти основних критеріїв для діагностики діабетичного дистресу показали, що через високу поширеність ДДС його не слід розглядати як "супутню хворобу", "ускладнення" діабету або "стан" психічного здоров'я чи розладу. Оцінка ДДС має: (1) стати обов'язковим елементом комплексного підходу до лікування ЦД 2-го

[383] Jahrami, H., et al., 'Internal Consistency and Structural Validity of the Nomophobia Questionnaire (NMP-Q) and its Translations: A Systematic Review with Meta-Analysis', *Heliyon,* vol. 9, no. 4, 2023, e15464.
[384] Xiao, T., et al., 'Psychometric Validation of the Perceived Stress Scale (PSS-10) Among Family Caregivers of People with Schizophrenia in China', *BMJ Open,* vol. 13, no. 11, 2023, e076372.
[385] Sharma, B., et al., 'Psychometric Validation of Type 2 Diabetes Distress Assessment System in an Indian Type 2 Diabetes Population', *Scientific Reports,* vol. 14, 2024, 32059.
[386] Taber, S., 'The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education', *Research in Science Education, vol.* 48, no. 6, 2018, pp. 1273-1296.
[387] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[388] Morales-Brown, L. A., et al., 'Understanding Experiences of Diabetes Distress: A Systematic Review and Thematic Synthesis', *Journal of Diabetes Research,* vol. 2024, 2024, 3946553.
[389] Skinner, T. C., Joensen, L. and T. Parkin, 'Twenty-Five Years of Diabetes Distress Research', *Diabetic Medicine,* vol. 37, no. 3, 2020, pp. 393-400.
[390] Embaye, J., Snoek, F. J., and M. de Wit, 'Coping Strategies for Managing Diabetes Distress in Adults with Type 1 and Type 2 Diabetes: A Cross-Sectional Study on Use and Perceived Usefulness', *Frontiers in Clinical Diabetes and Healthcare,* vol. 55, 2024, 1462196.
[391] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[392] Adugnew, M., et al., 'Diabetes-Related Distress and Its Associated Factors Among People With Type 2 Diabetes in Southeast Ethiopia: A Cross-Sectional Study', *BMJ Open,* vol. 14, no. 1, 2024, e077693.
[393] Wu, X., et al., 'Psychosocial and Behavioral Risk Patterns and Risk of Cardiovascular Complications in People with Type 2 Diabetes', *Diabetes Research and Clinical Practice,* vol. 221, 2025, 112037.

типу; (2) здійснюватися регулярно із застосуванням всебічних, а не скорочених скринінгових методик; (3) проводитися безпосередньо лікарями-діабетологами, а не виключно фахівцями з поведінкових розладів чи психотерапевтами[394].

Повідомляється, що депресивні розлади у хворих на ЦД можуть зустрічатися втричі частіше, ніж у загальній популяції[395,396]. Депресивні стани і ДДС часто асоціюються з діабетом і можуть суттєво впливати на стан здоров'я пацієнта. Симптоми ДДС подібні до симптомів депресивного розладу, проте вони недостатньо виражені, щоб відповідати діагностичним критеріям депресивних станів[397]. Пацієнти з ЦД можуть проявляти симптоми поразки, заперечення, страху, ізоляції, фрустрації та слабкої мотивації[398]. Діабетичний дистрес можна відрізнити від клінічної депресії за її зв'язком з лікуванням захворювання, зокрема, з контролем глікемії[399]. Отже, необхідно пам'ятати про часту коморбідність діабету, ДДС та депресії; діагностувати і лікувати ці стани в рамках уніфікованого протоколу, використовуючи мультидисциплінарний командний підхід[400].

Американська діабетична асоціація (American Diabetes Association, ADA) рекомендує лікарям оцінювати можливість виникнення ДДС, особливо у пацієнтів з ЦД 2-го типу, які не досягли цільового рівня глікемії, хоча отримували адекватну терапію, і мають хронічні ускладнення, пов'язані з ЦД 2-го типу[401]. У січні 2025 року Комітет з професійної практики Американської діабетичної асоціації провів оновлення рекомендацій у межах документа "Стандарти медичної допомоги при діабеті-2025" ("Standards of Care in Diabetes-2025"). Особливу увагу приділили розділу 5.45 "Психосоціальна допомога", який був переглянутий для деталізації основних психосоціальних аспектів, що потребують оцінки медичними працівниками. Серед них виділено ДДС, депресію, тривогу, страх гіпоглікемії та порушення харчової поведінки. Також оновлено рекомендацію 5.48 "Діабетичний дистрес", де акцент зроблений на необхідності щонайменше щорічного скринінгу цього стану у пацієнтів із діабетом, їхніх доглядальників та членів сім'ї[402]. Отже, сучасні настанови з лікування ЦД 2-го типу все більше підкреслюють важливість подолання ДДС, але водночас виникає потреба в розробці інструментів оцінки, які були б більш сучасними, комплексними та чутливими до культурного контексту. Такі інструменти повинні забезпечувати корисні дані як для досліджень, так і для клінічної практики. Культурні особливості значно впливають на те, як пацієнти розуміють захворювання, виражають емоційні переживання та

[394] Fisher, L., et al., 'Bringing the Assessment and Treatment of Diabetes Distress into the Real World of Clinical Care: Time for a Shift in Perspective', *Diabetic Medicine,* vol. 41, no. 12, 2024, e15446.

[395] Mangoulia, P., et al., 'The Interrelationship Between Diabetes Mellitus and Emotional Well-Being: Current Concepts and Future Prospects', *Healthcare (Basel),* vol. 12, no. 14, 2024, 1457.

[396] Hoogendoorn, C.J., et al. 'GRADE Research Group. Emotional Distress Predicts Reduced Type 2 Diabetes Treatment Adherence in the Glycemia Reduction Approaches in Diabetes: A Comparative Effectiveness Study (GRADE)', *Diabetes Care,* vol. 47, no. 4, 2024, pp. 629-637

[397] Lloyd, C. E., et al., 'Factors Associated with the Onset of Major Depressive Disorder in Adults with Type 2 Diabetes Living in 12 Different Countries: Results from the INTERPRET-DD Prospective Study', *Epidemiology and Psychiatric Sciences,* vol. 29, 2020, e134.

[398] Akter, J., et al., 'Psychometric Validation of Diabetes Distress Scale in Bangladeshi Population', *Scientific Reports,* vol. 12, no. 1, 2022, 562.

[399] Akter, J., et al., 'Psychometric Validation of Diabetes Distress Scale in Bangladeshi Population', *Scientific Reports,* vol. 12, no. 1, 2022, 562.

[400] Kreider, K.E., 'Diabetes Distress or Major Depressive Disorder? A Practical Approach to Diagnosing and Treating Psychological Comorbidities of Diabetes', *Diabetes Therapy,* vol. 9, no. 1, 2017, pp. 1-7.

[401] Powers, M. A., et al., 'Diabetes Self-Management Education and Support in Adults With Type 2 Diabetes: A Consensus Report of the American Diabetes Association, the Association of Diabetes Care & Education Specialists, the Academy of Nutrition and Dietetics, the American Academy of Family Physicians, the American Academy of PAs, the American Association of Nurse Practitioners, and the American Pharmacists Association', *Diabetes Care,* vol. 2, no. 7, 2020, pp. 1636-1649.

[402] American Diabetes Association Professional Practice Committee, '5. Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2025', *Diabetes Care,* vol. 48, Suppl._1, 2025, S86-S127.

взаємодіють з лікарями. Це, у свою чергу, може впливати на реакцію хворих на стандартизовані методики оцінки[403].

Шкала дистресу при діабеті (Diabetes Distress Scale, DDS-17) - це один із широко застосовуваних стандартизованих методів оцінки діабетичного дистресу[404]. Цей інструмент складається з 17 тверджень, які містять інформацію щодо потенційних проблем у пацієнтів з ЦД 2 типу, які можуть викликати ДДС, і включає чотири емоційні субшкали діабетичного дистресу[405]. Однак, за останні роки, що минули з моменту першої розробки DDS-17, лікування ЦД 2-го типу кардинально змінилося: з'явилося багато нових пристроїв і схем лікування, а також змінилися методи надання медичної допомоги[406]. Крім того, розуміння перешкод, з якими стикаються пацієнти з ЦД 2-го типу, також змінилося. Зокрема, DDS-17 не містить жодного пункту, що стосується критично важливих причин розвитку ДДС, а саме, проблем з доступом до медичної допомоги або інших соціальних детермінант здоров'я, сорому і стигми, а також занепокоєння з приводу гіпоглікемії[407].

T2-DDAS є унікальним інструментом, спеціально розробленим для оцінки ДДС у дорослих пацієнтів з ЦД 2-го типу. T2-DDAS вирізняється тим, що є єдиним засобом, який був ретельно валідований та стандартизований. T2-DDAS дозволяє всебічно вивчати як основний емоційний дистрес, пов'язаний з ЦД 2-го типу, так і фактори, які його викликають[408]. Україномовна версія опитувальника T2-DDAS зарекомендувала себе як ефективний інструмент для оцінки ДДС серед пацієнтів із ЦД 2 типу. T2-DDAS пропонує клініцистам перевірений метод виявлення пацієнтів із ризиком недостатнього глікемічного контролю, недотримання терапевтичних рекомендацій та виникнення психологічних проблем. Це сприяє більш ефективному використанню механізмів подолання стресу та підвищенню прихильності до лікування. Інтеграція T2-DDAS у протоколи регулярного моніторингу та цифрові медичні системи дозволить клініцистам відстежувати рівень ДДС в довгостроковій перспективі та забезпечити цілісний та проактивний підхід до управління діабетом[409]. Валідована україномовна версія також може служити клінічно корисним інструментом скринінгу, який дасть можливість визначити необхідність подальшого спеціалізованого тестування. Однак, необхідно зауважити, що позитивні результати T2-DDAS вимагають подальшого, більш поглибленого діагностичного обстеження. У майбутніх дослідженнях слід зосередитися на лінгвістичній адаптації та охопленні ширшої аудиторії, щоб підвищити узагальнюваність результатів, покращити внутрішню узгодженість та факторну структуру T2-DDAS, а також сприяти розробці психологічних втручань, орієнтованих на конкретні потреби пацієнтів.

[403] Gopalkrishnan, N., 'Cultural Diversity and Mental Health: Considerations for Policy and Practice', *Frontiers in Public Health,* vol. 6, no. 1, 2018, 179.
[404] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[405] Fisher, L., et al., 'A New Perspective on Diabetes Distress Using the Type 2 Diabetes Distress Assessment System (T2-DDAS): Prevalence and Change Over Time', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 8, 2022, 108256.
[406] Polonsky, W. H., et al., 'Toward a More Comprehensive Understanding of the Emotional Side of Type 2 Diabetes: A Re-Envisioning of the Assessment of Diabetes Distress', *Journal of Diabetes and Its Complications,* vol. 36, no. 1, 2022, 108103.
[407] Morales-Brown, L. A., et al., 'Understanding Experiences of Diabetes Distress: A Systematic Review and Thematic Synthesis', *Journal of Diabetes Research,* vol. 2024, 2024, 3946553.
[408] Fisher, L., et al., 'Bringing the Assessment and Treatment of Diabetes Distress into the Real World of Clinical Care: Time for a Shift in Perspective', *Diabetic Medicine,* vol. 41, no. 12, 2024, e15446.
[409] Sharma, B., et al., 'Psychometric Validation of Type 2 Diabetes Distress Assessment System in an Indian Type 2 Diabetes Population', *Scientific Reports,* vol. 14, 2024, 32059.

ВИСНОВКИ

Україномовна версія опитувальника T2-DDAS є надійною, внутрішньо узгодженою та забезпечує діагностичну інформативність, ідентичну оригінальній версії англійською мовою. Порівняльний аналіз показників фактора “Діабетичний дистрес” демонструє, що найбільш виражений рівень ДДС спостерігається серед ВПО, які страждають на ЦД 2-го типу. У ВПО, хворих на ЦД 2-го типу, статистично значущим є збільшення таких факторів, як гіпоглікемія, довгострокове здоров’я, взаємодія з медичними працівниками, міжособистісні проблеми, доступ до медичної допомоги і вимоги менеджменту. Україномовна версія опитувальника T2-DDAS є ефективним засобом для оцінки ДДС і дозволяє виокремити основний емоційний досвід, пов'язаний з ЦД 2-го типу, та первинні джерела, використовуючи відповідні інструменти для кожної категорії.

Україномовна версія опитувальника T2-DDAS дає змогу більш точно оцінити повсякденний досвід пацієнтів із ЦД 2-го типу, що має потенціал для застосування в клінічній практиці та наукових дослідженнях. Впровадження україномовної версії опитувальника T2-DDAS в заклади практичної охорони здоров’я дозволить отримати нову, потенційно більш точну систему оцінки ДДС у хворих на ЦД 2-го типу.

Даний розділ підготовлено в межах виконання дослідницької роботи, здійснюваної за підтримки стипендіальної програми Верховної Ради України.

РАННЯ ДІАГНОСТИКА СУБКЛІНІЧНОЇ ДІАБЕТИЧНОЇ КАРДІАЛЬНОЇ НЕЙРОПАТІЇ У ВНУТРІШНЬО ПЕРЕМІЩЕНИХ ОСІБ

EARLY DIAGNOSIS OF SUBCLINICAL DIABETIC CARDIAC NEUROPATHY IN INTERNALLY DISPLACED PERSONS

Вікторія Сергієнко, доктор медичних наук, професор кафедри ендокринології, проректор з наукової роботи, e-mail: serhiyenkov@gmail.com, Державне некомерційне підприємство "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького", ORCID: 0000-0002-6414-0956

Соломія Головач, лікар-інтерн, e-mail: solomiya.holovach00@gmail.com, "Військовий медичний клінічний центр Західного регіону", Львів, ORCID: 0009-0007-6637-1858

Олександр Сергієнко, доктор медичних наук, професор кафедри ендокринології, e-mail: serhiyenkoa@gmail.com, Державне некомерційне підприємство "Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького", ORCID: 0000-0001-7519-2279

Наталія Іванченко, генеральний директор ДУ "Львівський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України", ORCID:
https://orcid.org/0000-0002-0112-6962

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.11

Анотація. Діабетичний дистрес у внутрішньо-переміщених осіб (ВПО) збільшує ризик кардіальної автономної нейропатії (КАН). Мета роботи: провести аналіз особливостей короткочасної варіабельності серцевого ритму (ВСР) у ВПО, хворих на цукровий діабет (ЦД) 2-го типу. Обстежено 16 здорових осіб (1-ша група, контроль), пацієнтів з ЦД 2-го типу і субклінічною КАН (м. Львів, 2-га, n = 16) і ВПО, хворі на ЦД 2-го типу із субклінічною КАН (3-я, n = 16). Субклінічну КАН діагностували згідно результатів тестів кардіоваскулярних рефлексів, опитувальника "Композитна оцінка вегетативних симптомів 31" (COMPASS 31) і короткочасної ВСР (тривалістю 5 хв). Встановлено, що у пацієнтів із ЦД 2-го типу та субклінічною КАН спостерігається значуще підвищення частоти серцевих скорочень (ЧСС); достовірне зниження середньої тривалості інтервалів R-R (mRR); % послідовних NN інтервалів, різниця між якими перевищує 50 мс (pNN50%); високочастотного компонента кардіоритму (HF) і нормованої одиниці спектру високочастотного компонента (HFnorm). У ВПО із ЦД 2-го типу та субклінічною КАН спостерігається подальше значуще збільшення ЧСС; зниження mRR; квадратного кореня із середніх квадратів різниць величин послідовних пар інтервалів NN (RMSSD); pNN50%; низькочастотного компонента кардіоритму (LF); HF; %HF в загальному спектрі ВСР, а також зростання нормованої одиниці спектру LF; % дуже низькочастотного компонента кардіоритму. Отже, у ВПО із ЦД 2-го типу та субклінічною КАН зафіксовано зниження загальної потужності ВСР, а також помітне домінування симпатичного компонента. Це свідчить про активізацію адаптаційних реакцій організму у відповідь на стресові ситуації. Використання короткочасного аналізу ВСР може бути як економічно вигідним, так і науково обґрунтованим підходом для ранньої діагностики субклінічної КАН у пацієнтів із ЦД 2-го типу, зокрема ВПО.

Ключові слова: внутрішньо переміщені особи, цукровий діабет 2-го типу, кардіальна автономна нейропатія, короткочасна варіабельність серцевого ритму

Abstract. Diabetic distress in internally displaced individuals (IDPs) increases the risk of cardiac autonomic neuropathy (CAN). The aim of the study was to analyze the features of short-term heart rate variability (HRV) in IDPs with type 2 diabetes mellitus (T2DM). We examined 16 healthy subjects (group 1, control), patients with T2DM and subclinical CAN (Lviv, 2nd, n = 16), and IDPs with T2DM and subclinical CAN (3rd, n = 16). Subclinical CAN was diagnosed according to the results of cardiovascular reflex tests, the Composite Assessment of Autonomic Symptoms 31 (COMPASS 31) questionnaire, and short-term HRV (STHRV, 5 min duration). It was found that in patients with T2DM and subclinical CAN, there is a significant increase in heart rate (HR), a significant decrease in the average duration of R-R intervals (mRR), a % of consecutive NN intervals, the difference between which exceeds 50 ms (pNN50%), a high-frequency component of the cardiac rhythm (HF), and a normalized unit of the spectrum of the HF component (HFnorm). In IDPs with T2DM and subclinical CAN, there is a further significant increase in HR; decrease in mRR; square root of the mean squared differences in the values of consecutive pairs of NN intervals (RMSSD); pNN50%; low-frequency component of the cardiac rhythm (LF); HF; %HF in the total HRV spectrum, as well as an increase in the normalized spectral unit LF; % very LF component of the cardiac rhythm. Thus, in IDPs with T2DM and subclinical CAN, a decrease in the total HRV power was recorded, as well as a marked dominance of the sympathetic component. This indicates the activation of the body's adaptive reactions in response to stressful situations. The use of STHRV analysis can be both a cost-effective and scientifically sound approach for the early diagnosis of subclinical CAN in patients with T2DM, including IDPs.

Key words: internally displaced persons, type 2 diabetes mellitus, cardiac autonomic neuropathy, short-term heart rate variability

ВСТУП

Дисфункція вегетативної нервової системи (ВНС) поєднується з численними патофізіологічними станами і захворюваннями, зокрема артеріальною гіпертензією, метаболічним синдромом, порушенням толерантності до глюкози/цукровим діабетом (ЦД) 2-го типу, розвитком кардіальної автономної нейропатії (КАН)[410,411]. КАН визначається як порушення серцево-судинного вегетативного контролю в осіб з ЦД після виключення інших причин[410]. Вважається, що КАН пов'язана з виникненням діабету, але вегетативна дисфункція поширена вже в прediабетичному стані та прогресує під час маніфестного ЦД 2-го типу[412]. Результати нещодавнього систематичного огляду свідчать, що поширеність КАН коливається від 9 % до 39 % серед людей з прediабетом[413]. КАН при ЦД 2-го типу вважається незалежним чинником ризику смертності від серцево-судинних захворювань (ССЗ)**Ошибка! Источник ссылки не найден.**[414]. Крім того, повідомляється, що діабетичний дистрес у внутрішньо-переміщених осіб (ВПО) збільшує ризик КАН.

[410] V Spallone, 'Update on the Impact, Diagnosis and Management of Cardiovascular Autonomic Neuropathy in Diabetes: What Is Defined, What Is New, and What Is Unmet' (2019) 42(1) *Diabetes & Metabolism Journal* 3.
[411] V Serhiyenko and A Serhiyenko, 'Diabetic Cardiac Autonomic Neuropathy' in JR Rodriguez-Saldana (ed), *The Diabetes Textbook: Clinical Principles, Patient Management and Public Health Issues* (2nd edn, Springer 2023) 939.
[412] C Coopmans et al, 'Both Prediabetes and Type 2 Diabetes Are Associated With Lower Heart Rate Variability: The Maastricht Study' (2020) 43(5) *Diabetes Care* 1126.
[413] A Eleftheriadou et al, 'The Prevalence of Cardiac Autonomic Neuropathy in Prediabetes: A Systematic Review' (2022) 64(2) *Diabetologia* 288.
[414] D Ziegler et al, 'The Role of Biofactors in Diabetic Microvascular Complications' (2022) 18(4) *Current Diabetes Reviews* e250821195830.

Враховуючи вплив КАН на якість життя пацієнтів із ЦД 2-го типу, існуючі на сьогодні рекомендації пропонують проводити пошук вегетативних симптомів у будь-якого пацієнта[415]. Однак топографічне розташування ВНС не дає змоги провести пряме її фізіологічне тестування, і отже, необхідно використовувати непрямі вимірювання[416].

"Золотий" стандарт у діагностиці КАН базується на результатах тестів кардіоваскулярних рефлексів (cardiovascular autonomic reflex tests, CART's). Однак, CART's потребують спеціального обладнання, володіння методиками та більшої співпраці з пацієнтом; можуть бути недостатньо чутливими, щоб виявити "субклінічні" порушення функціонального стану ВНС[417]. Зокрема, у пацієнтів з ЦД 2-го типу із субклінічною КАН нерідко діагностується пригнічення варіабельності серцевого ритму (ВСР), яке, однак, часто залишається невиявленим за допомогою CART's[418].

24-год холтерівський запис ЕКГ є "золотим" стандартом у стратифікації ризику пацієнтів із гострим коронарним синдромом, діабетичною КАН тощо[419]. ВСР може слугувати трансдіагностичним біомаркером ризику ССЗ та когнітивно-емоційної оцінки[420]. Однак зросла потреба в отриманні результатів вимірювань ВСР з використанням короткострокових часових рамок (тривалістю 5 хв)[421]. Це зумовлене необхідністю скоротити час і витрати на виділення та аналіз індексів ВРС. Крім того, 24-год холтерівський запис несумісний з динамікою деяких фізіологічних механізмів, які потрібно зареєструвати (наприклад, стрибки когнітивного навантаження) тощо[422,423].

Таким чином, метою роботи було провести аналіз особливостей короткочасної варіабельності серцевого ритму у внутрішньо переміщених осіб, хворих на ЦД 2-го типу.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Це пілотне обсерваційне дослідження, з використанням порівняльного перехресного дизайну, здійснено на кафедрі ендокринології Львівського національного медичного університету ім. Данила Галицького, що розташована на базі поліклінічного відділення філії "*Центр ендокринологічного* здоров'я" КНП ЛОР *Львівського обласного клінічного* діагностичного *центру* з дотриманням етичних норм та принципів Ґельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації, переглянутої в 2013 році, про проведення наукових медичних досліджень за участю людини.

Обстежено три групи, з них 16 практично здорових осіб (1-ша, контроль), пацієнти з ЦД 2-го типу із субклінічною КАН, які постійно проживають у м. Львові та області (2-га, n = 16) і хворі на ЦД 2-го типу із субклінічною КАН, які отримали статус ВПО після початку повномасштабного вторгнення РФ (3-я група, n = 16). вік, стать, тривалість ЦД 2-го типу, показники ІМТ і HbA1c в обстежених групах

[415] S Williams et al, 'Cardiac Autonomic Neuropathy in Type 1 and 2 Diabetes: Epidemiology, Pathophysiology, and Management' (2022) 44(10) *Clinical Therapeutics* 1394.
[416] VA Serhiyenko et al, *Diabetic Distress: The Main Etiopathogenetic Factors and Psychometric Methods of Diagnosis* (Liha-Pres 2025).
[417] JD Solanki, 'A Comparative Cross-Sectional Study of Cardiac Autonomic Status by Five Minute Heart Rate Variability among Type 2 Diabetics, Hypertensives and Normotensive-Nondiabetics' (2023) 64(3) *Nigerian Medical Journal* 373.
[418] M Phurpa and S Ferdousi, 'Short-term Heart Rate Variability: A Technique to Detect Subclinical Cardiac Autonomic Neuropathy in Type 2 Diabetes Mellitus' (2021) 30(2) *Mymensingh Medical Journal* 447.
[419] VA Serhiyenko, LM Serhiyenko and AA Serhiyenko, 'Features of Circadian Rhythms of Heart Rate Variability, Arterial Stiffness and Outpatient Monitoring of Blood Pressure in Diabetes Mellitus: Data, Mechanisms and Consequences' in RP Sinha (ed), *Circadian Rhythms and Their Importance* (Nova Science Publishers 2022) 279.
[420] J Tomasi et al, 'Heart Rate Variability: Evaluating a Potential Biomarker of Anxiety Disorders' (2024) 61(2) *Psychophysiology* e14481.
[421] JE Ortiz-Guzmán et al, 'Short-Term Heart Rate Variability in Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis' (2023) 12(18) *Journal of Clinical Medicine* 6051.
[422] S Sammito et al, 'Guideline for the Application of Heart Rate and Heart Rate Variability in Occupational Medicine and Occupational Health Science' (2024) 19(1) *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 15.
[423] C Besson et al, 'Assessing the Clinical Reliability of Short-Term Heart Rate Variability: Insights from Controlled Dual-Environment and Dual-Position Measurements' (2025) 15 *Scientific Reports* 5611.

статистично значуще не відрізнялись ($p > 0,05$). У пацієнтів з ЦД 2-го типу не виявлено клінічних симптомів КАН (ортостатичної гіпотензії, непереносимості фізичних навантажень тощо).

Вегетативну функцію вимірювали за допомогою CART's, а саме, зміни частоти серцевих скорочень (ЧСС) під час глибокого вдиху, співвідношення 30:15 і проби Вальсальви, ортостатичної проби (CART's) та короткочасної ВРС. Оцінка CART's була отримана із суми балів, наданих кожному CART [419]. Субклінічну КАН діагностували згідно результатів, отриманих при проведенні CART's і COMPASS 31[424,425].

Для визначення валідності та діагностичної ефективності короткочасної ВСР як скринінгового інструменту для виявлення субклінічної КАН у пацієнтів із ЦД 2-го типу було проведено детальний аналіз отриманих результатів. Аналізували порушення ритму та провідності, показники ЧСС, середньої тривалості інтервалів R-R (median RR interval, mRR), стандартного відхилення величин нормальних інтервалів R-R (NN) (standard deviation of NN intervals within the measurement area, SDNN), квадратного кореня із середніх квадратів різниць величин послідовних пар інтервалів NN (root mean square of successive differences between adjacent NN intervals, RMSSD), відсотка послідовних NN інтервалів, різниця між якими перевищує 50 мс (percentage of consecutive NN intervals that deviate from one another by more than 50 ms, pNN 50); коефіцієнта варіації (coefficient of variation, CV); триангулярного індекса (triangular index, HRVTI); загальної потужності (total power, TP); дуже низькочастотного компонента кардіоритму (very low frequency power, VLF); низькочастотного компонента кардіоритму (low frequency power, LF); високочастотного компонента кардіоритму (high frequency power, HF); нормованої одиниці спектру низькочастотного компонента кардіоритму (low frequency normalised unit, Lf norm); нормованої одиниці спектра високочастотного компоненту кардіоритму (high frequency normalized unit, Hf norm); співвідношення LF до HF (quotient of the spectrum in LF and the spectrum in HF, LF/HF); відсотка VLF в загальному спектрі ВСР (percentage of VLF in the total spectrum; VLF%); відсотка LF в загальному спектрі ВСР (percentage of LF in the total spectrum, LF%) і відсотка HF в загальному спектрі ВСР (percentage of HF in the total spectrum, HF%). Тривалість часу запису ЕКГ становила 5 хв[426].

Результати досліджень опрацьовували методом варіаційної статистики. Для порівняння середніх абсолютних величин використовували параметричний критерій Стьюдента і непараметричний критерій Wilcoxon (MicroCal Origin v. 8,0). Отримані показники наведені у вигляді середніх арифметичних значень із середнім квадратичним відхиленням ($M \pm SD$). Порівняння отриманих даних у групах проводили за допомогою непараметричного критерію Манна-Уїтні, для їх опису використовували медіану (Me) та інтерквартильний розмах (Q25-Q75). Програмне забезпечення - TIBCO Software Inc. (v. 14.0.0.15).

[424] F Shaffer and JP Ginsberg, 'An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms' (2017) 5 *Frontiers in Public Health* 258.
[425] A Plaza-Florido, J Sacha and JMA Alcantara, 'Short-Term Heart Rate Variability in Resting Conditions: Methodological Considerations' (2021) 79(7–8) *Kardiologia Polska* 745.
[426] J Chen et al, 'Diagnostic Performance Analysis for Diabetic Cardiovascular Autonomic Neuropathy Based on Short-Term Heart Rate Variability using Bayesian Methods: Preliminary Analysis' (2025) 7 *Diabetology & Metabolic Syndrome* e14481.

РЕЗУЛЬТАТИ

В таблиці 1 представлено особливості параметрів короткочасної ВРС у хворих на ЦД 2-го типу.

Таблиця 1

Параметри короткочасної варіабельності серцевого ритму у хворих на цукровий діабет 2-го типу із субклінічною кардіальною автономною нейропатією

Параметри	**Контроль**	**ЦД 2-го типу**	**ВПО з ЦД 2-го типу**	**p**
	1-а група (n=16)	**2-а група (n=16)**	**3-я група (n=16)**	
ЧСС, уд/хв	66,63 ± 14,74 [49,0; 113,0]	76,63 ± 12,83 [57,0; 96,0]	86,19 ± 82,3 [69,0; 121,0]	$p < 0,05$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$
mRR, мс	933,13 ± 161,63 [533,0; 1220,0]	805,25 ± 129,93 [612,0; 1044,0]	709,56 ± 93,45 [496,0; 871,0]	$p < 0,05$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$
SDNN, мс	48,38 ± 15,33 [19,0; 76,0]	40,69 ± 15,15 [20,0; 61,0]	37,56 ± 13,11 [20,0; 57,0]	$p > 0,05$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
RMSSD, мс	38,13 ± 19,73 [9,0; 93,0]	28,75 ± 18,65 [4,0; 75,0]	17,56 ± 9,06 [5,0; 41,0]	$p > 0,05$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$
pNN 50, %	17,5 ± 14,85 [0; 48,0]	8,38 ± 7,94 [0; 21,0]	2,56 ± 4,66 [0; 17]	$p < 0,05$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$
CV, у.о.	5,44 ± 2,25 [2,0; 12,0]	5,81 ± 1,68 [3,0; 8,0]	6,06 ± 1,95 [3,0; 9,0]	$p > 0,05$ $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$
HRVTI, у.о.	11,63 ± 2,78 [7,0; 16,0]	10,13 ± 2,78 [6,0; 16,0]	9,63 ± 3,26 [5,0; 14,0]	$p > 0,05$ $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$
TP, мс^2	2453,18 ± 1390,27 [369,0; 5753,0]	2241,94 ± 1061,62 [707,0; 4017,0]	1590,31 ± 919,33 [446,0; 2754,0]	$p > 0,05$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$
VLF, мс^2	803,44 ± 496,83 [227,0; 2050,0]	842,5 ± 637,83 [126,0; 2101,0]	740,13 ± 558,47 [114,0; 1849,0]	$p > 0,05$ $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$
LF, мс^2	968,31 ± 868,32 [123,0; 3447,0]	1021,94 ± 593,21 [261,0; 2285,0]	626,56 ± 428,50 [156,0; 1358,0]	$p > 0,05$ $p_1 > 0,05$ $p_2 < 0,05$
HF, мс^2	626,63 ± 538,82 [19,0; 1680]	327,0 ± 214,45 [72,0; 722,0]	143,81 ± 111,68 [10,0; 363,0]	$p < 0,05$ $p_1 < 0,01$ $p_2 < 0,01$
Lf norm, норм.од.	63,63 ± 17,63 [25,0; 87,0]	64,69 ± 15,93 [32,0; 89,0]	79,81 ± 14,25 [54,0; 96,0]	$p > 0,05$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,001$
Hf norm, норм.од.	36,38 ± 17,63 [13,0; 75,0]	24,75 ± 13,85 [4,0; 46,0]	20,19 ± 14,25 [4,0; 46,0]	$p < 0,05$ $p_1 < 0,01$ $p_2 > 0,05$
LF/HF, у.о	2,51 ± 1,88 [0,34; 6,61]	4,32 ± 4,33 [1,18; 17,5]	7,93 ± 7,38 [1,19; 25,67]	$p > 0,05$ $p_1 < 0,01$ $p_2 > 0,05$
VLF%, %	39,19 ± 18,53 [13,0; 65,0]	31,56 ± 16,29 [4,0; 58,0]	47,5 ± 18,69 [12,0; 86,0]	$p > 0,05$ $p_1 > 0,05$ $p_2 < 0,05$

Продовження таблиці 1

Параметри	**Контроль**	**ЦД 2-го типу**	**ВПО з ЦД 2-го типу**	**p**
	1-а група (n=16)	**2-а група (n=16)**	**3-я група (n=16)**	
LF%, %	37,94 ± 12,72 [13,0; 60,0]	46,56 ± 14,64 [22,0; 76,0]	41,88 ± 17,81 [11,0; 80,0]	$p > 0,05$ $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$
HF%, %	22,94 ± 14,45 [5,0; 53,0]	21,88 ± 11,79 [5,0; 46,0]	10,44 ± 8,15 [2,0; 26,0]	$p > 0,05$ $p_1 < 0,01$ $p_2 < 0,001$

Примітки: $p < 0,05$ - вірогідна різниця порівняно з 1-ою і 2-ю групами; p_1 - вірогідна різниця порівняно з 1-ою і 3-ю групами; p_2 - вірогідна різниця порівняно з 2-ою і 3-ю групами.

Результати дослідження виявили, що у пацієнтів із ЦД 2-го типу та субклінічною формою КАН (група 2) спостерігається статистично значуще підвищення ЧСС. Одночасно були зафіксовані зміни показників короткочасної ВСР, зокрема достовірне зниження значень RMSSD і pNN50%, що свідчить про загальне зменшення ВРС[427]. Також відзначено зниження рівнів HF і HFnorm, підвищення LFnorm та зростання співвідношення LF/HF. Це свідчить про зменшення активності парасимпатичної компоненти ВНС, що викликає відносне посилення активності симпатичної нервової системи (СНС) та підвищення показника LF/HF **(таблиця).**

У ВПО із ЦД 2-го типу та субклінічною КАН спостерігається подальше статистично значуще збільшення ЧСС і mRR. Аналіз короткочасної ВРС між 2-ю та 3-ю групами показав, що у ВПО з ЦД 2-го типу та субклінічною КАН відбувається подальше істотне зниження RMSSD, pNN50% і HF, а також зростання LFnorm **(таблиця).** Такі зміни можуть вказувати не лише на посилену активацію симпатичних механізмів регуляції, але й на появу адаптаційних реакцій, що формуються у відповідь на стресові умови в даної категорії пацієнтів.

ОБГОВОРЕННЯ

Зменшення показників LF і HF, виявлене у пацієнтів із ЦД 2-го типу і субклінічною КАН, які набули статусу ВПО після початку повномасштабного вторгнення РФ, може свідчити про ослаблення барорефлекторного механізму та зниження парасимпатичної регуляції серцево-судинної системи. Імовірно, зазначені особливості сприяють значним коливанням у парасимпатичній активності, що знайшло відображення у зміні відсоткового показника HF. Як відомо, показник VLF% у спектральному аналізі ВСР відображає активність симпатичного відділу ВНС і тісно корелює з рівнем психоемоційного навантаження та функціональним станом кори головного мозку[428]. У пацієнтів із статусом ВПО, хворих на ЦД-го типу та субклінічною КАН, було зафіксовано підвищення частки VLF%. Така зміна є типовою для станів інтенсивного нервово-емоційного напруження. Це може свідчити про тривалу активацію СНС, яка спричиняє дисбаланс енергетичних і метаболічних процесів в організмі, орієнтованих на мобілізацію захисних ресурсів. Такий стан сприяє посиленню енергетичного обміну, активізації метаболічних функцій та покращенню кровообігу[429]. Повідомляється, що на ранніх стадіях розвитку ССЗ активація СНС

[427] N Azulay et al, 'Reduced Heart Rate Variability is Related to the Number of Metabolic Syndrome Components and Manifest Diabetes in the Sixth Tromsø Study 2007–2008' (2022) 12(1) *Scientific Reports* 11998.
[428] P Castiglioni et al, 'Heart Rate Variability for the Early Detection of Cardiac Autonomic Dysfunction in Type 1 Diabetes' (2022) 13 *Frontiers in Physiology* 937701.
[429] HG Kim et al, 'Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature' (2018) 15(3) *Psychiatry Investigation* 235.

розглядається як компенсаторний механізм організму, який відіграє ключову роль у підтриманні вегетативного балансу[430].

У результаті дослідження виявлено зниження ВРС та активності парасимпатичної нервової системи, що відповідає за її регуляцію, а також підвищення чутливості ритму серця до впливу СНС. Виявлені зміни, зафіксовані у пацієнтів обох груп, вказують на раннє порушення парасимпатичної регуляції серцевої діяльності, що є однією з перших ознак розвитку КАН при ЦД 2-го типу.

Специфічне прогностичне значення змін ЧСС у контексті розвитку депресивних станів становить ключовий аспект сучасних досліджень[431,432]. Проспективні наукові роботи вказують на те, що первинне зниження ВСР може виступати як потенційний фактор ризику виникнення депресивних станів[433,434]. Відповідні дослідження можуть стати важливим інструментом для ідентифікації біомаркерів ССЗ у людей, які є вразливими до потенційного психоемоційного травматичного впливу[435]. Це створює можливості для розробки інноваційних стратегій профілактики та перспективних підходів до психохронобіологічного лікування, орієнтованих на ВПО, пацієнтів із підвищеним рівнем ризику[436].

Функціональне розуміння взаємозв'язку між мозком і серцем потребує суттєвого покращення за допомогою доклінічних і проспективних клінічних досліджень. Зокрема, залишається недостатньо з'ясованою роль окремих ділянок мозку, які беруть участь у центральній нейровегетативній дисрегуляції у відповідь на специфічні стресори та стресові розлади[437,438]. Подальше вивчення біологічних чинників, що впливають на реакцію на стрес, є критично важливим для встановлення зв'язків між когнітивними, емоційними, психосоціальними й екологічними аспектами стресу, а також індивідуальними відмінностями у перебігу захворювань.

Оскільки механізми емоційного збудження та активації значною мірою співпадають із центральною вегетативною мережею, ВСР може стати універсальним біомаркером чутливості стресової системи, вразливості та індивідуального ризику. Це відкриває можливість її більш широкого застосування як у наукових дослідженнях, так і в клінічній практиці[439,440].

Аналіз результатів короткочасної ВСР відкриває перспективи для оцінки серцево-судинного здоров'я пацієнтів і регулювання нейрокардіальної функції. Однак реалізація цього потенціалу в практичному покращенні стану серцево-судинної системи вимагає проведення додаткових

[430] P Valensi, 'Autonomic Nervous System Activity Changes in Patients with Hypertension and Overweight: Role and Therapeutic Implications' (2021) 20(1) *Cardiovascular Diabetology* 170.
[431] F Ge et al, 'Posttraumatic Stress Disorder and Alterations in Resting Heart Rate Variability: A Systematic Review and Meta-Analysis' (2020) 17(1) *Psychiatry Investigation* 9.
[432] B Li et al, 'Abnormal Circadian Rhythm of Heart Rate Variability and Their Association With Symptoms in Patients With Major Depressive Disorder' (2024) 362 *Journal of Affective Disorders* 14.
[433] T Moretta and S Messerotti Benvenuti, 'Early Indicators of Vulnerability to Depression: The Role of Rumination and Heart Rate Variability' (2022) 312 *Journal of Affective Disorders* 217.
[434] B Im et al, 'Utilizing Real-Time Heart Rate Variability during Psychological Intervention Program for Complex Post-Traumatic Stress Disorder: A Case Study' (2024) 14(1) *Applied Sciences* 4.
[435] A Serhiyenko et al, 'Post-Traumatic Stress Disorder, Insomnia, Heart Rate Variability and Metabolic Syndrome (Narrative Review)' (2024) 73(1) *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences* 1.
[436] GI Al Jowf et al, 'To Predict, Prevent, and Manage Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD): A Review of Pathophysiology, Treatment, and Biomarkers' (2023) 24(6) *International Journal of Molecular Sciences* 5238.
[437] V Vaccarino et al, 'Brain-Heart Connections in Stress and Cardiovascular Disease: Implications for the Cardiac Patient' (2021) 328 *Atherosclerosis* 74.
[438] MC Barthel et al, 'Habituation of the Biological Response to Repeated Psychosocial Stress: A Systematic Review and Meta-Analysis' (2025) 169 *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 105996.
[439] A Agorastos et al, 'Heart Rate Variability as a Translational Dynamic Biomarker of Altered Autonomic Function in Health and Psychiatric Disease' (2021) 11(6) *Biomedicines* 1591.
[440] M Siepmann et al, 'Heart Rate Variability: A Measure of Cardiovascular Health and Possible Therapeutic Target in Dysautonomic Mental and Neurological Disorders' (2022) 47(4) *Applied Psychophysiology and Biofeedback* 273.

масштабних рандомізованих контрольованих досліджень, а також ретельного аналізу реальних даних[440,441]. Це необхідно для з'ясування, чи здатна модуляція ВСР шляхом втручань, зокрема методами біологічного зворотного зв'язку, забезпечити суттєве покращення стану серцево-судинної системи у ВПО із ЦД 2-го типу. Як видається, це стане одним із ключових напрямків майбутніх досліджень, присвячених особливостям ВСР.

Отже, короткочасна ВСР може виступати як трансдіагностичний біомаркер серцево-судинного ризику та інструмент для оцінки когнітивно-емоційного стану[442]. Завдяки своїм повністю трансляційним властивостям, аналіз короткочасної ВРС може стати перспективним діагностичним і, зокрема, потенційно терапевтичним підходом у майбутніх дослідженнях. Це відкриває нові можливості для поглиблення функціонального розуміння динаміки дизрегуляції серцевого ритму, оскільки такий аналіз інтегрує фундаментальні й клінічні аспекти досліджень. Важливо зазначити, що лонгітюдні оцінки динамічних змін ЧСС до і після лікування є надзвичайно цінними для виявлення прецизійних змін реактивності ВНС та процесів нормалізації її функціонального стану**Ошибка! Источник ссылки не найден.**. Однак на субклінічних стадіях різноманітних захворювань, особливо КАН у пацієнтів із ЦД 2-го типу, необхідно враховувати складний характер взаємодії між численними ССЗ, які можуть суттєво впливати на ВСР. У таких випадках доцільно поєднувати показники порушень функціонального стану ВНС з додатковими біомаркерами для забезпечення більш точної ідентифікації патофізіологічних процесів.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження продемонстрували, що у пацієнтів із ЦД 2-го типу та субклінічною формою КАН спостерігається статистично значуще підвищення ЧСС, зміни показників короткочасної ВСР у вигляді достовірного зниження значень RMSSD і pNN50%, рівнів HF і HFnorm, підвищення LFnorm та зростання співвідношення LF/HF. У ВПО із ЦД 2-го типу та субклінічною КАН спостерігається подальше статистично значуще збільшення ЧСС, а також mRR; подальше статистично значуще зниження RMSSD, pNN50% і HF, а також зростання LFnorm. Результати цього пілотного обсерваційного, перехресного дослідження продемонстрували, що використання короткочасної ВСР може бути науково-економічним обґрунтованим чутливим методом ранньої діагностики КАН у хворих на ЦД 2-го типу. Використання лікарем первинної медичної допомоги методу короткочасної ВСР може бути практичним інструментом для ранньої діагностики субклінічної КАН у хворих на ЦД 2-го типу. Сформульовані висновки можуть бути використані для розробки інноваційних стратегій профілактики та перспективних підходів до психохронобіологічного лікування, орієнтованих на осіб із підвищеним рівнем ризику КАН, зокрема ВПО, хворих на ЦД 2-го типу.

Даний розділ підготовлено в межах виконання дослідницької роботи, здійснюваної за підтримки стипендіальної програми Верховної Ради України.

[441] K Jin et al, 'Agreement Between Ultra-Short-Term and Standard Heart Rate Variability Analysis in Resting and Post-Exercise Conditions' (2024) 14(7) *Life* 837.
[442] A Xavier et al, 'Heart Rate and Its Variability From Short-Term ECG Recordings as Potential Biomarkers for Detecting Mild Cognitive Impairment' (2024) 39 *American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias* 15333175241309527.

РОЗДІЛ 2. ХІМІЧНА, РАДІАЦІЙНА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА В УМОВАХ ВІЙНИ ТА ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

CHAPTER 2. CHEMICAL, RADIATION, AND ENVIRONMENTAL SAFETY DURING WAR AND TECHNOGENIC STRESS

ADVANCED ADSORPTION MATERIALS BASED ON NATURAL MINERALS FOR WATER FILTRATION SYSTEMS IN EMERGENCY SITUATIONS

СУЧАСНІ АДСОРБЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНИХ МІНЕРАЛІВ ДЛЯ ФІЛЬТРАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Iryna Fediv, PhD in Ecoligy, e-mail: iryna.fediv@ldubgd.edu.ua, Lviv State University of Life Safety, ORCID https://orcid.org/0000-0003-4554-8347

Aušra Mažeikienė, Doctor of Science, e-mail: ausra.mazeikiene@vilniustech.lt, Vilnius Gediminas Technical University, ORCID https://orcid.org/0000-0001-8728-9377

Kateryna Stepova, PhD in Engineering, Assistant Professor, e-mail: k.stepova@ldubgd.edu.ua, Lviv State University of Life Safety, ORCID https://orcid.org/0000-0002-2082-9524

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.12

Abstract. This study investigates the efficiency of removing eutrophication agents—phosphate (PO_4^{3-}) and ammonium (NH_4^+) ions—from wastewater using natural sorbents: glauconite and clinoptilolite. The sorption capacities of natural, thermally treated, and metal-modified samples were compared. It was found that Fe- and Cu-modified samples demonstrated the highest efficiency for phosphate removal, while ammonium was better adsorbed by natural or Fe-modified clinoptilolite and thermally activated glauconite. The adsorption processes were analyzed using Langmuir-Freundlich isotherm models, allowing a detailed assessment of the interaction mechanisms between the sorbents and target ions. Experiments with real wastewater samples confirmed the applicability of these minerals in tertiary filtration systems. The findings highlight the practical value of glauconite and clinoptilolite as environmentally safe, cost-effective materials for the treatment of domestic and industrial wastewater containing eutrophication-inducing substances. Their use may significantly reduce nutrient loads entering natural water bodies and contribute to the preservation of aquatic ecosystems and environmental sustainability.

Keywords: wastewater, adsorption, eutrophication agents, clinoptilolite, glauconite.

Анотація. У роботі досліджено ефективність видалення евтрофікуючих агентів — іонів фосфатів (PO_4^{3-}) та амонію (NH_4^+) — зі стічних вод за допомогою природних сорбентів: глауконіту та клиноптилоліту. Проведено порівняння сорбційної здатності природних, термічно оброблених та металомодифікованих зразків. Встановлено, що для PO_4^{3-} найбільш ефективними є зразки, модифіковані іонами Fe та Cu, тоді як NH_4^+ краще поглинається природним або Fe-модифікованим клиноптилолітом, а також термічно обробленим глауконітом. Для опису процесів адсорбції застосовано ізотерми Ленгмюра-Фрейндліха, що дозволило оцінити характер взаємодії сорбентів з іонами. Експерименти з реальними стічними водами підтвердили доцільність використання мінералів у фільтраційних системах доочистки. Отримані результати вказують на практичну цінність глауконіту й клиноптилоліту як екологічно безпечних і доступних матеріалів для очищення стічних вод від евтрофікуючих речовин у побутовому та промисловому секторах.

Ключові слова: стічні води, адсорбція, еврофікуючі агенти, клиноптилоліт, грауконіт.

INTRODUCTION

In today's world, when environmental and humanitarian crises are tied together, making sure people have access to safe water is a big deal for countries. In particular, in the context of full-scale war in Ukraine, there is a growing need to develop and implement portable water purification systems that can be used in the field: for military units, displaced persons, populations in frontline areas, or in areas with destroyed infrastructure. Reliable and rapid purification of water from nitrogen and phosphorus, which cause eutrophication, is not only a environmental issue, but also an issue of survival and health.

Wastewater contains significant concentrations of ammonium (NH_4^+) and phosphates (PO_4^{3-}), substances that are nutritious for aquatic organisms but, in excessive amounts, cause ecosystem degradation. These substances cause algae blooms, reduce dissolved oxygen, worsen hydrobiological conditions, pollute water intakes, and can also negatively affect the human respiratory and digestive systems. During hostilities, access to centralized water disposal and treatment becomes difficult, which creates an additional burden on local ecosystems and requires immediate technical solutions.

One promising approach to solving this problem is the use of natural mineral sorbents, in particular glauconite and clinoptilolite, which are capable of binding ammonium and phosphate ions even in unstable conditions. These minerals have high ion exchange capacity, resistance to temperature variations, and can be used in mobile filtration units suitable for use in field conditions.

The aim of this study is to evaluate the effectiveness of natural, thermally treated, and metal-modified glauconite and clinoptilolite in the processes of NH_4^+ and PO_4^{3-} removal from wastewater. Particular attention is paid to the influence of pH, type of modification, and sorbent behavior in real wastewater. The results obtained can serve as a basis for the development of portable filtration systems that will provide fast and affordable water purification in areas where centralized treatment is absent or destroyed, both for military needs and for the civilians.

STATE OF WASTEWATER POLLUTION BY EUTROPHICATING AGENTS IN THE REGION

Wastewater pollution poses a serious environmental threat, as many of these products contain chemical compounds that can affect aquatic ecosystems and cause negative impacts on the aquatic environment. Wastewater from private households and many industrial and agricultural enterprises is characterized by high concentrations of ammonium and phosphates. However, nitrogen and phosphorus are also two important nutrients for plants and microorganisms, but their excess can have a negative impact on aquatic ecosystems, leading to eutrophication[443,444]. The presence of nutrients leads to the development of cyanobacteria (blue-green algae). Excessive algae growth impairs the operation of water intake structures and fisheries facilities, reduces hydraulic flow parameters, and water blooms also lead to a decrease in dissolved oxygen content, deterioration of conditions for the development of flora and fauna, and disruption of the normal functioning of natural ecosystems[445,446]. The high phosphate content in domestic wastewater is not only a pressing issue today, but has been a problem for the last decade. The average phosphate flow is

[443] J Liu, Y Feng, Y Zhang, N Liang, H Wu and F Liu, 'Allometric Releases of Nitrogen and Phosphorus from Sediments Mediated by Bacteria Determines Water Eutrophication in Coastal River Basins of Bohai Bay' (2022) 235 Ecotoxicology and Environmental Safety 113426 https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113426

[444] J Huang, C-C Xu, BG Ridoutt, X-C Wang and P-A Ren, 'Nitrogen and Phosphorus Losses and Eutrophication Potential Associated with Fertilizer Application to Cropland in China' (2017) 159 Journal of Cleaner Production 171 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.008.

[445] DS Baldwin, 'Water Quality in the Murray–Darling Basin: The Potential Impacts of Climate Change' (2021) 1 Murray-Darling Basin, Australia 137 https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818152-2.00007-3.

[446] OI Prokopchuk and VV Hrubinko, 'Fosfaty u vodnykh ekosystemakh' (2013) 3(56) Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu. Seriia: Biolohiia 78.

33.9 thousand tons per year. Using the area of Ukraine's territorial waters, it has been calculated that 1.56 thousand tons of phosphorus enter Ukraine's coastal waters annually with atmospheric precipitation[4]. By comparison, the entire territory of Lithuania is located in an area sensitive to eutrophication, which is why relatively stricter requirements for wastewater treatment are applied. Amendments to Wastewater Management Regulation No. D1-236 (2016) of the Republic of Lithuania describe the process of removing phosphorus (up to 5 mg/l) and nitrogen (up to 25 mg/l) compounds in small treatment plants. The maximum permissible concentration of ammonium nitrogen in treated wastewater discharged into the natural environment is 5 mg/l. Ammonium nitrogen, commonly referred to as nitrogen in the form of free ammonia nitrogen (NH_3) and ammonium ions (NH_4^+), is present in natural waters. Its high content is observed in wastewater, such as domestic wastewater. Typically, the pH of domestic wastewater is <9, so NH4+ is the dominant form.

Compliance with MPCs (maximum permissible concentrations) for pollutants in wastewater is crucial for the environment and human health. According to the Rules for the Acceptance of Wastewater into Centralized Wastewater Disposal Systems, approved by Order No. 316 of the Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine dated December 1, 2017, with amendments dated January 6, 2022, Appendix 4 (Section IV, paragraph 2) contains the following requirements for the composition and properties of wastewater 2017, as amended on 06.01.2022, Appendix 4 (paragraph 2 of Section IV) contains the following requirements for the composition and properties of wastewater discharged into the centralized water disposal system for its safe disposal and treatment at the treatment facilities of the centralized water disposal system (Table 1):

Table 1

Maximum permissible value of index and/or concentration in the sample[447]

Wastewater quality indicators		**Measurement unit**	**Maximum permissible value of the indicator and/or concentration in the wastewater sample**
1.	Nitrogen (total organic and ammonium nitrogen)	mg/dm^{-3}	50,0
2.	Total phosphorus (P_{tot})	mg/dm^{-3}	5,0

Measuring phosphate and ammonium levels in waterways is an important part of environmental monitoring and water resource management to prevent negative impacts on the environment. In Lviv, water bodies located or originating in the city are monitored (Fig. 1) by the Administrative and Technical Management Municipal Enterprise (information from the Lviv City Council website). The media has repeatedly reported that the results of the analyses showed exceedances of the maximum permissible concentration for the following indicators: iron, ammonia, suspended solids, COD, BOD 5, phosphates, surfactants, and nitrates[448,449].

[447] Pro zatverdzhennia Pravyl pryimannia stichnykh vod do system tsentralizovanoho vodovidvedennia ta Poriadku vyznachennia rozmiru platy, shcho spravliaietsia za ponadnormatyvni skydu stichnykh vod do system tsentralizovanoho vodovidvedennia: Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 1 hrudnia 2017 r. № 316, stanom na 23 liutoho 2024 r *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text*.

[448] 'Chym zabrudneni vodoymy Lvova. Rezultaty doslidzhennia' (Tvoie Misto – tvoie telebachennia, no date) *https://tvoemisto.tv/news/chym_zabrudneni_vodoymy_lvova_rezultaty_doslidzhennya_102225.html*.

[449] 'Rezultaty analiziv vody u vodoymakh Lvova perevyshchuiut hranichno dopustymi normy' (Lvivskyi portal, no date) *https://portal.lviv.ua/news/2017/04/10/rezultati-analiziv-vodi-u-vodoymah-lvova-perevishhuyut-granichno-dopustimi-normi*.

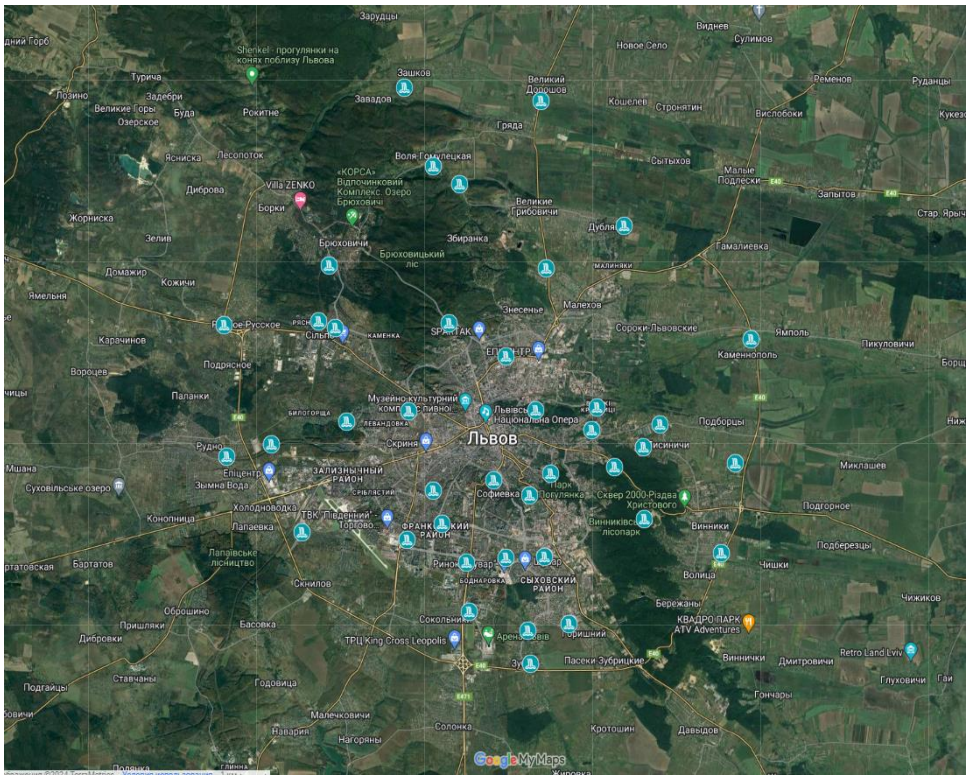


Figure 1. Water sampling points in Lviv (Google Maps)

As can be seen from the graphs based on data from the "Analysis of water from Lviv streams"[450] at sampling points (Figs. 2, 3, 4, 5) over the past 4 years, there has been a significant increase in the number of cases where the maximum permissible concentrations for phosphates and ammonia have been exceeded. This trend could have serious consequences for water resources and ecosystem health, requiring immediate action to prevent further deterioration of the situation.

In this context, installing systems for the post-treatment of household wastewater to remove eutrophicating agents is becoming an extremely important measure. These systems can effectively remove phosphates, ammonia, and other pollutants from wastewater, preventing them from entering water bodies and helping to preserve the ecological balance.

The installation of such systems will help reduce pressure on water resources, improve water quality for humans and animals, and preserve the biodiversity of aquatic ecosystems. In addition, it will raise public awareness of the importance of environmentally friendly practices in the use of water resources and ensure the health and well-being of local communities.

In general, the installation of tertiary wastewater treatment systems for households to remove eutrophicating agents is a step towards preserving the environment, ensuring ecological stability, and protecting the health of people and nature.

[450] 'Analiz vody lvivskykh potokiv (z 2008)' (Google Docs, no date) *https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Si8xp5YFHfgBTRRafizeWsi69zwiukxOL1epHGmf-TY/edit#gid=1379203732*.

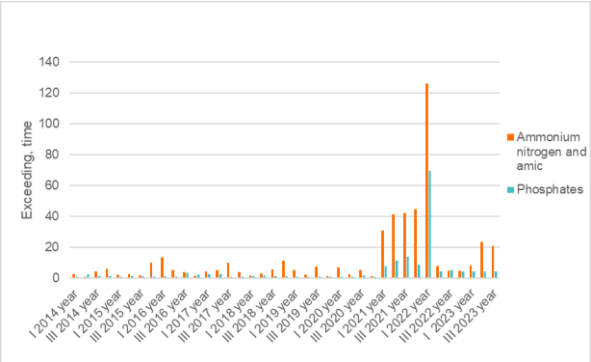


Figure 2. Sampling point 'Vodyanui' (coordinates: 49.810116, 23.930060)[8]

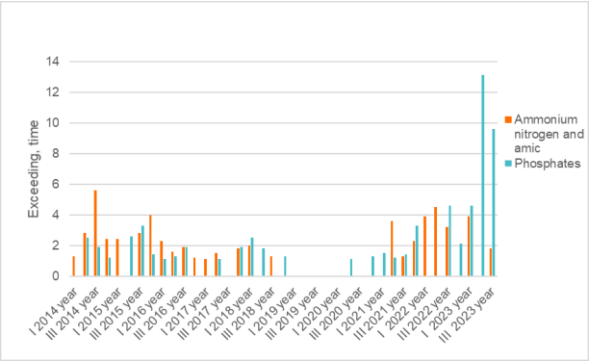


Figure 3. Sampling point 'the Zubra River' (coordinates: 49.794250, 24.040694)[8]

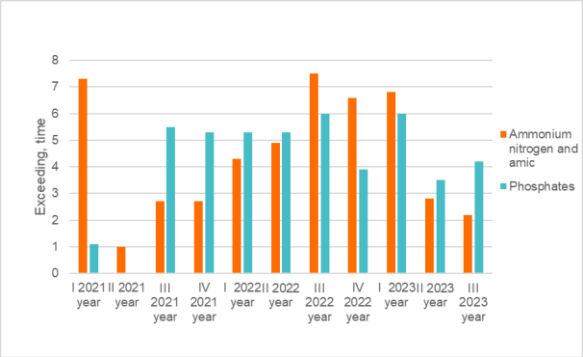


Figure 4. Sampling point 'Stream in the village of Mali Hrybovychi' (coordinates: 49.912313, 24.017428)[8]

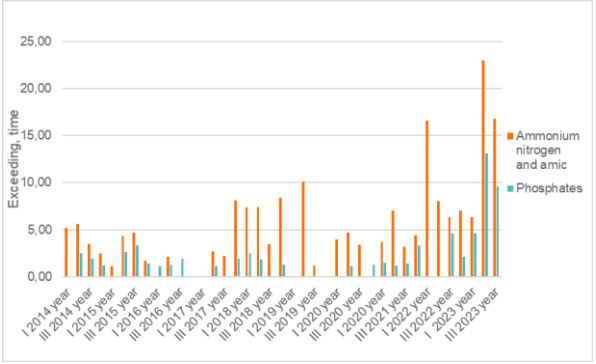


Figure 5. Sampling point 'Lysynichi' (coordinates: 49.843719, 24.117364)[8]

Thus, effective removal of phosphorus and nitrogen from wastewater is a key strategy in controlling eutrophication. The final stage of the technological processes should be post-treatment by adsorption[451].

Landfill fires and the mismanagement of hazardous waste in urban areas represent critical threats to chemical and biological safety, frequently leading to the contamination of water resources with toxic compounds. Under these conditions, deploying mobile filtration systems based on natural mineral sorbents offers an effective and adaptable solution for emergency water treatment[452,453,454].

CHARACTERISTICS OF EUTROPHICATING AGENTS

Excessive nutrient inputs into water bodies lead to eutrophication — toxic algae blooms, fish kills, and deterioration of drinking water quality[455]. This is a widespread problem in water bodies around the world, caused, in particular, by the irrational discharge of industrial and agricultural waste[456,457].

[451] K Stepova, I Fediv, A Mažeikienė, J Šarko and J Mažeika, 'Adsorption of Ammonium Ions and Phosphates on Natural and Modified Clinoptilolite: Isotherm and Breakthrough Curve Measurements' (2023) 15(10) Water 1933 https://doi.org/10.3390/w15101933.

[452] VV Popovych and VP Kucheriavyi, 'Vplyv produktiv horinnia polihoniv tverdykh pobutovykh vidhodiv na orhanizm liudyny ta biotu' (2012) 20 Pozhezhna bezpeka: zbirnyk naukovykh prats 60.

[453] VV Popovych, AI Buchkovskyi and NP Popovych, 'Lohistychna systema transportuvannia nebezpechnykh vidhodiv v umovakh mista' (2013) 8 Visnyk LDUBZhD: zbirnyk naukovykh prats 166.

[454] VP Kucheriavyi and VV Popovych, 'Polihony tverdykh pobutovykh vidhodiv Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy ta problemy yikh fitomelioratsii' (2012) 22.2 Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy: zbirnyk naukovo-tekhnichnykh prats 56.

[455] JY Huang, NR Kankanamge, C Chow, DT Welsh, TL Li and PR Teasdale, 'Removing Ammonium from Water and Wastewater Using Cost-Effective Adsorbents: A Review' (2018) 63 Journal of Environmental Sciences 174 https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.09.009.

[456] AR Ravishankara, JS Daniel and RW Portmann, 'Nitrous Oxide (N_2O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century' (2009) 326(5949) Science 123 https://doi.org/10.1126/science.1176985.

[457] E Stokstad, 'Air Pollution: Ammonia Pollution from Farming May Exact Hefty Health Costs' (2014) 343(6168) Science 238 https://doi.org/10.1126/science.343.6168.238.

Among nitrogen-containing substances, ammonium (NH_4^+) is the most common in wastewater, coming from both natural and anthropogenic sources[458]. Ammonium is toxic to fish even in low concentrations[459], and its transformation products — nitrates and nitrites — can cause methemoglobinemia in humans. Some of the ammonium evaporates in the form of ammonia (NH_3), which even in low doses (50–100 ppm) causes irritation to the eyes, skin, and respiratory tract[460,461]. In combination with SO_x and NO_x, ammonia forms secondary aerosols[12]. More than 200 million tons of NH_3/NH_4^+ are emitted annually[462], the main sources of which are fertilizer production, livestock farming, aquaculture, and industry. For example, about 60% of the nitrogen from the diets of animals on feedlots is lost in the form of ammonia[463].

As for phosphates, they are also an important nutrient, but their excess in water (above the MPC) causes environmental disturbances. The main sources of phosphorus are detergents (50–70%), human activity (30–50%), and industry (2–20%). Due to their impact on algae, the EU banned phosphate detergents in 2013[464].

Orthophosphate (>50%) is the most common form of phosphorus in water, while polyphosphate and organic phosphorus are found in smaller quantities. Traditionally, precipitation or biological treatment methods have been used to remove phosphates, but these have their drawbacks: instability, formation of harmful sediments, or high cost[18]. In this context, adsorption is gaining increasing attention as a simple, effective, and affordable technology that is being actively researched using inexpensive natural materials.

CHARACTERISTICS OF NATURAL SORBENTS

Clinoptilolite

Clinoptilolite is a natural volcanogenic-sedimentary mineral of the zeolite group with pronounced ion exchange, adsorption, and catalytic properties[465]. It belongs to the HEU (gelandite) group with a two-dimensional crystal structure[466], built from $[SiO_4]^{4-}$ and $[AlO_4]^{5-}$ tetrahedra with the inclusion of exchangeable cations[467].

One of the largest deposits in Europe is located near the village of Sokyrnytsia (Zakarpattia) region, which makes clinoptilolite an accessible material for wastewater treatment, especially from ammonium. To effectively remove phosphates, clinoptilolite is modified with Fe, Ca, or Cu cations, which ensure the sorption of negatively charged ions[468].

Ion exchange in zeolites occurs through the replacement of cations (Na^+, K^+, Ca^{2+}, etc.) from the solution. It depends on the pH, temperature, hydration capacity, and nature of the cations, as well as the

[458] VV Karabyn and YuM Rak, 'Khimichnyi sklad atmosfernykh opadiv v okolytsiakh m. Boryslava' (2016) 26 Zbirnyk naukovykh prats Instytutu heokhimii navkolyshnoho seredovyshcha 41.
[459] R Boopathy, S Karthikeyan, AB Mandal and G Sekaran, 'Adsorption of Ammonium Ion by Coconut Shell-Activated Carbon from Aqueous Solution: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Studies' (2013) 20(1) Environmental Science and Pollution Research 533 https://doi.org/10.1007/s11356-012-0911-3.
[460] MJ Katz, AJ Howarth, PZ Moghadam, JB DeCoste, RQ Snurr, JT Hupp and OK Farha, 'High Volumetric Uptake of Ammonia Using Cu-MOF-74/Cu-CPO-27' (2016) 45(10) Dalton Transactions 4150 https://doi.org/10.1039/C5DT03436A.
[461] MJ Katz and DB Leznoff, 'Highly Birefringent Cyanoaurate Coordination Polymers: The Effect of Polarizable C–X Bonds (X = Cl, Br)' (2009) 131(51) Journal of the American Chemical Society 18435 https://doi.org/10.1021/ja907519c.
[462] Y Khabzina and D Farrusseng, 'Unravelling Ammonia Adsorption Mechanisms of Adsorbents in Humid Conditions' (2018) 265 Microporous and Mesoporous Materials 143 https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.02.011.
[463] DL Chen, JL Sun, M Bai, KB Dassanayake, OT Denmead and J Hill, 'A New Cost-Effective Method to Mitigate Ammonia Loss from Intensive Cattle Feedlots: Application of Lignite' (2015) 5 Scientific Reports 16689 https://doi.org/10.1038/srep16689.
[464] RR Karri, JN Sahu and V Chimmiri, 'Critical Review of Abatement of Ammonia from Wastewater' (2018) 261 Journal of Molecular Liquids 21 https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.03.120.
[465] T Armbruster, 'Clinoptilotite-Heulandite: Applications and Basic Research' (2001) 135 Studies in Surface Science and Catalysis 13 https://doi.org/10.1016/S0167-2991(01)81183-6.
[466] WJ Roth, P Nachtigall, RE Morris and J Cejka, 'Two-Dimensional Zeolites: Current Status and Perspectives' (2014) 114 Chemical Reviews 4807 https://doi.org/10.1021/cr400600f.
[467] G Gottardi and E Galli, Natural Zeolites (Springer-Verlag 1985).
[468] OE Senderov and NI Khitarov, Tseolity, ikh sintez i usloviia obrazovaniia v prirode (Nauka 1970).

conditions of zeolite formation[469]. These properties determine the high selectivity, mobility, and efficiency of ion exchange even at room temperature. By changing the cations in the structure, it is possible to regulate thermal stability, sorption capacity, and catalysis.

Glauconite

Glauconite is a clay mineral with high sorption capacity for phosphates and heavy metals, used for water and soil purification[470]. Its formation is associated with marine transgressions, and its morphology varies from fecal granules to aggregates. It is also used in geochronology (K–Ar method).

Despite its lack of industrial value, glauconite has potential as an adsorbent for phosphates, with a surface area of 55 m^2/g, porosity of 0.032 cm^3/g, and pore radius of 1.99 nm[471]. Effective purification is achieved in just 1 minute at pH ~11. However, in its natural form, the mineral is prone to clogging filters. The solution is granulation, which increases strength, filter life, and preserves sorption capacity[472].

Further studies have shown that composite granulated sorbents with the addition of sunflower husks increase the purification efficiency to 78%[473]. Such sorbents are cheap, effective, and suitable for recycling. The use of glauconite in backfill filters opens up prospects for its reuse as a fertilizer together with clinoptilolite[474].

ADSORPTION OF EFTROPHIC AGENTS ON NATURAL SORBENTS

The adsorption of phosphate ions (PO_4^{3-}) on natural and modified clinoptilolites is best fitted by the Langmuir-Freundlich isotherm. For ammonium ions (NH_4^+), this model is also most suitable in the case of natural, Fe-modified, and microwave-irradiated samples. However, for thermally treated and Cu-modified samples, the Freundlich model shows a better fit.

The highest capacity for NH_4^+ was shown by the Fe-modified (4.375 mg/g) and thermally activated samples (2.879 mg/g). With regard to phosphates, metal-modified samples significantly exceed the natural sorbent: from 800.62 mg/g (Cu) to 813.14 mg/g (Fe), while for natural — 280.86 mg/g, and for calcined — 713.568 mg/g. Thus, clinoptilolite acts as an ion exchanger for NH_4^+ and an adsorbent for PO_4^{3-}.

For glauconite, the adsorption of both PO_4^{3-} and NH_4^+ is best described by the Langmuir-Freundlich model. The nature of the PO_4^{3-} isotherm indicates the presence of a microporous structure that promotes phosphate retention. In contrast, the NH_4^+ isotherm indicates the formation of a multimolecular layer on the outer non-porous surface, which indicates surface sorption of ammonium.

Thermo-treated glauconite had the lowest efficiency for phosphates (1.78 mg/g), but demonstrated a high capacity for ammonium (20.66 mg/g). Optimization of sorption properties is achieved through irradiation or metal modification: for NH_4^+ — 4.36 mg/g (irradiated), 3.67 mg/g (Fe), 4.11 mg/g (Cu); for PO_4^{3-} — 143.1 mg/g in a sample modified with iron salts[475,476].

---

[469] R Navarrete-Casas, A Navarrete-Guijosa, C Valenzuela-Calahorro, JD Lopez-Gonzalez and A Garcia-Rodriguez, 'Study of Lithium Ion Exchange by Two Synthetic Zeolites: Kinetics and Equilibrium' (2007) 306 Journal of Colloid and Interface Science 345 https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.10.002.

[470] SG McRae, 'Glauconite' (1972) 8(4) Earth-Science Reviews 397 https://doi.org/10.1016/0012-8252(72)90063-3.

[471] H Younes, H Mahanna and Kh H El-Etriby, 'Fast Adsorption of Phosphate (PO_4) from Wastewater Using Glauconite' (2019) 80(9) Water Science & Technology 1643 https://doi.org/10.2166/wst.2019.410.

[472] AS Kutergin, TA Nedobukh and IN Kutergina, 'Sorption Treatment of Surface Waters from Heavy Metals by Natural and Granulated Glauconite' (2019) 2313(1) AIP Conference Proceedings 050018 https://doi.org/10.1063/5.0032242.

[473] L Bezdeneznych, O Kharlamova, V Shmandiy and T Rigas, 'Research of Adsorption Properties of Glauconite-Based Composite Adsorbents' (2020) 21(6) Journal of Ecological Engineering https://doi.org/10.12911/22998993/123245.

[474] E Dasi, M Rudmin and S Banerjee, 'Glauconite Applications in Agriculture: A Review of Recent Advances' (2024) 253 Applied Clay Science 107368 https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.107368.

[475] K Stepova, I Fediv, A Mažeikienė, V Kordan and D Paliulis, 'Removal of Eutrophication Agents from Wastewater Using Glauconite-Based Sorbents' (2024) 317 Desalination and Water Treatment 100181 https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100181.

[476] K Stepova, I Fediv, A Mažeikienė, J Šarko and J Mažeika, 'Adsorption of Ammonium Ions and Phosphates on Natural and Modified Clinoptilolite: Isotherm and Breakthrough Curve Measurements' (2023) 15(10) Water 1933 https://doi.org/10.3390/w15101933.

INFLUENCE OF pH ON THE SORPTION PROCESS AND DETERMINATION OF THE ZERO CHARGE POINT

Figures 6 and 7 show the dependence of pH change in solutions upon contact with the studied samples on the initial pH value. The figure shows that the point of zero charge for copper-modified samples is at a pH of 3.5-4, and for iron-modified samples, it is at a pH of 6. When considering natural and thermally modified samples, the point of zero charge is at a pH of 8-8.4. From these data, it can be concluded that thermal modification of natural minerals leads to a shift of the zero charge point to a higher pH range, namely to values of 8-8.4. This means that modified samples have a more amphoteric nature, i.e., they can adsorb both cations and anions from solution in a wider pH range compared to natural samples. Such a shift can be useful for improving the adsorption properties of modified minerals in a wide range of environmental conditions, which may be important for their application in wastewater treatment in different areas with different pH characteristics.

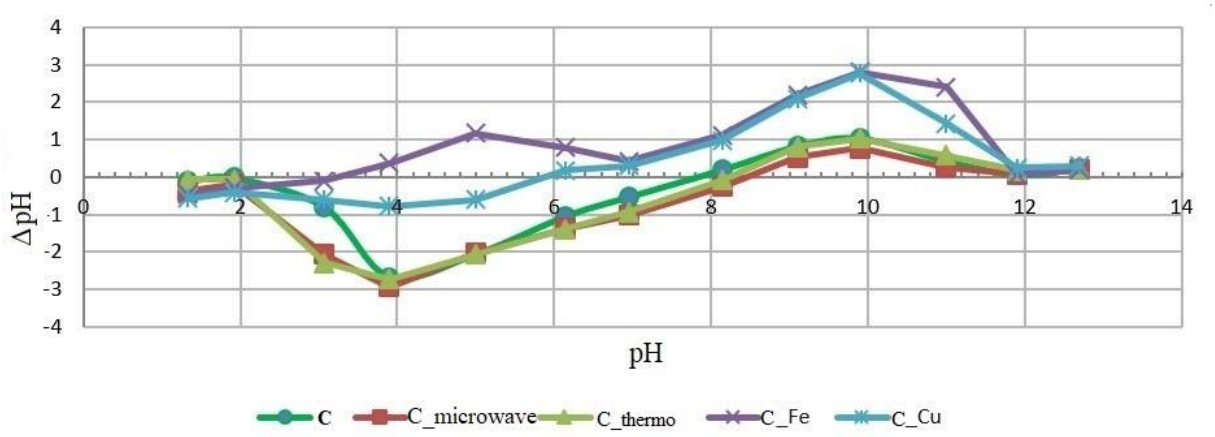


Figure 6. Diagram showing the determination of the point of zero charge for clinoptilolite samples

The low pH range (3.5-4 for copper and 6 for iron) for the modified samples may indicate that their surface becomes acidic when reacting with water. This means that in this pH range, they are effective for adsorbing cations from solution, as there will be more active positively charged groups on their surface. Such conditions may be useful for removing various cationic contaminants from water solution using modified minerals.

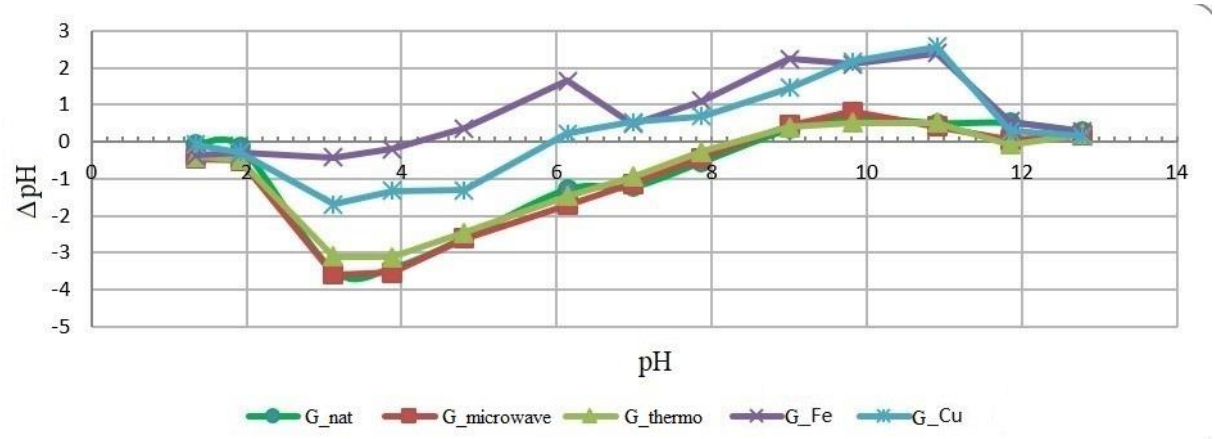


Figure 7. Diagram showing the point of zero charge for glauconite samples

Figure 8 shows that the adsorption efficiency of phosphate in a strongly acidic environment (pH = 2) is lowest for the natural glauconite sample. In contrast, Fe-modified glauconite shows an absorption efficiency of 15-23% across the entire pH range. The thermally modified sample also proved to be quite effective, almost at the level of natural glauconite, with the special property of greater absorption capacity at low pH values. The Cu-modified sample has the lowest efficiency.

During phosphate absorption, there is a significant difference in absorption capacity between clinoptilolite and glauconite (Fig. 9).

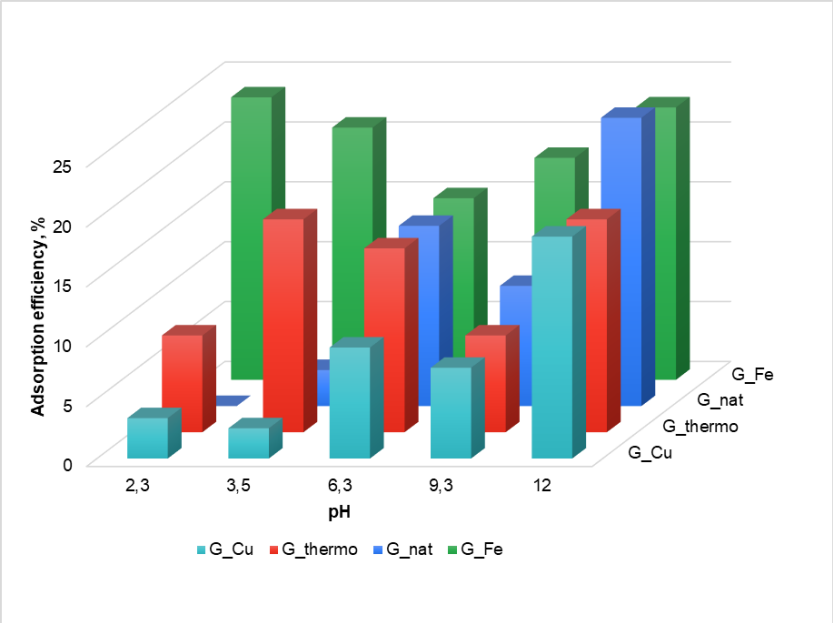


Figure 8. Graph showing the dependence of PO_4^{3-} adsorption efficiency on the initial pH of glauconite

The Cu-modified sample demonstrates the highest efficiency, which is 15%. At high pH, the absorption efficiency of Fe-modified clinoptilolite decreases compared to the natural sample, while heat treatment reduces the efficiency of clinoptilolite at pH = 2.

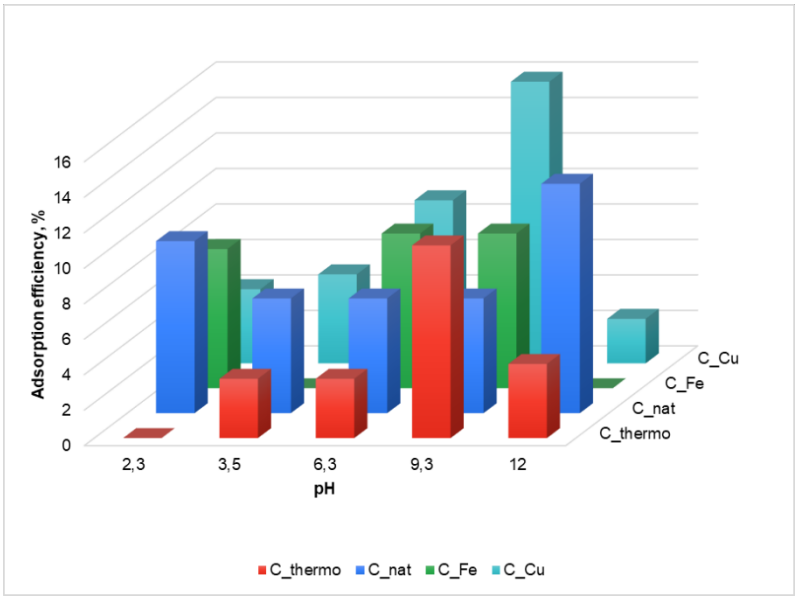


Figure 9. Diagram of dependence of PO_4^{3-} adsorption efficiency on the initial pH on clinoptilolite

Figure 10 shows that thermally treated and metal-modified clinoptilolite significantly reduces sorption efficiency at pH values between 2 and 9, while absorption efficiency at pH 12 increases compared to the natural sample. The highest absorption efficiency is 94% in the heat-treated sample. This may be due to changes in the structure and chemical properties of the material during heat treatment, as well as the effect of metal modifications on its sorption properties in different pH environments.

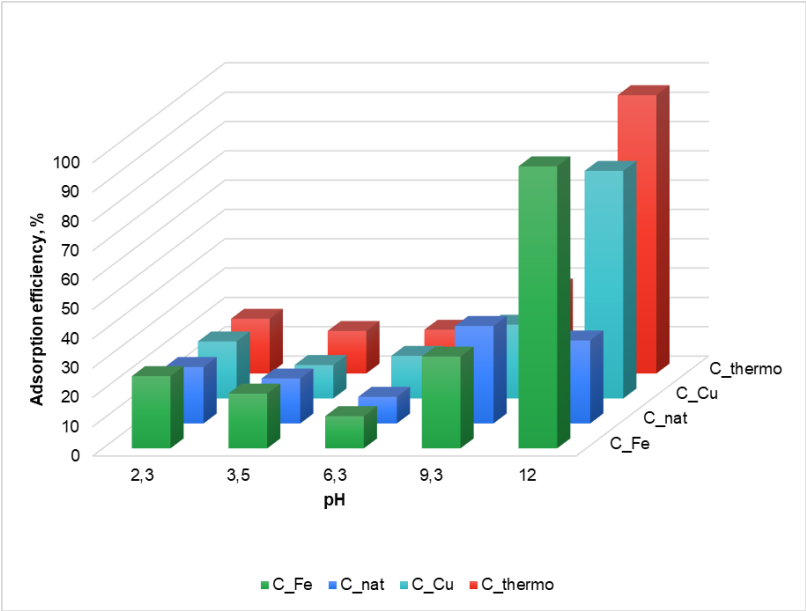


Figure 10. Diagram of dependence of NH_4^+ adsorption efficiency on the initial pH on clinoptilolite

In Figure 11, we can see that modification has a positive effect on NH_4^+ sorption in the pH range from 2.3 to 9.3, and at pH 12, all modified samples show 2 or more times the sorption efficiency on clinoptilolite.

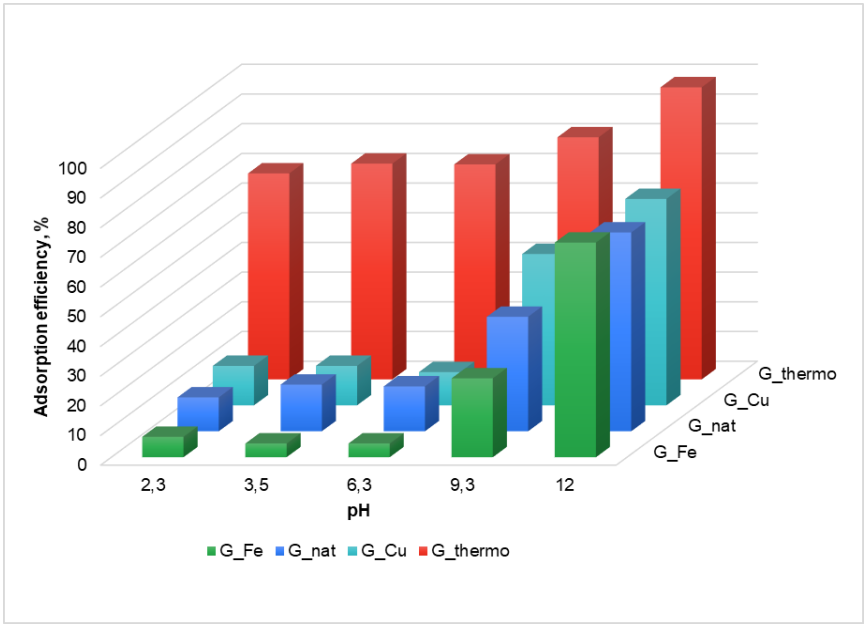


Figure 11. Diagram of dependence of NH_4^+ adsorption efficiency on the initial pH on glauconite

The glauconite samples (Fig. 3.14) show that thermal modification has a positive effect on sorption across the entire pH range, while metal-modified samples have a slight but noticeable increase in ammonium absorption efficiency.

ADSORPTION FROM REAL WASTEWATER SOLUTIONS ON THE TEST SAMPLES

The wastewater from the catering complex was collected upstream of the settling tank to test the sorbents in real conditions, and studies were conducted under static conditions to determine the maximum sorption capacity. The initial concentration of ammonium was 14.05 mg/L and that of phosphates was 49.75 mg/L. One gram of the sample was added to a 250 ml flask and filled with 100 ml of wastewater. As can be seen in Figures 4.6 and 4.7, the samples studied can be arranged in the following order depending on their maximum sorption capacity in relation to phosphates: copper-modified glauconite (3.45 mg/g) > heat-treated glauconite (1.79 mg/g) > natural glauconite (1.31 mg/g) > copper-modified clinoptilolite (1.24 mg/g). All clinoptilolite samples, except for copper-modified, did not absorb phosphates from wastewater, so it can be assumed that during sorption, organic substances can block the active centers of clinoptilolite, which reduces its ability to adsorb phosphates. Other ions (e.g., nitrates, sulfates, chlorides) may also be present in wastewater, competing with phosphates for active sites on the surface of clinoptilolite.

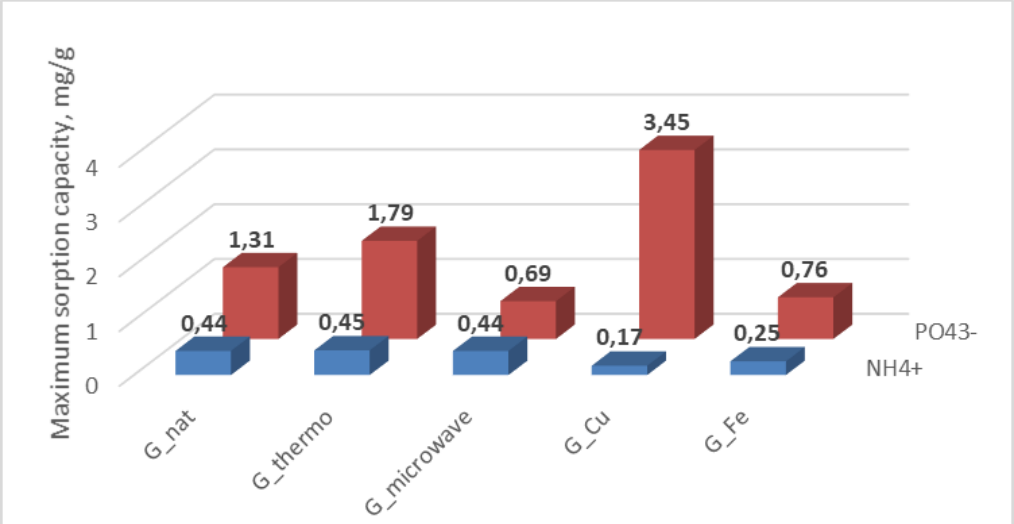
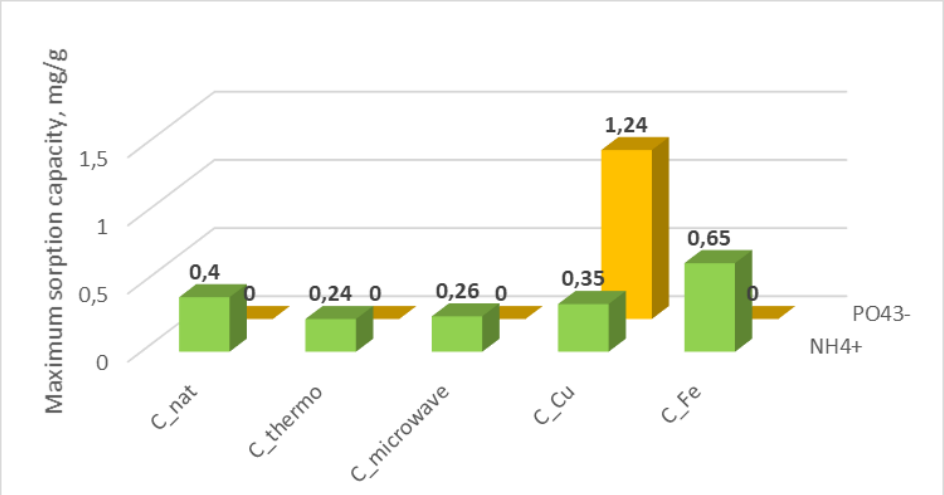


Figure 12. Sorption capacity of glauconite from real wastewater

Based on the results of experiments on the purification of real wastewater, presented in Figures 12 and 13, it was determined that the maximum sorption capacity of samples for ammonium can be arranged in the following order: Fe-modified clinoptilolite (0.65 mg/g) > thermally modified glauconite (0.45 mg/g) > natural glauconite (0.44 mg/g), irradiated glauconite (0.44 mg/g) > natural clinoptilolite (0.4 mg/g) > Cu-modified clinoptilolite (0.35 mg/g). It is obvious that thermal treatment and irradiation reduce the sorption capacity of clinoptilolite with respect to NH_4^+, but do not affect the sorption properties of glauconite. On the other hand, modification with metals leads to a decrease in the sorption capacity of glauconite with respect to ammonium (Fe-modified 0.24 mg/g; Cu-modified 0.17 mg/g). Therefore, in the case of NH_4^+ absorption, it is not advisable to modify natural glauconite, but the introduction of iron (III) ions into the clinoptilolite structure significantly improves its sorption properties with respect to ammonium.



Fugure 13. Sorption capacity of clinoptilolite from real wastewater

For comprehensive treatment of domestic wastewater from this particular catering establishment, we can offer a filter filled with copper-modified clinoptilolite, which has demonstrated the highest adsorption capacity for eutrophicating agents when they are present together, for use in a wastewater post-treatment system.

CONCLUSIONS

The results of the research confirm the relevance of the problem of excessive content of eutrophicating agents, in particular ammonium and phosphates, in wastewater, especially in conditions of environmental stress caused by military operations. The destruction of infrastructure, population displacement, and limited access to centralized water treatment systems all underscore the need to develop portable, autonomous post-treatment systems that can be used in the field for the needs of the military, rescuers, or residents of crisis areas.

The research revealed that natural sorbents — clinoptilolite and glauconite — are highly effective in removing ammonium ions and phosphates from wastewater. In particular, clinoptilolite modified with iron and copper showed high sorption capacity for PO_4^{3-}, while ammonium was better absorbed by natural or thermally activated clinoptilolite. Glauconite showed stable efficiency for phosphates without additional treatment, and thermal modification increased its ability to absorb NH_4^+.

The Langmuir-Freundlich model was used to characterize the sorption mechanisms in detail and determine the best conditions for the sorbents to work. Experiments with real wastewater showed that in complex multicomponent environments, the active centers of clinoptilolite can be blocked by organic substances or competitive ions. However, copper-modified clinoptilolite retains high efficiency for both types of pollutants, making it a promising material for dual-action filter cartridges.

These results suggest that glauconite and clinoptilolite, especially in modified or granulated form, are a good choice for making mobile filtration systems. Such systems can be implemented in the form of portable filters for purifying domestic or technical water in field conditions — at temporary bases, military accommodation points, mobile medical units, etc.

Thus, natural mineral sorbents are not only an environmentally safe and economically viable option, but also a strategic tool for ensuring water security in times of war, humanitarian crises, or emergencies. Further research should focus on studying the service life and regeneration of sorbents and their implementation in compact filtration modules for tactical and civilian use.

LANDFILLS AS SOURCES OF ENVIRONMENTAL AND BIOLOGICAL RISK

СМІТТЄЗВАЛИЩА ЯК ДЖЕРЕЛА ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Kateryna KOROL, research fellow at the scientific research laboratory of environmental safety, educational and scientific institute of civil protection, Lviv State University of Life Safety, e-mail: katikincheshi@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4363-6933

Taras BOYKO, vice-rector for strategic planning and control, Lviv State University of Life Safety, e-mail: T.Boyko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0882-2637

Yevhen KOBKO, Doctor of Law, Professor, Professor of the Department of Administrative and Legal Disciplines of the Educational and Scientific Institute of Law and Psychology, National Academy of Internal Affairs, Kyiv, Ukraine, e-mail: evgeniykobko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3121-0823

Olesya NITSEVYCH, Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of Administrative and Legal Disciplines of the Educational and Scientific Institute of Law and Psychology, National Academy of Internal Affairs, Kyiv, Ukraine, e-mail: olesia.ovn@gmail.com, ORCID: 0009-0004-2346-6812

Dmytro FREIUK, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Ukraine, e-mail: frejukdima@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7076-3431

Valentyna LISOVSKA, research associate at the department of postgraduate (adjunct) and doctoral studies, Lviv State University of Internal Affairs e-mail: aspirnltu@gmail.com, ORCID**:** 0009-0006-5864-8004

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.13

Abstract. The study investigates landfills in the Lviv region as critical sources of environmental and biological hazards, particularly under wartime conditions. A comprehensive methodological framework was applied, combining field surveys, laboratory analyses, phytotesting, and GIS-based spatial modeling. Soil samples collected from three major landfills—Bronytsia, Boryslav, and Stryi—revealed excessive concentrations of heavy metals (Pb, Zn, Cd, Cu), high mineralization, and elevated levels of nitrogen and phosphorus compounds. Bioindication tests using Lepidium sativum L. demonstrated significant phytotoxicity, reduced germination rates, and disrupted pigment synthesis. The phytoremediation efficiency coefficient (KFM) was calculated to assess the adaptability of local vegetation under toxic load. Spatial visualization via heatmaps confirmed the formation of contamination cores within the landfill zones. The research highlights the pressing need for ecotechnological reclamation measures and offers a scientific foundation for further bioremediation strategies.

Keywords: environmental safety, municipal solid waste landfills, phytotoxicity, phytoremediation, bioindication, heavy metals, degraded soils, wartime environmental risk, GIS-based modeling, environmental monitoring, land reclamation, technogenic pressure, adaptive ecotechnologies, phytomelioration efficiency.

Анотація. Дослідження присвячене аналізу полігонів твердих побутових відходів Львівської області як критичних джерел екологічної та біологічної небезпеки, особливо в умовах воєнного стану. Застосовано комплексний методологічний підхід, що поєднує польові обстеження, лабораторні аналізи, фітотестування та просторове моделювання на основі ГІС. Зразки ґрунтів, відібрані на трьох основних полігонах — у Броницях, Бориславі та Стрию — виявили надмірний вміст важких металів (Pb, Zn, Cd, Cu), високу мінералізацію та підвищені концентрації сполук азоту й фосфору. Біоіндикаційні тести із застосуванням Lepidium sativum L. засвідчили виражену фітотоксичність, зниження відсотка проростання та порушення синтезу пігментів. Для оцінки

адаптивності місцевої рослинності до токсичного навантаження було розраховано коефіцієнт фіторемедіаційної ефективності (КФМ). Просторова візуалізація за допомогою теплокарт підтвердила формування осередків забруднення в межах полігонів. Отримані результати підкреслюють нагальну потребу в екотехнологічній рекультивації та становлять наукову основу для подальшого розвитку стратегій біоремедіації.

Ключові слова: екологічна безпека, полігони твердих побутових відходів, фітотоксичність, фіторемедіація, біоіндикація, важкі метали, деградовані ґрунти, воєнні екологічні ризики, GIS-моделювання, моніторинг довкілля, рекультивація, техногенне навантаження, адаптивні екотехнології, фітомеліоративна ефективність.

INTRODUCTION

Modern environmental challenges are increasingly systemic and multifaceted, encompassing not only localized degradation but also large-scale threats to the biosphere, ecosystem functioning, and human health. One of the persistent sources of chemical, biological, and landscape-related hazards are municipal solid waste (MSW) landfills—particularly those located near ecologically sensitive or recreationally valuable areas. In such zones, uncontrolled waste accumulation and burial form prolonged hotspots of technogenic pressure, marked by secondary contamination of soils, groundwater, and the atmosphere through the migration of heavy metals, organic pollutants, pathogenic microorganisms, and landfill leachate.[477]

Even prior to the war, the landfill issue in Ukraine was critical: over 600 MSW sites operated in violation of environmental regulations, lacking proper containment, reclamation, or systematic monitoring. With the onset of the full-scale Russian invasion, this issue has escalated dramatically. Damage to critical infrastructure, increased volumes of mixed waste, population displacement, intensified anthropogenic pressure, and redirection of national resources to humanitarian and defense efforts have resulted in widespread ecological destabilization and the virtual collapse of oversight over landfill sites. These effects are particularly acute in protected natural regions, where ecosystem health is vital for biodiversity conservation, sustainable tourism, and local socio-economic resilience.[478]

Lviv Oblast, a major tourist destination in western Ukraine, combines high recreational value with notable technogenic burdens. Several active landfills operate in the region—including the Bronytsia, Boryslav, and Stryi sites—none of which are equipped with adequate infrastructure to prevent environmental contamination. The absence of lining systems, gas collection, treatment facilities, and modern monitoring tools has rendered these landfills chronic sources of environmental risk. In wartime, these threats are compounded by increased pollutant mobility, phytocoenosis disruption, groundwater contamination, and public health hazards.[479][480]

Amid climate instability and progressive soil degradation, these risks demand ecologically viable and innovative solutions. Scientifically validated methods—bioindication, phytoremediation, and eco-diagnostic tools—offer promising avenues for assessing technogenic pressure, substrate phytotoxicity, the impact of chemical agents on biota, and the phytomeliorative capacity of local vegetation. These approaches provide a foundation for designing context-specific reclamation scenarios and adapting waste management strategies to crisis conditions.

[477] Podlasek, A., Vaverková, M. D., Jakimiuk, A., & Koda, E. (2024). Potentially toxic elements (PTEs) and ecological risk at waste disposal sites: An analysis of sanitary landfills. *PLOS ONE, 19. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303272*

[478] Kasassi, A., Rakimbei, P., Karagiannidis, A., Zabaniotou, A., Tsiouvaras, K., Nastis, A., & Tzafeiropoulou, K. (2008). Soil contamination by heavy metals: Measurements from a closed unlined landfill. Bioresource Technology, 99, 8578–8584. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.010

[479] Popovych, V., Petrushka, I., Stepova, K., Korol, K., & Popovych, N. (2021). Solid waste management as part of sustainable development of Lviv (Ukraine). Ecological Engineering & Environmental Technology, 22(5), 12-17. https://doi.org/10.12912/27197050/139785

[480] Popovich, V.V. (2017). Efficiency of the Dusk-Carts Operation in the Environment of City-Landfill. Bulletin of National Forest Engineering University of Ukraine (NFEUU), 27(10).

This chapter presents the outcomes of long-term (2018–2023) ecological field studies conducted at three major landfills in the Lviv region. It outlines an integrated monitoring approach combining physicochemical soil analyses, bioindication testing, spatial pollution mapping, assessments of phytotoxicity, hydrothermal regimes, and phytomeliorative effectiveness. Special attention is devoted to the war as a multiplying factor of environmental degradation.[481]

The findings not only confirm the presence of critical ecological hazards at the study sites but also establish a knowledge base for implementing sustainable, adaptive landscape rehabilitation strategies. The proposed methodology has interdisciplinary relevance and can be embedded into environmental management frameworks in high-pressure regions—an especially urgent need during Ukraine's post-war recovery phase.

METHODOLOGY

The methodological framework of the study was based on a multi-level integration of fieldwork, laboratory analysis, modeling approaches, and geoinformation techniques, aimed at a comprehensive assessment of municipal solid waste (MSW) landfills as sources of chemical and biological hazards during wartime. Special emphasis was placed on the dynamics of pollution across the regional scale of the tourist-recreational belt of Lviv Oblast, where landfills are located in close proximity to protected natural zones, water sources, and residential areas.[482]

Three representative MSW landfills—Bronytsia, Boryslav, and Stryi—were selected as key objects of investigation. The selection was based not only on their geographical location near sensitive landscapes but also on the considerable volume of waste accumulation, the duration of landfill operation, and the lack of systemic environmental monitoring. Sampling grids were established on each landfill with five directional points (center, north, south, east, west), allowing the study to account for both spatial differentiation and local geomorphological and hydrological conditions. Fieldwork was conducted over a five-year period (2018–2023), covering spring and autumn moisture regimes, thereby enabling seasonal analysis of anthropogenic impact. Geolocation of sampling points was performed using GPS technology, and all sample records were digitized for further geospatial visualization in GIS environments.[483][484]

Soil samples were collected at three depths—surface (0–5 cm), intermediate (5–10 cm), and deeper layers (10–15 cm)—to observe vertical pollution gradients and evaluate the penetration of pollutants into the root zone. Vegetative samples collected from each plot were used to assess pigment composition, viability, photosynthetic capacity, and biomass, as well as to detect morphological signs of stress. The collection was synchronized with the vegetation phase, prioritizing pollutant-sensitive species such as Lolium perenne, Poa pratensis, and Plantago major. Samples were transported in perforated bags, air-dried in chambers at +40 °C to constant weight, ground, and prepared for further analysis.[485]

In the laboratory, a range of physicochemical tests was carried out. Soil pH was measured potentiometrically (1:2.5), mineralization was evaluated by conductometry, and organic matter was determined using the Tyurin method modified by Miklashevsky. Heavy metals (Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Ni,

[481] Popovich, V.V., Buchkovskyi, A.I., Popovich, N.P. (2013). Logistic System of Transporting Hazardous Waste in Urban Conditions. Bulletin of Lviv State University of Life Safety, 166-171.
[482] Popovych, V., & Korol, K. (2020). Evaluation of phytotoxicity in urban landfill soils by bioindication methods. Ecological Safety and Environmental Protection.
[483] Popovich, V.V., Kucheryavyi, V.P. (2012). Burning of Municipal Solid Waste Landfills as a Threat to Human Health and a Factor of Technogenic Load on the Environment. Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian University, 162-166.
[484] Popovich, V.V. (2017). Ecological-Technogenic Hazard of Landfills and Scientific Bases of Phytoremediation Measures for Their Decommissioning. Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aviation University.
[485] Popovich, V.V. (2012). Landfills of Municipal Solid Waste in Developed Quarries, Pits, Trenches and Features of Their Phytoremediation. Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine, 22(11), 119-128

Cd, Cr) were quantified via atomic absorption spectrophotometry after acid digestion. Mineral nitrogen forms (NO_3^-, NH_4^+), phosphates, and sulfates were assessed photometrically and colorimetrically. Petroleum product residues were identified using infrared spectroscopy following hexane extraction. All measurements were conducted in triplicate, using variation statistics to ensure the representativeness of results and to uncover spatial and profile patterns of contamination.[486]

Bioindication involved germination tests of Lepidium sativum L. seeds on collected substrates under controlled conditions. Observed parameters included germination rate, shoot and root length, and visible morphological anomalies. Growth index (RI) and growth inhibition coefficient (GI) were calculated to estimate phytotoxicity levels. RI values below 80% indicated moderate toxicity, and values below 50% pointed to strong substrate toxicity. Morphological deviations included chlorosis, dwarfism, and necrosis, confirming developmental disruption due to anthropogenic stress. Pigment composition analyses further revealed the extent of photosynthetic dysfunction, and findings were compared with background samples.[487]

Vegetative cover condition was assessed through biomass morphometry, assimilation surface measurements (using the West–Rabkin method), and spectrophotometric analysis of chlorophyll a, b, and carotenoids at wavelengths of 440, 645, and 663 nm. The phytomeliorative efficiency coefficient (KFM) was computed as the ratio of dry biomass to total heavy metal concentration in the soil, enabling prioritization of potential phytoremediator species. Decreases in pigment content were interpreted as stress responses that impair plant photosynthetic capacity and metabolic balance.[488]

Spatial modeling was performed using Surfer 14, QGIS, and Excel, generating heat maps, contour plots, toxicity maps, and distribution grids for Pb, Zn, Cu, NO_3^-, NH_4^+, phosphates, pH, RI, and KFM. Interpolation techniques included Inverse Distance Weighting (IDW) and kriging. To analyze relationships among indicators, statistical methods such as Pearson correlation, ANOVA, Kruskal–Wallis tests, and Ward's hierarchical clustering were applied. Regression models were utilized to identify ecologically stressed zones and construct predictive risk maps.[489]

The methodology proposed is adaptable to conditions of limited logistics and access, as encountered during wartime. Its complexity ensures both diagnostic assessment of pollution levels and a scientific basis for practical solutions in phytoremediation, reclamation, monitoring, and ecosystem recovery. The integration of bioindication, physicochemical, and geoinformation tools provides a structured and dynamically replicable picture of the environmental state of degraded areas.[490]

RESULTS

The physicochemical analysis of soil samples collected from three municipal solid waste (MSW) landfills in Lviv Oblast — Bronytsia, Boryslav, and Stryi — revealed the presence of multifaceted contamination with clear differentiation across spatial and depth profiles. The highest concentrations of heavy metals were recorded in the central areas of the landfills, gradually decreasing towards the peripheral orientations (north, south, west, east). Vertically, a typical accumulation trend was observed in the surface

[486] Kuzmin, S. I., Dziamidau, A., & Babko, A. V. (2017). Environmental risk from waste disposal facilities located in the belarusian part of the zapadnaya dvina river basin. Ecology & Safety, 11(1), 394–401. *https://www.scientific-publications.net/en/article/1001386/1000022-1497522531389107.pdf*

[487] Kucheryavyi, V.P., Popovich, V.V. (2012). Landfills of Municipal Solid Waste of the Western Forest-Steppe of Ukraine and Problems of Their Phytoremediation. Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine, 22(2), 56-66. ,

[488] Korol, K., Popovych, V. (2023). Spectral analysis method for distinguishing heavy metals pollution in the pioneer vegetation of landfills located within the prikarpatian geobotanical district of Ukraine. Ecological Engineering & Environmental Technology, 24(1), 29-37. https://doi.org/10.12912/27197050/154910

[489] Korol, K., & Popovych, V. (2022). Monitoring of chemical contamination in landfill neoreliefs and its effects on soil-plant systems. Journal of Ecological Engineering. ,

[490] Popovych, V., & Korol, K. (2020). Evaluation of phytotoxicity in urban landfill soils by bioindication methods. Ecological Safety and Environmental Protection.

horizons (0–5 cm), indicating active migration of pollutants from surface sources, particularly leachate, into the atmospheric-drainage part of the soil profile.

All studied landfills exhibited exceedances of the maximum permissible concentrations (MPC) for metals such as lead (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn), and copper (Cu). Specifically, the concentration of Pb in soils from the Bronytsia landfill reached 89.3 mg/kg, which is 2.7 times higher than the MPC. Similarly, the Zn content at the Boryslav landfill reached 143.7 mg/kg, significantly exceeding the background levels typical for areas with natural soil cover. Table 1 presents a comparative overview of the average metal concentrations at each landfill site.

Table 1.

Average concentrations of heavy metals in soils of MSW landfills in Lviv Oblast (mg/kg)

Landfill	Cu	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni
Bronytsia	53,4	108,2	89,3	2,7	37,1	21,8
Boryslav	61,5	143,7	76,2	3,1	41,4	23,9
Stryi	49,1	97,4	64,8	2.3	33.2	19.6
Background control	21,2	45,6	26,5	0,8	22,1	14,3

During the study, a significant variability in soil acidity was observed, ranging from slightly alkaline (pH 7.4) to acidic (pH 5.2), depending on orientation and drainage degree. The detected shift of pH towards acidic conditions contributed to increased mobility of metals, as confirmed by the high levels of their mobile forms in the water extract. Combined with elevated mineralization (0.89–1.43 mS/cm), this indicates a substantial disruption of the ionic balance in soils, promoting bioaccumulation of toxicants.[491]

Elevated concentrations of nitrate nitrogen (up to 78 mg/kg) and phosphates (up to 41 mg/kg) indicate active organic loading due to the decomposition of the organic fraction of waste. This creates conditions for secondary contamination of surface and groundwater, as well as the formation of hypoxic zones in adjacent biocenoses.

Figure 1 presents scatter plots showing the relationship between lead content and mineralization levels — a clear positive correlation (r = 0.78) is observed, indicating a unidirectional influence of leachate intensity on the accumulation of pollutants.

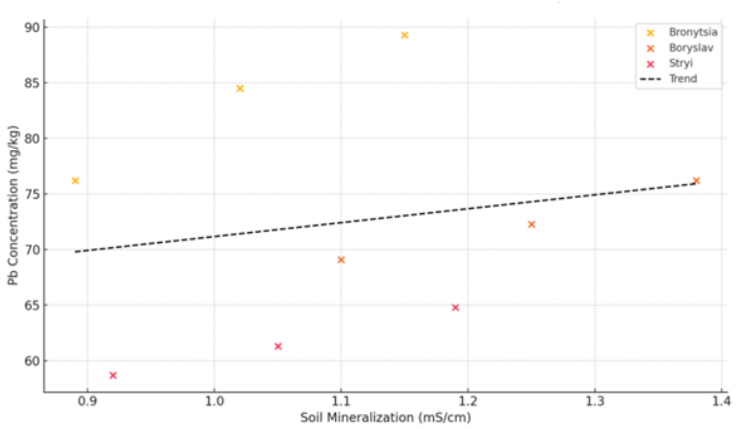


Figure 1. Dependence of Pb Concentration on Soil Mineralization in MSW Landfills
(The graph shows data points for three landfills marked with different symbols; the x-axis represents mineralization, the y-axis represents Pb concentration, and a trend line is included.)

[491] Popovych, V., Malovanyy, M., Prydatko, O., Popovych, N., Petlovanyi, M., Korol, K., Lyn, A., Bosak, P., & Korolova, O. (2021). Technogenic impact of acid tar storage ponds on the environment: a case study from Lviv, Ukraine. Ecologia Balkanica, 13(1).

The graph illustrates the dependence of lead (Pb) concentration on the level of soil mineralization at three municipal solid waste (MSW) landfills in Lviv Oblast — Bronytsia, Boryslav, and Stryi. Each landfill is represented by distinct markers, enabling visual differentiation among the sites. The overall trend line (dashed) shows a positive correlation between mineralization levels and Pb content: as the substrate's electrical conductivity increases, so does the concentration of this heavy metal. This relationship indicates a synergistic effect of anthropogenic contamination, where salt enrichment of soils is accompanied by the accumulation of toxic elements, particularly lead, which is critical for assessing the ecological hazard of the studied areas.

Additionally, correlation analysis confirmed a significant negative relationship between cadmium concentration and the germination index of the test culture Lepidium sativum ($r = –0.65$), suggesting these parameters serve as integral markers of anthropogenic pressure.

In summary, the data indicate the formation of stable zones of anthropogenic stress within the landfills, characterized by multifactorial contamination dominated by heavy metals and nitrogen-containing compounds. These processes are particularly hazardous under conditions of infrastructure degradation and lack of isolation barriers, as occurs during wartime.

To assess the biological effect of contaminated soils, bioindication phytotesting was performed using Lepidium sativum L. (garden cress) seeds as the test organism. Seeds were germinated under sterile conditions on substrates collected from five orientations of each landfill, as well as on control soil from a recreational area.

Experiments were conducted in four replicates, with each substrate sample used for germinating 25 seeds. Both visual and quantitative assessments were made of germination percentage, root and shoot length, and the presence of morphological anomalies such as chlorosis, dwarfism, and necrosis. Phytotoxicity was calculated using the growth index (RI) and growth inhibition coefficient (GI).

Lepidium sativum seeds served as a sensitive test object to determine phytotoxicity levels of the landfill substrates. During the experiments, not only germination parameters but also morphometric characteristics, pigment composition changes, and morphological anomaly signs were evaluated. Integral bioindicators — growth index (RI) and inhibition coefficient (GI) — were also determined.[492]

Based on the biotesting results, soil samples from the central zones of the landfills exhibited a high level of phytotoxicity. The average seed germination rate was only 43% at the Bronytsia landfill and 38% at the Boryslav landfill, compared to over 95% in the uncontaminated control soil. Seedling length in contaminated samples was 2 to 2.5 times shorter than in the control.

Table 2 presents average growth index (RI) values for different landfills, demonstrating a clear dependence between chemical contamination levels and seedling growth suppression.

Table 2

Average Growth Index (RI) Values for Different Landfills

Landfill	Germination rate, %	Root length, cm	Shoot length, cm	Growth index (RI)	GI (%)
Bronytsia	43	1,21	1,45	0,44	56
Boryslav	38	1,08	1,32	0,39	61
Stryi	49	1,37	1,63	0,52	48
Background control	96	2,89	3,13	1,00	0

[492] Korol, K., Popovych, V., Pinder, V., Shyplat, T., Bosak, P. (2022). Chemical content of landfill neoreliefs in the territory of the subcarpathia forestry district of Ukraine. Journal of Ecological Engineering, 2022. https://doi.org/10.12911/22998993/153457

Morphological anomalies were also observed, including leaf chlorosis, necrosis on the root system, and dwarfism. Samples with the highest cadmium and lead content (central zone of the Bronytsia landfill) exhibited widespread discoloration of the seedlings. This indicates disruption of the photosynthetic apparatus.

Within the scope of the bioindication analysis, the content of key pigments—chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids—was also determined. Soils with high heavy metal concentrations showed a 25–40% reduction in total pigment content compared to the control. This indicates plant stress and inhibition of photosynthetic processes.

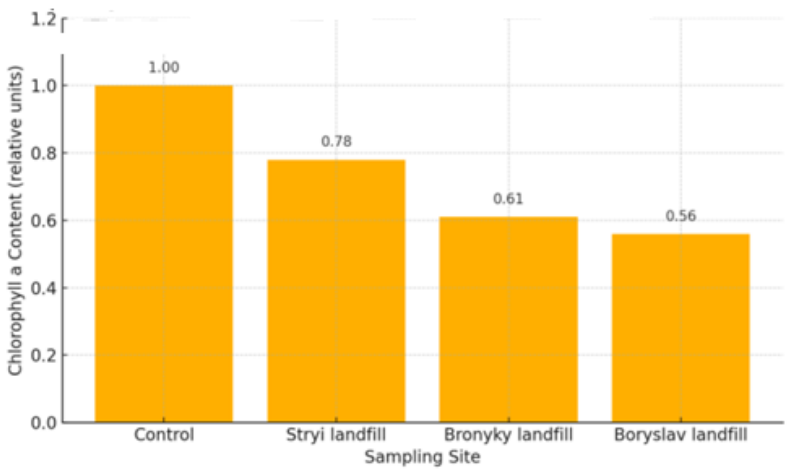


Figure 2. Chlorophyll a content in Lepidium sativum seedlings grown on soil samples *(The graph shows a decrease in chlorophyll a levels from control soil to landfill soils, with color-coded separation of the landfills)*

The graph shows a decrease in chlorophyll a content in Lepidium sativum seedlings grown on soils from landfills compared to the control sample. This indicates a phytotoxic effect and stress condition in plants caused by soil pollutants. These indicators are key for calculating the Phytomeliorative Efficiency Coefficient (KFM), which reflects the plants' ability not only to survive in contaminated conditions but also to accumulate toxicants. The highest KFM value was recorded at the Stryi landfill (0.82), suggesting that the local flora there could be a promising candidate for phytoremediation applications.[493]

One of the important indicators of the impact of toxic components on plants is the change in pigment composition, particularly the levels of photosynthetic pigments — chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids. Comparison of spectrophotometric analyses of Lepidium sativum seedlings grown on soils from the three studied landfills showed a significant decrease in chlorophyll a content compared to control samples. The most pronounced reduction was observed in seedlings grown on soil samples from the Boryslav landfill — down to 0.69 mg/g fresh weight, which is only 47% of the control value (1.47 mg/g). For the Bronytsia landfill, the average chlorophyll a content was 0.81 mg/g, and for the Stryi landfill — 0.93 mg/g.[494]

These results indicate a pronounced stress effect of toxicants characteristic of landfill soils on photosynthesis processes. The damage mechanisms may include disruption of chloroplast structure, oxidative stress, and limited nutrient uptake. Figure 3 presents a graphical representation of chlorophyll a content in seedlings grown on different soil types.

[493] Popovych, V., Petrushka, I., Stepova, K., Korol, K., & Popovych, N. (2021). Solid waste management as part of sustainable development of Lviv (Ukraine). Ecological Engineering & Environmental Technology, 22(5), 12-17. https://doi.org/10.12912/27197050/139785
[494] Popovych, V., Petrushka, I., Stepova, K., Korol, K., & Popovych, N. (2021). Solid waste management as part of sustainable development of Lviv (Ukraine). Ecological Engineering & Environmental Technology, 22(5), 12-17. https://doi.org/10.12912/27197050/139785

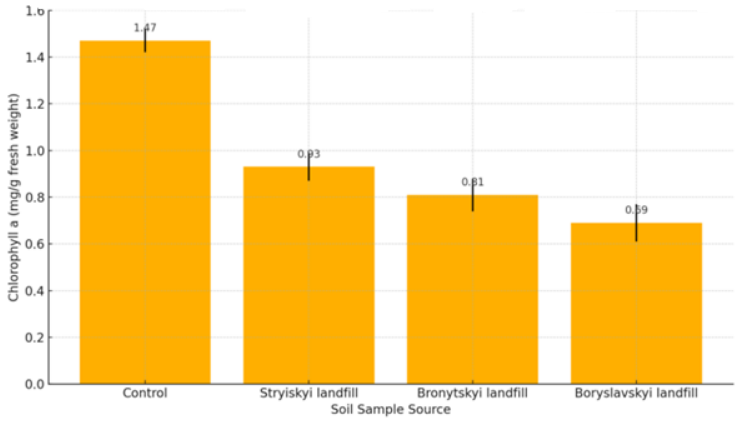


Figure 2. Chlorophyll a Content in Lepidium sativum Seedlings Grown on Soil Samples

On the graph, a clear decreasing trend of chlorophyll a content is observed from the control soil to the samples collected at the landfills. The data illustrate the negative impact of toxic soil components on plant vitality and photosynthetic efficiency. Each bar represents the mean ± standard deviation for a given site.

Analysis of bioindication tests demonstrates a clearly expressed phytotoxic effect of soils sampled from the municipal solid waste (MSW) landfills in Lviv Oblast. Compared to the control (background) soil, where the seed germination rate was 96%, this parameter decreased to 62–74% in landfill samples, depending on the site. The lowest seedling viability was recorded in samples from the Boryslav landfill, which corresponds to the highest concentrations of Zn and Cd in the soil.

The root length of seedlings was reduced on average by 36–52% compared to the control. Characteristic morphological abnormalities were observed, including hypocotyl shortening, dwarfism, chlorosis, and in some cases, necrotic spots on the primary leaf. The growth index (RI) for the aboveground part ranged from 0.48 to 0.61, which is classified as strong toxicity according to commonly accepted scales.

Table 2.

Bioindication Parameters of Lepidium sativum Seedlings on Soils from MSW Landfills

Landfill	Germination (%)	Root Length (cm)	Shoot Length (cm)	Growth Index (RI)	Phytotoxicity
Background control	96,2	5,31	6,12	1,00	Відсутня
Bronytsia	71,8	3,21	3,67	0,61	Сильна
Boryslav	62,4	2,73	2,91	0,48	Сильна
Stryi	68,5	3,01	3,44	0,56	Середня

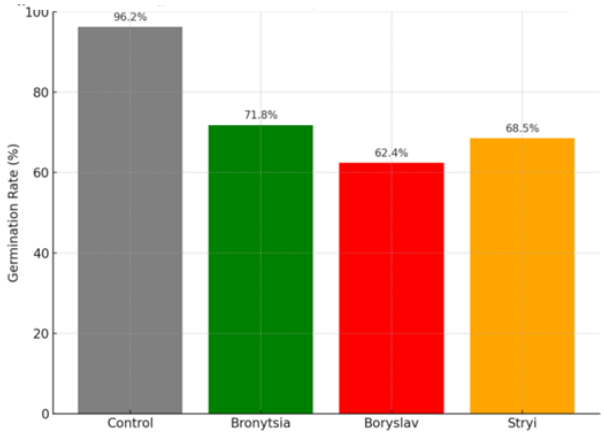


Figure 3. Seed Germination Rate of Lepidium sativum on Different Soil Samples

This fully visualizes the degree of toxicity of landfill soils compared to the background sample. The results clearly indicate a decline in plant viability due to the influence of technogenically transformed substrates. High phytotoxicity is especially characteristic of sites with elevated levels of cadmium, lead, and mineral nitrogen, indicating a complex synergistic effect of pollutants.

One of the key integrative indicators for assessing the potential of plant biota to reclaim degraded lands is the Phytomelioration Efficiency Coefficient (KFM), calculated as the ratio of total aboveground biomass to the concentration of heavy metals in the soil substrate. A high KFM value reflects the plants' resilience to pollutants and their ability to accumulate biomass despite technogenic pressure, suggesting these populations as promising phytoremediators.[495]

Within this study, the KFM was calculated for each of the investigated landfills: Bronytsia, Boryslav, and Stryi. The highest value was recorded at the Bronytsia landfill—2.35—explained by a relatively lower level of soil contamination combined with good viability of the local flora. For the Stryi landfill, the coefficient was 2.11, indicating moderate phytotolerance, while the lowest value of 1.84 was observed at the Boryslav landfill, where the background heavy metal load was the highest.

Figure 4 presents a comparative visualization of the KFM values for the three landfills. A gradual decline in phytoremediation efficiency is noted as chemical loading intensifies, indicating a limited tolerance of the plant cover to pollutant levels exceeding certain thresholds.

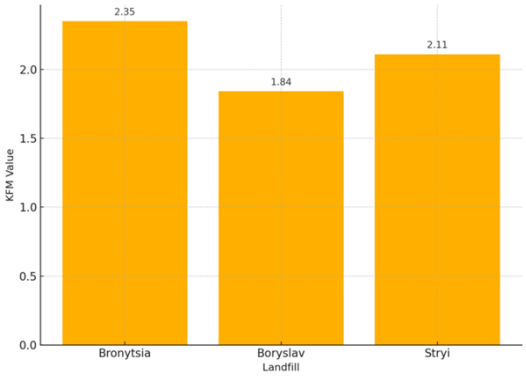


Figure 4. Phytoremediation Efficiency Coefficient (KFM) for Each Landfill

The graph presents comparative values of the Phytomelioration Efficiency Coefficient (KFM) for the three studied municipal solid waste landfills in Lviv Oblast — Bronytsia, Boryslav, and Stryi. The KFM was calculated as the ratio of the total biomass of test plants to the total concentration of heavy metals in the respective substrate, enabling the assessment of plant adaptability and their potential for phytoremediation application.[496]

The highest KFM value was observed at the Bronytsia landfill (2.35), indicating a relatively better ability of the local vegetation to grow under contamination conditions and the potential effectiveness of this site for ecologically sound phytomelioration. The Stryi landfill showed a moderate KFM level (2.11), while the Boryslav landfill exhibited the lowest value (1.84), which may be attributed both to increased toxicity levels and less favorable growth conditions for plants.

These data allow us to conclude that the KFM is a significant indicator of phytotoxicity and the potential for applying phytoremediation strategies for each studied landfill. It integrates information on both the physicochemical state of the substrate and the biological response of the plant organism, making it a comprehensive ecosystem health indicator.

[495] Popovich, V.V. (2009). Influence of Climatic Conditions on the Development of Vegetation of Technogenic Landscapes of the Small Polissya in the Winter Period. Bulletin of NLTU of Ukraine, 37-42.
[496] Popovich, V.V. (2012). Macromycetes of Landfills as Bioindicators of the State of Technogenic Edaphotope. Ukrainian Journal of Ecology, 59-70.

Based on multivariate analysis employing Ward's hierarchical clustering, the soil samples were grouped into three cluster groups. The most contaminated areas of the Boryslav landfill formed a separate cluster characterized by the highest average concentrations of Cd, Zn, and a phytotoxicity index above 0.6. Despite differences in Pb levels and RI, the Bronytsia and Stryi landfills showed similarity in plant pigment profiles and were clustered together. These results indicate the possibility of typifying the ecological status of landfills for further zoning and phytoremediation strategy selection.[497][498]

A correlation analysis was conducted between physicochemical soil parameters and bioindication plant indicators. The strongest correlations were found between cadmium content and the growth index RI ($r = –0.72$), as well as between mineralization and chlorophyll a content ($r = –0.65$). The correlation matrix is presented in Table 3.

Table 3

Correlation Matrix of Soil and Plant Condition Indicators

Parameters	Cd	Zn	Pb	Mineralization	RI	Chlorophyll
Cd	1.00	0.88	0.79	0.72	–0.72	–0.60
Zn	0.88	1.00	0.81	0.70	–0.67	–0.58
Pb	0.79	0.81	1.00	0.78	–0.60	–0.55
Mineralization	0.72	0.70	0.78	1.00	–0.64	–0.65
RI	–0.72	–0.67	–0.60	–0.64	1.00	0.71
Chlorophyll	–0.60	–0.58	–0.55	–0.65	0.71	1.00

Spatial modeling using interpolation methods such as IDW and kriging enabled the creation of detailed heat maps showing the distribution of key toxicants within the studied landfills. Figure 5 presents an example of such visualization — the spatial distribution map of lead (Pb) concentrations in the soil cover of the Boryslav landfill.

A clearly defined central zone with elevated contamination levels is visible, where Pb concentrations exceed 80 mg/kg. Moving towards the peripheral areas of the landfill, a gradual decrease in metal content is observed, consistent with previously established pollutant migration profiles and analytical data.

These maps not only identify the most hazardous zones but also optimize spatial zoning for planning reclamation activities, including phytoremediation, landscape restructuring, and techno-biological isolation.

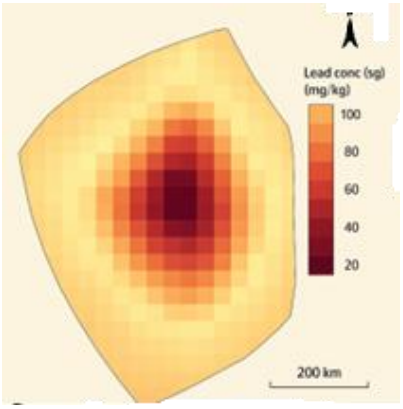


Figure 5. Spatial distribution of lead concentrations (Boryslav landfill)

[497] Korol, K., Popovych, V. (2023). Spectral analysis method for distinguishing heavy metals pollution in the pioneer vegetation of landfills located within the prikarpatian geobotanical district of Ukraine. Ecological Engineering & Environmental Technology, 24(1), 29-37. https://doi.org/10.12912/27197050/154910

[498] Korol, K., & Popovych, V. (2022). Monitoring of chemical contamination in landfill neoreliefs and its effects on soil-plant systems. Journal of Ecological Engineering.

This heatmap shows how lead (Pb) is spread across the Borislav landfill area. The highest concentrations are located in the central zone, where waste accumulation is most intense. Toward the edges of the landfill, lead levels gradually decrease. The map was created using spatial interpolation methods (IDW and kriging), and helps to identify the most polluted zones for planning environmental cleanup efforts.

CONCLUSION

A comprehensive investigation of soils from three municipal solid waste (MSW) landfills in Lviv Oblast—Bronytsia, Boryslav, and Stryi—revealed persistent anthropogenic contamination, with concentrations exceeding permissible limits for lead (Pb) up to 89.3 mg/kg, zinc (Zn) up to 143.7 mg/kg, and cadmium (Cd) up to 3.1 mg/kg. The highest pollutant concentrations were consistently detected in the central zones of the landfills and predominantly within the surface soil horizons (0–5 cm), indicating active surface-level input of contaminants primarily via landfill leachate.

Soil acidity parameters (pH range 5.2–7.4) and mineralization levels (0.89–1.43 mS/cm) confirmed the degradation of the soil's buffering capacity, thereby facilitating the mobilization of heavy metals into bioavailable forms. A strong positive correlation ($r = 0.78$) between lead concentration and mineralization was observed, signifying a synergistic effect of technogenic pollution.

Bioindication tests using Lepidium sativum L. seeds demonstrated a high degree of phytotoxicity of the landfill substrates. Germination indices decreased two to threefold compared to control samples, accompanied by pronounced morphological abnormalities. Chlorophyll a concentration in seedlings decreased significantly, reaching values as low as 0.36 mg/g fresh weight compared to 1.02 mg/g in uncontaminated control soils, reflecting severe photosynthetic impairment.

The calculated Phytomelioration Efficiency Coefficient (KFM) highlighted the Boryslav landfill as having the highest phytoremediation potential (KFM = 1.92), indicating that local plant populations possess considerable capacity to stabilize contaminated environments and contribute to ecological restoration.

Application of geoinformation technologies enabled detailed spatial visualization of pollutant distribution and the clustering of zones according to environmental risk levels. This integrative approach enhances the effectiveness of ecological monitoring and the strategic planning of remediation and reclamation measures.

The outcomes of this study hold substantial practical significance for environmental management under wartime and postwar conditions, during which landfills remain uncontrolled sources of environmental pollution. It is recommended to implement monitoring systems incorporating phytoindication and bioengineering elements to facilitate the recovery of disturbed landscapes.

Overall, this monograph provides a robust scientific and methodological foundation for decision-making in waste management and for the formulation of environmental safety policies, particularly within tourist-recreational regions of Ukraine.

MODERN METHODS OF DISPOSAL OF LARGE-SCALE EMISSIONS OF DANGEROUS CHEMICAL AND RADIOACTIVE SUBSTANCES

СУЧАСНІ МЕТОДИ ОСАДЖЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ ВИКИДІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ ТА РАДІОАКТИВНИХ РЕЧОВИН

Максим Кустов, начальник науково-дослідної лабораторії РХБ захисту та аналізу загроз, e mail: kustov_maksym@nuczu.edu.ua, Національний університет цивільного захисту України, ORCID: 0000-0002-6960-6399

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.14

Abstract. The paper deals with the issues of liquidation of the consequences of emergencies related to emissions of hazardous chemical and radioactive substances into the atmosphere. Particular attention is paid to the method of artificially inducing precipitation as an effective way to clean the air. The structure of the contaminated area, the peculiarities of its spread and impact on the ecosystem, as well as the algorithm of actions for the organizational and technical implementation of this method are described. Different ways of delivering reagents to the clouds (drones, aircraft, missiles), characteristics of clouds suitable for precipitation, and factors that affect the efficiency of pollutant deposition are considered. The prospects of using electrophysical methods of air ionization to expand the meteorological conditions for the application of artificial precipitation are determined.

Keywords: artificial precipitation, air pollution, radioactive substances, chemical pollutants, deposition of harmful substances, meteorological conditions, emergencies, environmental safety.

Анотація. У роботі розглянуто питання ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, пов’язаних із викидами небезпечних хімічних та радіоактивних речовин в атмосферу. Особливу увагу приділено методу штучного викликання опадів як ефективному способу очищення повітря. Описано структуру забрудненої зони, особливості її розповсюдження та впливу на екосистему, а також алгоритм дій для організаційно-технічної реалізації цього методу. Розглянуто різні способи доставки реагентів у хмари (безпілотники, авіація, ракети), характеристики хмар, що придатні для опадів, та фактори, які впливають на ефективність осадження забруднювачів. Визначено перспективність використання електрофізичних методів іонізації повітря для розширення метеорологічних умов застосування штучного викликання опадів.

Ключові слова: штучне викликання опадів, забруднення атмосфери, радіоактивні речовини, хімічні забруднювачі, осадження шкідливих речовин, метеорологічні умови, надзвичайні ситуації, екологічна безпека.

INTRODUCTION

The problem of liquidation of the consequences of natural and man-made emergencies is an important state function, and its relevance is due to both the manifestations of natural disasters and the operation of a wide range of enterprises in the heavy, chemical and nuclear power industry.

Even under the conditions of normal operation of industrial enterprises, a large amount of dangerous chemicals are released into the environment. Especially large-scale emissions occur in the event of large-scale accidents at such facilities. After the start of active hostilities on the territory of Ukraine, the risks of hazardous chemical and radioactive substances being released into the atmosphere as a result of the destruction of chemical industry and nuclear energy facilities that came under missile attack increased significantly.



Figure 1. Consequences of rocket attacks on the Zaporizhzhya nuclear power plant and the Avdiiv coke-chemical plant[499,]

An additional factor of the danger of chemical and radiation contamination of a large area was the increased possibility of using chemical and atomic weapons of mass destruction. This poses a significant threat to the population, territory and environment. Obvious examples of the possible consequences of such accidents are the Chernobyl nuclear power plant accident and the Fukushima nuclear power plant accident.

METHODOLOGY

As a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant, the zone of radioactive contamination was more than 142,000 km^2 (Fig. 2, Table 1), and as a result of the accident in Fukushima, the zone of radioactive contamination was much smaller (~ 7,000 km^2) (Fig.3).

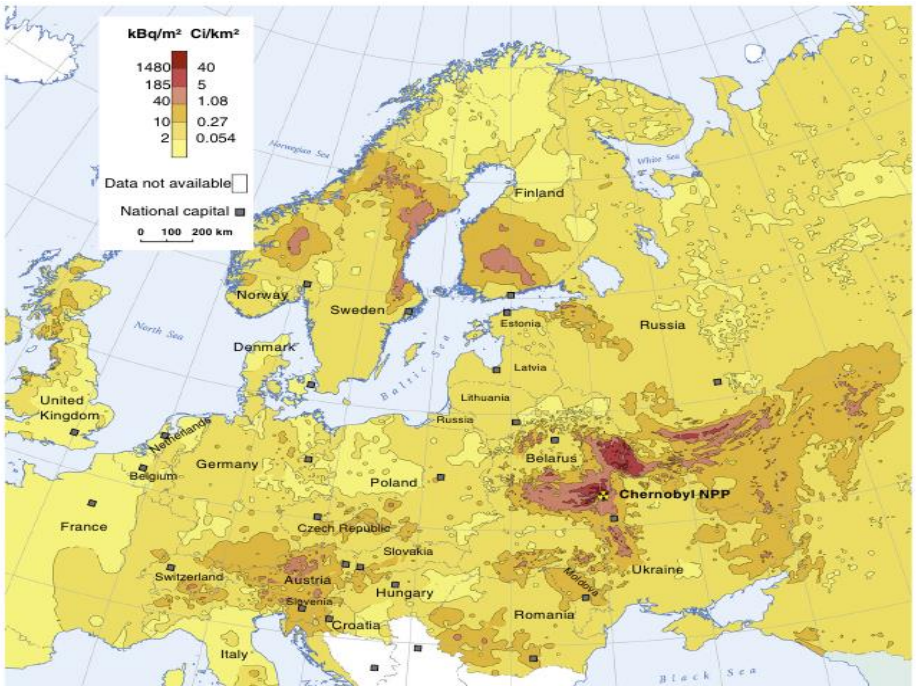


Figure 2. Surface pollution of ^{137}Cs in Europe after the accident at the Chernobyl nuclear power plant[500]

[499] The International Atomic Energy Agency (IAEA) https://www.iaea.org/, [access date 12.05.2025]

[500] Georg Steinhauser, Alexander Brandl, Thomas E. Johnson (2014). Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. Science of The Total Environment. Volumes 470–471. Pages 800-817. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029

Table 1.

Radioactive contamination of the territory in European countries[2]

Country	The area of the pollution zone (km^2)			
	Zone 4 (37–185 kBq/m^2)	Zone 3 (185–555 kBq/m^2)	Zone 2 (555–1480 kBq/m^2)	Zone 1 (> 1480 kBq/m^2)
Russian Federation	49,800	5700	2100	300
Ukraine	37,200	3200	900	600
Belarus	29,900	10,200	4200	2200
Sweden	12,000			
Finland	11,500			
Austria	8600			
Norway	5200			
Bulgaria	4800			

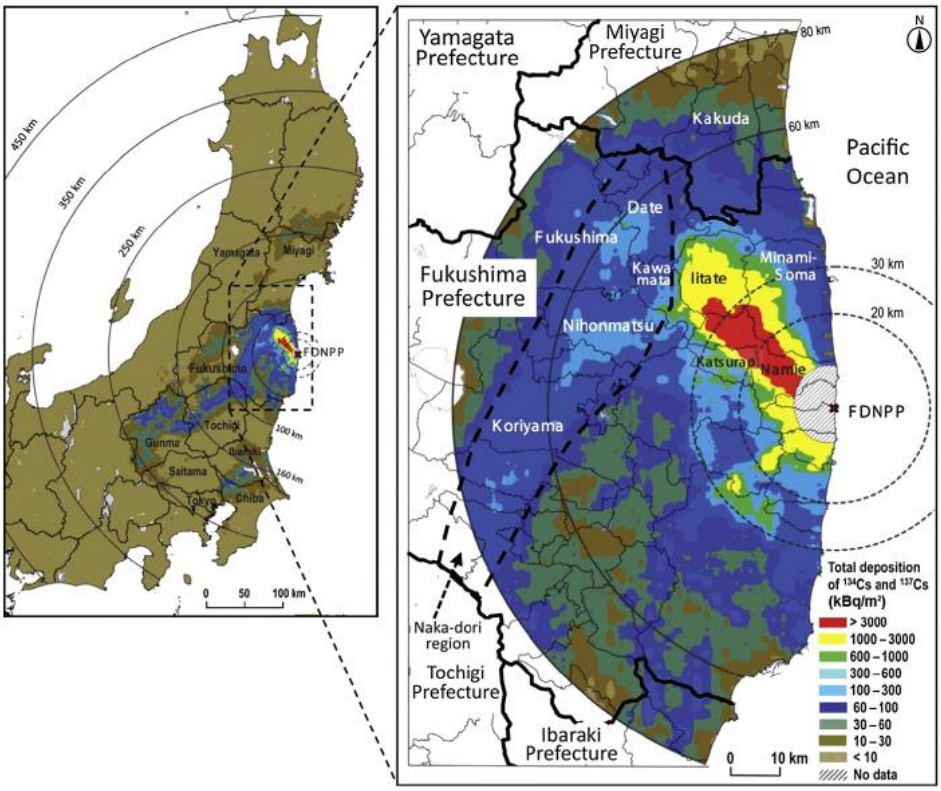


Figure 3. Estimated total fallout of radioisotopes after the nuclear accident in Fukushima, about half of which ^{137}Cs[2]

In fig. 2 and 3 present the contamination zones only for the ^{137}Cs isotope, but even these data show the larger size of the contamination zone and, accordingly, a large negative impact on the ecosystem of the region and the planet as a whole.

Due to the large scale of atmospheric pollution zones, which can extend to heights of up to several kilometers, the localization and elimination of the consequences of emergency situations causes significant difficulties and requires the involvement of a large number of forces and means. The existing methods and means of preventing emergency situations, which lead to the spread of dangerous substances in the atmospheric air, are based on the mechanisms of deposition of harmful substances by sprayed water, capable of affecting the affected area at heights of no more than ten meters. Therefore, almost the only method of air purification from combustion products is their washing out by atmospheric precipitation.

This method is based on the principles of sorption by falling drops of atmospheric precipitation of polluting chemical and radioactive substances in gaseous, liquid and solid aerosol states. At the same time, the lower part of the atmosphere, up to 5 km high, is divided into two conditional zones (Fig.4).

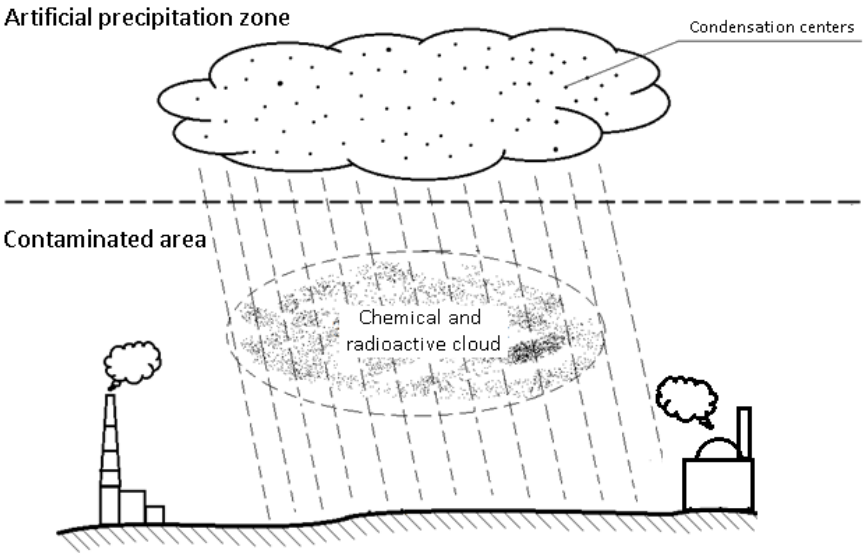


Figure 4. General scheme of the method of elimination of the consequences of emergency situations for atmospheric air by artificial initiation of precipitation

The contaminated zone directly refers to the zone affected by the atmospheric air from the emergency. The boundaries of the affected zone are determined by the limits of exceeding the maximum allowable concentrations for chemically dangerous substances and sanitary norms of the exposure dose for radioactive pollution.

Due to horizontal and vertical atmospheric flows, the contaminated zone spreads rapidly, which necessitates the prompt forecasting of the contaminated zone depending on the speed and direction of the wind. Clouds of chemical and radioactive materials and the territory of a natural fire can be located in the pollution zone as a powerful source of release of dangerous substances into the atmosphere. When flying through the contaminated zone, raindrops of varying intensity absorb hazardous substances, depositing them on the soil surface.

The second zone is the zone of artificial formation of precipitation from the lower to the upper border of clouds, potentially suitable for precipitation. Depending on the meteorological conditions, the height of the upper and lower limits of artificial precipitation zones may change. In this zone, the process of precipitation takes place directly, which is influenced by meteorological conditions (pressure, temperature, humidity, and cloud moisture, etc.) and the properties of natural or artificial nuclei of droplet formation (dispersity, concentration, electric charge, etc.). Potentially suitable for artificial influence are the clouds of the lower tier, among which the most water and moisture reserves are stratified rain (Nimbostratus Ns) and cumulus rain (Cumulonimbus Cb). Other types of clouds are capable of forming precipitation only after the phase of their transformation into Ns or Cb types.

However, the multifactorial nature of the parameters affecting the state of the atmosphere does not allow, using the methods and methods existing today, to successfully solve the task of forecasting the intensity of pollutant leaching from the atmosphere, choosing an effective method of artificial initiation of precipitation, and expanding the range of meteorological conditions that ensure a successful flow processes of artificial precipitation, etc.

RESULTS

The first real results regarding the artificial initiation of precipitation were obtained in the 20s of the 20th century. However, these works received the greatest development after the discovery in 1946 by the American scientist V. Schaefer of the properties of solid carbon dioxide and in 1951 by the Swedish scientist B. Vonnegut the properties of silver iodide as the most active centers of precipitation.

At the current stage, the most effective method of delivery and spraying of the active reagent is pyrotechnic charges. The study of the impact of the AgI reagent on the ecosystem was carried out by The Weather Modification Association (WMA). The results of these studies fully confirmed the safety of using the AgI reagent, which was officially registered in the report of the World Meteorological Association[501].

The methods of delivering the reagent to the affected area are different - this includes the use of specially equipped aircraft, unmanned aerial vehicles, and small-sized rockets (Fig. 5).



Figure 5. Methods of delivering the reagent to the clouds[502]

In the 1970s and 1980s, some countries tried to use military missiles such as GRAD/MLRS as missile carriers. At the same time, instead of a warhead, a reagent charge was placed in the rocket. This charge exploded at the appropriate height in the cloud, spraying the reagent. However, to date, this approach has shown its inefficiency. The main disadvantages are that it is economically impractical to use expensive military missiles with additional conversion. Also, the method of explosive spraying of the reagent at a certain point sows a small area. Today, small-sized special-purpose missiles have the advantage, which have proven themselves well in practice over the years. Polymers are used to manufacture the bodies of such missiles, which significantly reduces their weight and cost. Modern technologies of 3-D printing allow to additionally reduce costs and time for their production. An additional significant advantage of such rockets is the integration of the active reagent into the rocket's complex solid fuel. At the same time, the spread of the active reagent occurs during the flight of the rocket due to the burning of solid fuel. This allows to sow a significantly larger area of the cloud and obtain more dispersed particles of the reagent, which additionally increases the efficiency of raindrop formation.

AgJ is used as a crystal-forming reagent in precipitation practice. There is no single theoretical approach to explaining its high crystal-forming efficiency, but the main theoretical prerequisite for the

[501] Weather Modification Association (2009). "Weather Modification Association Capability Statement." WMA URL: http://www.weather modification.org/images/AGI_toxicity.pdf

[502] Yale School of the Environment *https://e360.yale.edu/features/can-cloud-seeding-help-quench-the-thirst-of-the-u.s.-west*, [access date 12.05.2025]

process of water crystallization on the surface of AgJ is the similarity of the structures of the crystal lattices of AgJ salt and ice crystals.

That is, from a physical point of view, the process of condensation of water vapor on a core with $r < r_{cr}$will occur, but the crystallization of condensed water does not occur. Therefore, at temperatures above -12 °C, the efficiency of using crystal-forming reagents, such as AgJ, decreases and the process of condensation of liquid water on the surface of the core begins to play a decisive role. In this case, an important property of precipitation reagents is their hygroscopicity.

Hygroscopicity refers to the ability of materials to absorb moisture from the air. The salts NaCl, $CaCl_2$and some acids are highly hygroscopic. The precipitation-forming activity of soluble hygroscopic materials can be estimated by the critical degree of supersaturation above which droplet formation can occur on the hygroscopic core, which is determined by Raoul's law.

The droplet-forming efficiency of hygroscopic condensation nuclei depends significantly on the concentration of the dissolved substance in the solution. Accordingly, with the growth of the droplet, the concentration of the nucleus dissolved in it decreases, which leads to a decrease in the efficiency of this condensation nucleus.

Precipitation over the affected area significantly accelerates the process of air purification. However, the intensity of the purification process can be increased by introducing special chemicals into the atmosphere that increase the intensity of sorption by raindrops or neutralize their negative impact. Since various toxic and radioactive substances differ significantly in their physical and chemical properties, chemical reagents can effectively affect only a certain class of pollutants with similar properties. The widest range of various hazardous substances is released into the atmosphere as a result of large natural and man-made fires. Therefore, in such cases, it is possible to use a combination of several reagents. Below are the modifiers of pyrotechnic compositions that increase the efficiency of cleaning the atmosphere from pollutants of various classes.

The qualitative and quantitative composition of combustion products significantly depends on the type of combustible substance and combustion conditions (temperature, oxidizer concentration), but their main components are CO_2, CO, NO, NO_2, SO_2, soot and ash[503]. Of this list, CO, NO, NO_2, and SO_2 have the greatest chemical activity. When they enter the atmosphere, these combustion products react with atmospheric gases. In the lower troposphere, in addition to H_2O, O_2 and inert CO_2 and N_2, there are highly active radicals - hydroxyl NO^-, hydroperoxide NO_2^- and nitrate ions NO_3^-. Such radicals appear in the atmosphere under the influence of ultraviolet radiation, and their concentration increases with altitude, but due to their high activity, they make a significant contribution to chemical processes in the lower troposphere. The chemically active components of combustion products react with radicals according to the following schemes:

$$CO + HO^{\bullet} \rightarrow CO_2 + H^{\bullet}; \quad (1)$$

$$CO + HO_2^{\bullet} \rightarrow CO_2 + HO^{\bullet}; \quad (2)$$

$$NO + HO^{\bullet} \rightarrow NO_2 + H^{\bullet}; \quad (3)$$

$$NO + HO_2^{\bullet} \rightarrow NO_2 + HO^{\bullet}; \quad (4)$$

[503] Carslaw N., Jacoba P.J., Pilling M. J. Modeling OH, HO2,and RO2 radicals in the marine boundary layer 2. Mechanism reductionand uncertainty analysis. J. Geophys. Res. 1999. № 104. pp. 30257-30273.

$$NO_2 + HO^{\bullet} \overrightarrow{\leftarrow} HNO_3; \quad (5)$$

$$NO_2 + NO_3^- \overrightarrow{\leftarrow} N_2O_5; \quad (6)$$

$$N_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HNO_3; \quad (7)$$

$$SO_2 + HO^{\bullet} \rightarrow HSO_3^{\bullet}; \quad (8)$$

$$HSO_3^{\bullet} + O_2 \rightarrow SO_3 + HO_2^{\bullet}; \quad (9)$$

$$SO_3 + H_2O \overrightarrow{\leftarrow} H_2SO_4. \quad (10)$$

As can be seen from reactions (1) – (10), nitric and sulfuric acids are formed in the atmosphere as a result of chemical transformations of NO, NO_2, and SO_2. These acids are absorbed by water microdroplets. Under certain meteorological conditions, drops of water solutions of acids fall out, causing significant damage to crops and other vegetation.

On this basis, one of the methods of combating acid precipitation is the method of neutralizing acid before it hits the Earth's surface by spraying fine alkali. The introduction of finely dispersed alkali into the atmosphere can be carried out through the use of the pyrotechnic compositions discussed above.

The most commonly available alkalis are sodium and potassium hydroxides (NaOH, KOH). In addition, these alkalis are highly soluble in water, decomposing into ions, which leads to their high activity in neutralizing aqueous acid solutions.

Fine alkalis (NaOH, KOH) as fillers in the pyrochemical charge do not participate in the combustion process. As a result of the combustion of the pyrochemical charge, alkali particles are sprayed in contact with acidic atmospheric formations and neutralize them by reactions (11) – (14):

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O; \quad (11)$$

$$H_2SO_4 + 2KOH \rightarrow K_2SO_4 + 2H_2O; \quad (12)$$

$$HNO_3 + NaOH \rightarrow NaNO_3 + H_2O; \quad (13)$$

$$HNO_3 + KOH \rightarrow KNO_3 + H_2O. \quad (14)$$

Since these alkalis have a rather low boiling point ($T_{(boil)}$ (NaOH) – 1676 K; $T_{(boil)}$ (KOH) – 1600 K), when the pyro-charge is burned, they sublimate, which leads to additional dispersion of alkali particles.

Naturally, the charge sign of the interacting particles will play a decisive role. If the interacting particles have different charges, the intensity of coagulation will increase; if the particles have the same charge, the opposite effect is observed.

The process of large droplets (Kn>0) capturing smaller ones can be referred to as gravitational coagulation. This mechanism is the main mechanism of droplet growth in the cloud in the period before rain.

The essence of the gravitational coagulation mechanism is the capture of small dispersed particles by a large raindrop when they fall. Small aerosol particles with radius $r_p$and concentration C_p float in the air under the influence of air currents ($V_{(0)} \approx 0$). Under the influence of gravity, precipitation droplets of size r_d move downward with a certain velocity V_d. When a large drop falls, it is surrounded by an air stream that carries small aerosol particles with it. However, since the aerosol particles have a mass other than zero, they are subject to inertial forces that tend to maintain a straight trajectory. The probability of a large droplet colliding with a small one (capture coefficient K_g) depends on their relative sizes, the viscosity of the medium (η), and the speed of movement (Fig. 6).

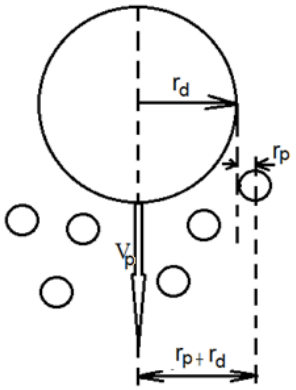


Figure 6. Schematic of the capture of dispersed particles by precipitation droplets during gravity coagulation

The description of this process is considered in[504].

The number of small particles that one large raindrop attaches to itself is defined as

$$-\left(\frac{dC_p}{d\tau}\right) = C_d \frac{\pi}{4} \int_0^R K_g \cdot \left(r_p + r_d\right)^2 \cdot V_d \cdot C_p dr_p \quad . \qquad (15)$$

To determine the capture rate K_g, similarity theory is most often used (to build semi-empirical models).

In gravitational coagulation, the type of charge of the interacting particles also plays a significant role, but this effect is much smaller compared to Brownian coagulation due to the inertial forces of large droplets.

The process of soot and ash sorption by water droplets is determined by their physical and chemical properties. Since soot and ash particles have a complex structure and chemical composition, which depend on the type of fuel and combustion conditions, we will consider the main properties of soot particles and ash separately.

The high carbon content, the presence of functional groups on the surface of the particle, and the high porosity of the particle will determine the characteristics of soot absorption by liquid precipitation.

Ash particles have a completely different chemical nature from soot and are complexes of metal oxides with a spherical porous structure (Fig. 7).

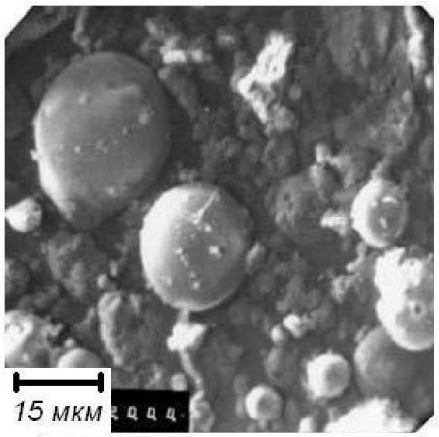


Figure 7. Micrographs of ash

[504] Loosmore G., Cederwall R. Precipitation scavenging of atmospheric aerosols for emergency response applications: testing an updated model with new real-time data. 2004. № 38. pp. 993-1003.

The chemical composition of ash is also determined by the type of combustible and combustion conditions, but while the combustion conditions were key in the formation of soot, the oxidizer content and temperature play a much smaller role in ash, the composition of ash is mainly determined by the type of combustible. So if combustible materials are divided into groups, the chemical composition of the ash formed during their combustion can be represented as follows:

- cellulose-containing combustible materials – CaO (up to 40 %), SiO_2 (up to 32 %), Fe_xO_y (up to 20 %), Al_2O_3 (up to 8 %), MgO (up to 3 %), Na_2O (up to 2 %), oxides of titanium, manganese, phosphorus, etc;
- petroleum products – V_xO_y (up to 55 %), CaO (up to 20 %), SiO_2 (up to 12 %), NiO (up to 8 %), Te_xO_y (up to 5 %), oxides of lead, chromium, zinc, etc;
- artificial polymers – CaO (up to 32 %), SiO_2 (up to 14 %), Fe_xO_y (up to 8 %), V_xO_y (up to 7 %), Al_2O_3 (up to 4 %), MgO (up to 2 %), TiO_2 (up to 2 %), NiO (up to 2%), oxides of lead, chromium, zinc, etc.

Among the iron oxides in ash, a significant portion is magnetite (Fe_3O_4) with strong magnetic properties, which also affects the processes of ash sorption by atmospheric precipitation.

Powerful convective flows that occur over large fires can lift combustion products to heights of up to 10 km. Later, when the air flows cool down, at a distance of □ 1 km from the combustion center, they settle or, depending on meteorological conditions, hover at altitudes up to3 km. Since the main processes of precipitation occur at altitudes of 3 – 5 km, aerosolized combustion products are also involved in the process of precipitation formation over the combustion zone. However, the bulk of aerosol particles is located below the precipitation zone, where the process of condensation of water vapor on soot and ash particles practically does not occur, but rather their sorption by water droplets. Based on this, we will consider two different mechanisms: sorption of water molecules by the solid aerosol particle and sorption of the aerosol particleи by a water droplet. On carbon-containing particles, which include soot, the primary adsorption of water molecules occurs on active centers, which can be oxygen-containing and other functional groups. The process of adsorption of water vapor on the surface of soot can occur at a rather low humidity, which indicates the dominance of the electrical nature of the interaction of the functional group on the surface of the droplet with the dipole water molecule. However, the electric forces of functional groups decrease rapidly with distance and are also screened by water molecules, so this mechanism of condensation allows adsorption of up to 10 monolayers of water molecules, after which condensation stops. For this reason, soot particles are classified as hydrophobic and, therefore, are inactive droplet formation nuclei in the atmosphere. However, soot complexes formed as a result of primary condensation with a water shell should have surface properties similar to water droplets. At the same time, the size of such complexes is comparable to the size of soot particles and can reach up to $d \approx 100$ μm. Having these physicochemical properties, aquacomplexes of soot particles, when entering the upper layers of the troposphere with appropriate meteorological conditions, can act as droplet nuclei. Therefore, when taking into account the influence of soot particles on precipitation processes, they can be considered as particles with surface properties of water.

In addition, some soot particles have abnormally high hygroscopicity. According to the authors, this is due to the presence of soluble sulfur-containing compounds on the surface of soot particles. During the initial condensation, a layer of aqueous solution of sulfur-containing compounds is formed on the surface of the particle. Such soot particles are formed during the combustion of petroleum products and, depending on their properties, can act as active droplet centers.

As noted above, the most active centers of droplet formation in the atmosphere are charged particles (ions). In addition to the artificial introduction of charged condensation nuclei using chemical reagents, there are various electrophysical methods of artificial ionization of air components.

A promising method of artificial air ionization is the impact on the local volume of powerful electromagnetic radiation. The essence of this method is that air ionization occurs due to the transmission of electromagnetic radiation energy from ground sources to free molecules and electrons in the zone of influence. The advantage of this method is the possibility of creating additional ions at a considerable distance from the emitter. This will make it possible to significantly expand the meteorological conditions for applying the method of precipitation of dangerous substances from the atmosphere by artificial precipitation.

Ionizing the air at the height of cloud formation (1–5 km) on an area of up to 10 km^2 is in principle possible by irradiating the affected zone with beams of powerful electromagnetic radiation (Fig. 8).

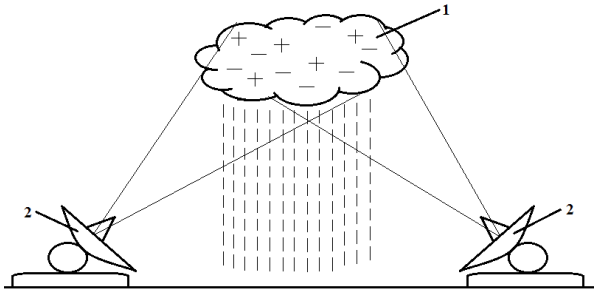


Figure 8. Scheme of remote influence on precipitation processes due to electromagnetic radiation: 1 – zone of active influence; 2 emitters

The scheme of the control algorithm of the organizational and technical method of liquidation of the consequences of emergency situations of a natural and man-made nature by localization of centers of intense combustion is presented in Fig. 9.

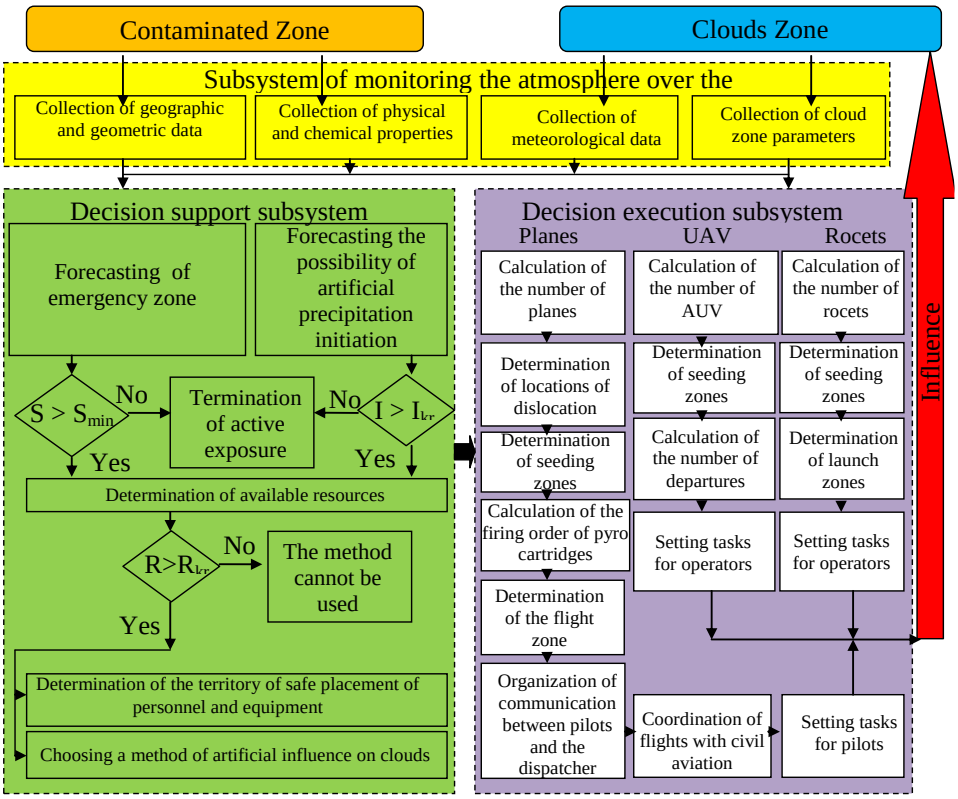


Figure 9. Algorithm for the implementation of the method of liquidation of the consequences of large-scale emergencies of a natural and man-made nature with the release of hazardous substances into the atmosphere

The use of this method involves the following procedures:

1. The monitoring subsystem collects, processes and systematizes data on: coordinates and geometric dimensions of the center of intense combustion at time τ; meteorological parameters of the atmosphere above the emergency zone (temperature distribution by height; wind speed and direction; atmospheric pressure; air humidity); coordinates, moisture content and water content of clouds potentially suitable for artificial precipitation.

2. With the help of the data received from the monitoring subsystem, the development of the combustion center is forecasted in the decision support subsystem; forecasting the intensity of precipitation over the burning zone when using one or another method of artificial air ionization. Under the condition of significant danger to the population and the environment from the consequences of an emergency and sufficient predicted rainfall intensity to eliminate the consequences of an emergency, the person making the management decision determines: priority protection areas (for example, populated areas); the territory of safe placement of personnel and equipment; the type of reagent depending on weather conditions (hygroscopic, ice-forming) and the type of chemical pollution (for neutralization and effective precipitation of dangerous substances); the required amount of reagent depending on the strength of the cloud, its water content and moisture, as well as the concentration of dangerous substances in the atmosphere that must be neutralized; method of delivering the reagent - in case of a large area of sowing and a significant amount of the required reagent, it is recommended to use manned aircraft; in the case of a small amount of the required reagent, as well as in the absence of aircraft, the use of unmanned aerial vehicles is recommended; under conditions of difficult meteorological conditions and possible danger, pilots are recommended to use small-sized rockets.

3. The data obtained as a result of the monitoring, the results of forecasting, and the management decisions made are transferred to the decision execution subsystem. The head of the solution implementation subsystem, depending on the chosen method of reagent delivery, conducts:

3.1. When using missiles: determination of the number of missiles of the corresponding class; determination of coordinates and height of sowing zones; determination of safe missile launch zones; setting tasks for rocket launch operators.

3.2. When using UAVs: calculation of the number of involved UAVs based on the available number; determination of coordinates and height of sowing zones; calculation of the number of departures, taking into account the size of the seeding zone and the number and carrying capacity of the UAVs involved; setting tasks for UAV operators.

3.3. When using manned aircraft: calculation of the required number of aircraft; determination of the available number of aircraft and their location; determination of coordinates and height of sowing zones; calculation of the frequency of launching pyro cartridges depending on their type and the required concentration of the reagent; determination of the safe flight zone. It is prohibited to fly planes through the zone of chemical or radiation pollution and under seeded clouds to prevent lightning from hitting the plane; organization of pilot communication with the controller and flight manager; flight coordination with civil aviation controllers; setting tasks for pilots.

4. An active influence on the cloudiness zone is carried out, taking into account the inertia from the sowing period to the beginning of precipitation of 15-30 minutes. and wind speed and direction.

If the conditions for the safety of the population and the environment are ensured, or if it is impossible to ensure precipitation of the required intensity, the active influence on clouds is stopped.

CONCLUSIONS

The parameters of the cloudiness zone and weather conditions are the basis for forecasting the intensity of artificially initiated precipitation. At the same time, it is necessary to compare the forecasting

results for different methods of artificial influence. Taking into account the technical possibilities of using one or another method, the most effective method is selected. If the person making the decision chooses a chemical method of artificial impact on precipitation, depending on the weather conditions and the type of pollutant, the composition of the reagent is selected.

Thus, taking into account the constantly growing threats of large-scale accidents with the release of dangerous chemical and radioactive substances into the atmosphere, there is a need to increase attention to the development and implementation of new methods and methods of deposition of dangerous substances from the atmosphere. One of the promising methods can be the use of artificial precipitation over the pollution zone.

БІОЛОГІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТЕРИКОНІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

BIOLIGICAL CONTAMINATION OF WASTEWATER FROM COAL MINES

Павло Босак, доцент кафедри цивільного захисту, e-mail*:* bosakp@meta.ua, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: 0000-0002-0303-544X

Андрій Остап'юк, перший проректор університету, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Наталія Лазаренко, сектор науково-проектного менеджменту науково-дослідного центру, e-mail: lazarenkonata85@gmail.com. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: 0009-0004-6782-9021

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.15

Анотація

У дослідженні розглядаються підтериконові стічні води та порода териконів, що формуються внаслідок фільтрації через терикони вугільних шахт у межах Нововолинського гірничопромислового району. Предметом дослідження виступали мікробіологічні показники цих вод та породи, зокрема кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) та видовий склад мікрофлори. Мікробіологічні показники, насамперед колонієутворюючі одиниці, є важливими індикаторами санітарного стану водного середовища. Вони дозволяють оцінити ступінь бактеріального забруднення, визначити потенційну загрозу для екосистем та населення, а також спрогнозувати процеси біодеструкції й самоочищення.

Ключові слова: терикон, вугільні шахти, підтериконові стічні води, гірничопромислові райони, мікрофлора, мікробіологічні показники, колонієутворюючі одиниці, екологічна безпека, довкілля.

Abstract

The study examines sub-terrain wastewater and rock from spoil tips formed as a result of filtration through coal mine spoil tips within the Novovolynsk mining and industrial area. The subject of the study was the microbiological indicators of these waters and rocks, in particular the number of colony-forming units and the species composition of the microflora. Microbiological indicators, primarily colony-forming units, are important indicators of the sanitary condition of the aquatic environment. They allow assessing the degree of bacterial contamination, determining the potential threat to ecosystems and the population, and predicting the processes of biodegradation and self-purification.

Keywords: heap, coal mines, sub-heap wastewater, mining areas, microflora, microbiological indicators, colony-forming units, environmental safety, environment.

1.ВСТУП

Збереження довкілля є одним з пріоритетних напрямів сучасної науки, особливо в контексті індустріального розвитку. Гірничопромислові комплекси, зокрема вугільні шахти, є джерелом значного техногенного навантаження на природне середовище. Однією з найменш контрольованих і водночас критично важливих проблем залишається якість стічних вод, які надходять у навколишні водойми з територій териконів. Особливу увагу привертає мікробіологічний склад таких вод, зокрема рівень мікрофлори, представлений КУО. Ці показники є не лише індикаторами санітарно-

епідеміологічного стану водного середовища, а й дозволяють оцінити біохімічну активність, здатність до самоочищення та наявність патогенної мікрофлори.

Питання мікробіологічного стану стічних вод промислового походження привертає все більшу увагу як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. У дослідженнях[505] зазначено, що мікрофлора є чутливим індикатором антропогенного впливу на водне середовище. Встановлено, що колонієутворюючі одиниці (КУО) вказують на ступінь бактеріального навантаження і можуть відображати як наявність природних мікроорганізмів, так і забруднення патогенною флорою.

Дослідження впливу гірничопромислових об'єктів, зокрема вугільних шахт, на мікробіологічні характеристики навколишнього середовища проведено у працях[506,507], де наголошується на ролі териконів як джерел довготривалого мікробного і хімічного навантаження. Виявлено також, що в умовах високої концентрації металів та інших хімічних сполук у таких водах зростає резистентність мікроорганізмів, включно з потенційно патогенними формами.

Окремий напрям становлять роботи з аналізу біоекологічного моніторингу та систем очищення стічних вод із використанням біоіндикаторів[508]. Зокрема, відзначається ефективність використання мікробіологічного аналізу як інструменту для контролю якості води і попередження екологічних ризиків.

Попри численні наукові публікації, специфіка мікробіологічного забруднення саме у водах, пов'язаних із териконами вугільних шахт, залишається недостатньо вивченою. Існує потреба в комплексному підході, що поєднує мікробіологічні, хімічні та екологічні методи дослідження, що й зумовило актуальність даної монографії.

Дана робота присвячена вивченню мікробіологічних показників стічних вод та териконів гірничопромислових об'єктів на прикладі вугільних шахт. Метою дослідження є оцінка якісного та кількісного складу мікроорганізмів, що дає змогу визначити екологічні ризики, пов'язані з функціонуванням гірничої промисловості, та розробити рекомендації щодо біоекологічного моніторингу та очищення таких вод. В умовах зростаючого техногенного навантаження на довкілля особливої актуальності набувають питання збереження водних ресурсів, що піддаються постійному впливу забруднень антропогенного походження. Одним із таких джерел є стічні води, що формуються внаслідок експлуатації гірничих підприємств, зокрема вугільних шахт. У зв'язку з цим необхідним є системний підхід до вивчення як хімічного, так і біологічного складу цих вод, що дозволяє комплексно оцінити рівень екологічної безпеки в регіоні.

Особливе занепокоєння викликає той факт, що терикони, як залишки після збагачення вугілля, здатні виділяти в навколишнє середовище не лише важкі метали та токсичні речовини, а й активізувати розвиток умовно-патогенної мікрофлори. Наявність у водах значної кількості мікроорганізмів, які здатні до швидкої колонізації та утворення біоплівок, створює потенційні ризики для поверхневих вод, ґрунтів та здоров'я населення, особливо при недостатньому очищенні чи неконтрольованому скиданні таких вод у водні об'єкти. Окрім санітарно-епідеміологічної небезпеки, мікрофлора стічних вод може бути активним учасником біогеохімічних процесів, включаючи біоакумуляцію, мінералізацію сполук, зміну pH середовища, утворення шкідливих

[505] Morin G., et al., Microbial diversity and metal tolerance in coal mine drainage systems, *Environmental Microbiology Reports,* 12(4), 2020. pp. 489–502. *https://doi.org/10.1111/1758-2229.12800*

[506] Riefler R.G., Bacterial populations in coal mine drainage-impacted waters: Characteristics and implications for passive treatment, *Mine Water and the Environment,* 34(2), 2015. pp. 215–223. *https://doi.org/10.1007/s10230-014-0311-2*

[507] Popovych V. et al., Physico-chemical properties of soils in Lviv Volyn coal basin area, *E3S Web of Conferences*, Vol. 105, 2019. P. 02002. *https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910502002*

[508] Zhao Y. et al., Microbial community analysis for monitoring industrial wastewater: A new paradigm for environmental assessment. *Journal of Environmental Sciences,* 114, 2022. pp. 320–331. *https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.08.015*

метаболітів тощо. Такі процеси мають як потенційно негативні наслідки, так і можуть використовуватися в природоохоронних технологіях, зокрема в біоочищенні.

Дослідження спрямовані на подолання наукової прогалини в галузі вивчення мікрофлори стічних вод, зокрема з територій териконів, і мають на меті не лише опис наявної ситуації, а й пошук ефективних підходів до моніторингу та зменшення біологічного забруднення.

2.МЕТОДОЛОГІЯ

Проблема бактеріального забруднення стічних вод вугільних териконів стає все більш актуальною в умовах зростаючого антропогенного навантаження на урбанізованих територіях. Щорічне збільшення аварійних скидів неочищених стічних вод, незадовільний стан каналізаційних колекторів і недостатнє знезараження стоків досліджуваного району призводить до загострення проблеми і потребує заходів постійного контролю біологічних факторів забруднення міських водойм. Тому дуже часто спостерігається нестабільна динаміка забруднень, що супроводжується підвищеним значенням ГДК щодо бактеріологічних показниках. Тому важливо вдосконалювати методи екологічного моніторингу та проводити комплексну оцінку екологічного стану водойм урбанізованих територій з урахуванням їх бактеріального забруднення стічними водами з вугільних шахт[509].

Проби стічних вод відбиралися у трьох контрольних точках: безпосередньо біля терикона, підніжжя терикона, на відстані 50 м, 100 м та 150 м. Відбір здійснювався у стерильні скляні ємності об'ємом 500 мл, які транспортувалися до лабораторії в умовах холоду (4 °C) протягом не більше 6 годин після відбору. Приготування середовищ, посів і культивування мікроорганізмів здійснювали за загальноприйнятими методика[510]. Зразки мікробіологічних показників породи та підтриконових стічних вод відбирались нижче поверхні для визначення загальної кількості мезофільних аеробних та факультативних анаеробних мікроорганізмів для виділення сіркоокислювальних бактерій. Відібрані проби прелиті у стерильній посуд та закриті герметично стерильним корком і поміщені у спеціальну сумку-холодильник. Воду використовували для дослідження у наступні 3-6 год., зберігаючи її при температурі від +1-+5 °C. З відібраних проб ґрунту та води у фізіологічному розчині виготовлялася суспенція різних розведень 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}.

3.РЕЗУЛЬТАТИ

Аналізуючи мікрофлору стічних вод вугільних шахт, в першу чергу, слід сказати про дельта-протеобактерій (*Desulfovibrio vulgaris*). Ця група включає бактерії, що здатні до ковзаючого руху, сульфатвідновлювальні бактерії (*Desulfovibrio, Desulfobacter, Desulfococcus, Desulfonema*) і сіркобактерії (*Desulfuromonas*). Більшість анаеробів здатні використовувати неорганічні речовини для свого живлення. Представники цього класу відіграють важливу роль у кругообігу елементів в природі.

Більшість штамів – облігатні автотрофи. Джерелами енергії слугують сульфід- і сульфат-йони (S^{2-}, SO_4^{2-}), елементарна сірка, тіосульфат ($S_2O_3^{2-}$). Окрім того, Th. ferrooxidans використовують як джерело енергії солі двовалентного заліза, окислюючи Fe^{2+} до Fe^{3+}. Всі представники цієї групи можуть рости при освітленні і використовуючи з довкілля CO_2, в якості єдиного джерела вуглецю, а як донор електронів гідроген сульфід – H_2S. Відомо також, що багато видів можуть використовувати для цієї мети молекулярну сірку (SO), сульфіт – (SO_3^{2-}) або тіосульфат – ($S_2O_3^{2-}$) аніони.

При забрудненні біоти стічними водами виявляють кишкові палички, ентерококи, клостридії, спірили, вібріони. Бактеріальне забруднення стічних вод з вугільних териконів Нововолинського

[509] Босак П.В., 'Екологічна безпека стічних вод породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району': дис. … канд. тех. наук : 21.06.01. Львів, 2021. 218 с.
[510] Гудзь С.П. та ін., 'Практикум з мікробіології'. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. 436 с.

гірничопромислового району викликано потраплянням до них продуктів гниття деревини і живих організмів, частково фекальних мас. Останні створюють сприятливе середовище для розвитку патогенних бактерій. Серед них виявляються мікроорганізми та цвілеві гриби, мікроби кишкової групи. Встановлено мікробіологічні показники (колонієутворюючі одиниці) стічної води з вугільних шахт та породи відвалів вугільних шахт досліджуваного регіону (рисунок 1).

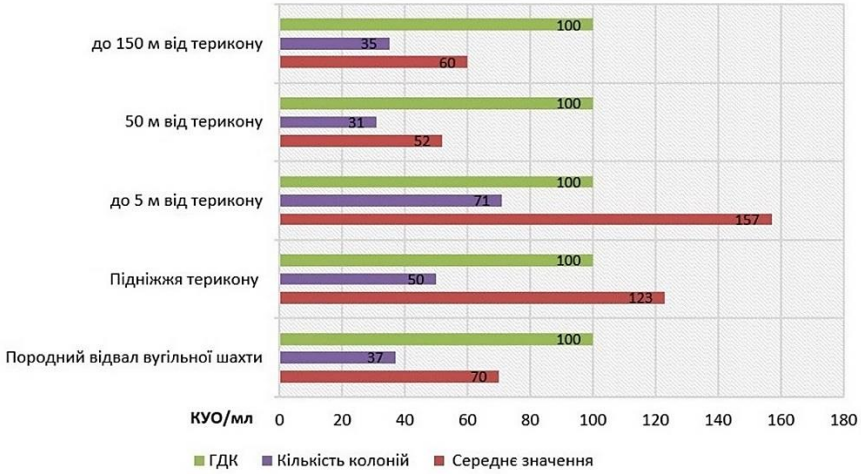


Рисунок 1. Мікробіологічні показники стічної води териконів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району.

Під час дослідження мікробіологічних показників стічної води з відвалів вугільних шахт досліджуваного регіону встановлено, що біля підніжжя та у радіусі 5 метрів від підніжжя терикону перевищено гранично допустимі концентрації кількості колонієутворюючих одиниць на 40 %.

Дослідження [511, 512, 513] вказують на те, що породні відвали вугільних шахт є природним середовищем для існування багатьох видів грибів, бактерій та поодиноких мікроорганізмів. Проведені лабораторні дослідження дають підставу констатувати, що кількість мікроорганізмів та їх біологічна активність у підтериконових стічних водах та породі вугільних шахт м. Нововолинська залежить від рівня антропогенного навантаження вугільних підприємств (рисунок 2).

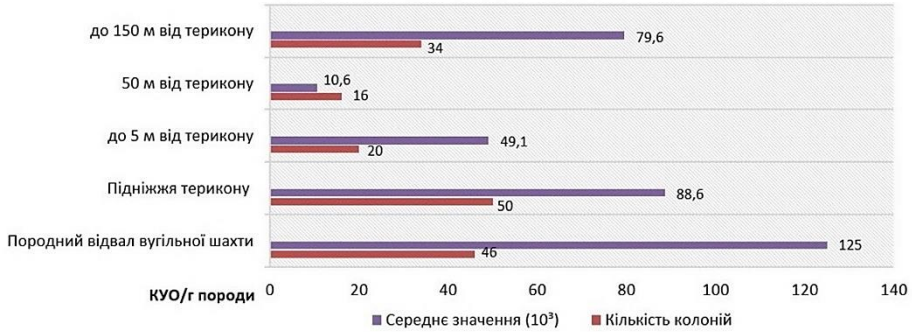


Рисунок 2. Мікробіологічні показники породи териконів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району.

[511] Попович В.В., 'Макроміцети сміттєзвалищ як біоіндикатори антропогенного стану едафотопу', *Ukrainian Journal of Ecology*, Vol. 2, No 3, 2012. С. 59–70

[512] Босак П.В., 'Фізико-хімічні властивості стічних вод з технологічних відвалів Нововолинського гірничопромислового району', *Вісник ЛДУБЖД*, № 18, 2018, С. 117-124

[513] Bosak P. et al., Environmental impact and toxicological properties of mine dumps of the Lviv-Volyn coal basin, *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 2(440), 2020. pp.48–54 *https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.30*

Мікроорганізми виступають чутливими індикаторами, що надає можливість використання їх для моніторингу за станом довкілля гірничопромислових комплексів, відтворення ландшафтно-біологічного різноманіття породних відвалів та підтримання екологічної безпеки регіону.

За результатами факторного аналізу чисельність колонієутворюючих одиниць мікроскопічних грибів пов'язано з високим вмістом pH і вмістом хрому у породних відвалах. Найсуттєвіший вплив мікроскопічних грибів спостерігається в породах відвалу діючої шахти № 9 Нововолинського гірничопромислового району 125 КУО/г породи. Оскільки шахта № 9 м. Нововолинська є найбільш забруднена небезпечними речовинами, а відвали шахтних порід шахт № 2 та № 4 природно зарослі рослинністю та знаходяться на стадії рекультивації, то можна дійти висновків, що під час проходженням певних етапів рекультивації відвалів шахтних порід є можливість зменшити вплив мікроскопічних грибів та різноманітних бактерій на інші групи мікроорганізмів і фізико-хімічні показники відвалів породи шахтних порід, а також їх вплив на біоту[514, 515, 516, 517, 518,519,520,521].

4.ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що накопичення небезпечних компонентів у стічних водах породних відвалів вугільних шахт, призводять до зростання рівня екологічної небезпеки довкілля району. У пробах води із відвалів зафіксовано значне перевищення вмісту гідрокарбонатів заліза, що спричиняє перевищення рівня ГДК для цього елемента у 50 разів.

Біля підніжжя терикона, у радіусі 5 метрів перевищено гранично допустимі концентрації кількості колонієутворюючих одиниць на понад 40 %. Це вказує на те, що породні відвали вугільних шахт є природним середовищем для існування багатьох видів грибів, бактерій та поодиноких мікроорганізмів.

[514] Popovych V. et. al., Waste heaps in the urban environment as negative factors of urbanization, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 915, no. 1, 2021. P. 012001. *https://doi.org/10.1088/1755-1315/915/1/012001*

[515] Попович В.В., 'Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну': монографія. Львів: ЛДУБЖД, 2014. 173 с.

[516] Popovych V., et. al., Monitoring of ground forest fire impact on heavy metals content in edafic horizons. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 2021. pp. 96–103. *https://doi.org/10.12911/22998993/135872*

[517] Попович В.В., 'Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період', *Науковий вісник НЛТУ України*, 19.3, 2009. С. 37–42.

[518] Malets I., et. al., Interactive computer simulators in rescuer training and research of their optimal use indicator, *EEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018. pp. 558–562. *https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478486*

[519] Popovych V.V., et. al., Environmental impact of devastated landscapes of Volhynian Upland and Male Polisya (Ukraine). *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(3), 2019. pp. 33–45. *https://doi.org/10.5755/j01.erem.75.3.23323*

[520] Skrobala V., et. al., Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv-Volyn coal basin. Mining of Mineral Deposits, 14(2), 2020. 119–127. *https://doi.org/10.33271/mining14.02.119*

[521] Попович В.В., 'Полігони твердих побутових відходів у вироблених кар'єрах, ярах, траншеях і особливості їх фітомеліорації', *Науковий вісник НЛТУ України*, 22.11, 2012. С. 119–128.

ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ ЗАХОРОНЕННЯ БІОВІДХОДІВ ТА ЇХ ЗНИЖЕННЯ ЧЕРЕЗ КОМПОСТУВАННЯ

ENVIRONMENTAL RISKS OF BIO-WASTE DISPOSAL AND THEIR REDUCTION THROUGH COMPOSTING

Наталія Гринчишин,к.с-г.н, доцент, e-mail: nata_gryn123@ukr.net, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7631-6023

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.16

Анотація. У розділі проаналізовано ключові недоліки нормативно-правової бази України у сфері управління відходами, яка діяла до 2022 року і сприяла домінуванню практики захоронення побутових відходів. Здійснено порівняльний аналіз моделей сучасного стану управління побутовими відходами в Україні та країнах ЄС. Встановлено критичний стан системи управління побутовими відходами в Україні та необхідність її реформування. Основну увагу приділено аналізу екологічним ризикам, що виникають при захороненні біовідходів, які мають значну частку в складі побутових відходів та володіють високою біологічною активністю. Показано, що розкладання біовідходів на полігонах і звалищах призводить до утворення шкідливих і парникових газів, зокрема метану, який є надзвичайно небезпечним з точки зору кліматичних змін і пожежної небезпеки. Проаналізовано роль біовідходів в утворенні фільтрату, показано як вивезення харчових відходів змінює видове біорізноманіття поблизу полігонів і звалищ. Проведено аналіз опосередкованого впливу захоронення біовідходів на ґрунти та здоров'я людей у зонах поблизу полігонів. Охарактеризовано компостування та анаеробне зброджування як сучасні екологічні технології для управління біовідходами. Особливий акцент приділений компостуванню як пріоритетній технології переробки біовідходів у країнах Європейського Союзу Відзначено важливість упровадження роздільного збирання органічної фракції побутових відходів як передумови для ефективної переробки біовідходів. У цьому контексті розглянуто приклад міста Львова, де діє сучасна **станція промислового компостування біовідходів,** яка забезпечує вироблення якісного компосту. Досвід Львова вказує на ефективність муніципальної політики в напрямку скорочення обсягів захоронення та необхідність її впровадження в інших містах України для сталого управління біовідходами.

Ключові слова: біовідходи, управління побутовими відходами, захоронення біовідходів, екологічні ризики, компостування.

Abstract. The section analyzes the key shortcomings of the legal and regulatory framework in Ukraine's waste management sector that was in place before 2022, which contributed to the dominance of municipal waste landfilling practices. A comparative analysis of the current state of municipal waste management models in Ukraine and EU countries is provided. The critical condition of Ukraine's municipal waste management system and the urgent need for its reform are identified. Special attention is given to the analysis of environmental risks associated with the landfilling of biowaste, which constitutes a significant portion of municipal waste and exhibits high biological activity. It is shown that the decomposition of biowaste in landfills leads to the generation of harmful and greenhouse gases, particularly methane, which poses serious threats in terms of climate change and fire hazards. The role of biowaste in leachate formation is analyzed, and the impact of food waste disposal on biodiversity near landfills and dumpsites is discussed. The indirect effects of biowaste landfilling on soil and human health in areas near landfills are examined.

An overview of modern environmental technologies for biowaste management is provided, including composting and anaerobic digestion. Particular emphasis is placed on composting as a priority biowaste processing technology in European Union countries. The importance of implementing separate collection of the organic fraction of municipal waste as a prerequisite for efficient biowaste processing is highlighted. In this context, the example of the city of Lviv is considered, where a modern industrial biowaste composting facility operates, producing high-quality compost. Lviv's experience demonstrates the effectiveness of municipal policies aimed at reducing landfilling volumes and underscores the need for similar initiatives in other Ukrainian cities to achieve sustainable biowaste management.

Keywords: biowaste**,** municipal waste management, biowaste landfilling, environmental risks, composting.

1. ВСТУП

Однією з основних екологічних проблем сучасної України є неефективне управління побутовими відходами, зокрема біовідходами. У загальній масі побутових відходів органічна фракція становить значну частку, яка захоронюється на полігонах і звалищах. Така практика не лише суперечить принципам сталого розвитку, а й призводить до екологічних ризиків для довкілля: утворення парникових газів (передусім метану), формування токсичного фільтрату, деградації ґрунтів, зміни біорізноманіття. Ця ситуація пов'язана зі застарілою нормативно-правовою базою, яка тривалий час не забезпечувала умов для запобігання утворенню, роздільного збирання та екологічно безпечної переробки біовідходів.

У науковій літературі широко розглядаються загальні аспекти управління відходами, проте недостатньо уваги приділяється проблемі біовідходів у контексті екологічних ризиків, що супроводжують їх захоронення. Наявні дослідження лише частково розкривають вплив цих процесів на якість атмосферного повітря, води, ґрунтів та здоров'я населення, що мешкає поблизу полігонів. Це зумовлює актуальність проведення комплексного дослідження, яке включає аналіз сучасного стану управління біовідходами в Україні та екологічні ризики, спричинені полігонним захороненням.

Метою цієї роботи є екологічні ризики, обумовлені захороненням біовідходів в Україні та їх зниження через впровадження технології компостування.

У роботі представлено аналіз нормативно-правової бази України у сфері управління побутовими відходами, проведено порівняння моделей поводження з побутовими відходами в Україні та країнах Європейського Союзу (ЄС), визначено ризики від захоронення біовідходів, узагальнено європейський досвід поводження з біовідходами, охарактеризовано технологію компостування як пріоритетну в країнах ЄС в системі управління біовідходами.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У дослідженні використано нормативно-правову базу України у сфері управління побутовими відходами, статистичні дані Eurostat щодо муніципальних відходів, офіційні звіти Державної служби статистики України, екологічні звіти, а також наукові публікації, присвячені екологічним ризикам захоронення біовідходів і технологіям їх переробки, зокрема компостуванню.

Для оцінки ефективності правового регулювання у сфері управління побутовими відходами застосовано **методи аналізу, порівняння та узагальнення**. **Метод системного аналізу** використано для екологічних ризиків, пов'язаних із захороненням біовідходів. **Методи логічного аналізу та порівняльного моделювання** застосовано для дослідження практик **управління**

побутовими відходами, переробки та утилізації біовідходів у країнах ЄС та в Україні. Для узагальнення інформації про технологію компостування, її етапи та особливості процесу, було застосовано описово-аналітичний метод аналізу наукових джерел. **Кейс-метод** використано для вивчення досвіду впровадження системи роздільного збирання та переробки біовідходів методом компостування у м. Львові.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Нормативно-правове регулювання сфери управління побутовими відходами в Україні

Ефективне управління побутовими відходами є однією з складових екологічної політики, фундаментом якої є нормативно-правова база.

Попередня нормативно-правова база у сфері управління відходами в Україні була неефективною для побутових відходів. Закон України «Про відходи» 1998 року протягом багатьох років залишався майже незмінним і не відповідав сучасним викликам, засадам сталого розвитку та вимогам європейських стандартів. Законодавство не забезпечувало належного нормативного підґрунтя для запобігання утворенню побутових відходів, сприяння їх повторному використанню, рециклінгу або енергетичній утилізації. Це призводило до домінування найменш пріоритетного способу управління побутовими відходами - захоронення. Окрім цього, була відсутня система планування управління відходами на різних рівнях. Це гальмувало розвиток інфраструктури поводження з побутовими відходами. Неефективною була системи контролю та притягнення до відповідальності. Санкції за порушення у сфері управління побутовими відходами були незначними або не застосовувалися на практиці. Водночас в Україні не було належного екологічного моніторингу місць захоронення побутових відходів. Ще одним чинником, що гальмував реформу управління побутовими відходами, була відсутність дієвих економічних стимулів для зменшення утворення відходів і впровадження альтернативних методів захороненню. Законодавство не забезпечувало належного механізму дієвих інструментів фінансової підтримки сортування чи переробки відходів. Варто зазначити, що до 2022 року в Україні не було здійснено імплементації вимог директив Європейського Союзу щодо управління відходами, передбачених Угодою про асоціацію.

З прийняттям у 2022 році нового Закону України «Про управління відходами» [522], **(далі - Закон),** почалась системна реформа галузі у відповідності до європейських стандартів. **Закон** визначає правові, організаційні, економічні засади діяльності щодо запобігання утворенню, зменшення обсягів утворення відходів, зниження негативних наслідків від діяльності з управління відходами, сприяння підготовці відходів до повторного використання, рециклінгу і відновленню з метою запобігання їх негативному впливу на здоров'я людей та навколишнє природне середовище.

Згідно зі статтею 1 Закону, побутові відходи - змішані та/або роздільно зібрані відходи від домогосподарств, включаючи відходи паперу, картону, скла, пластику, деревини, текстилю, металу, упаковки, біовідходи, відходи електричного та електронного обладнання, відходи батарей та акумуляторів, небезпечні відходи у складі побутових, великогабаритні та ремонтні відходи, а також змішані та/або роздільно зібрані відходи з інших джерел, якщо ці відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств.

Утворювачами побутових відходів є домогосподарства, підприємства, установи та організації всіх форм власності, якщо утворювані ними відходи подібні за своїм складом до відходів домогосподарств.

[522] Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX: станом на 15 листоп. 2024 р., XXXX <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text> дата звернення 8 травня 2025.

Закон гармонізує українське законодавство з відповідними директивами Європейського Союзу у сфері управління відходами, що є частиною зобов'язань України в рамках Угоди про асоціацію з ЄС. Законом впроваджується ієрархія управління відходами (у порядку пріоритетності):

1) запобігання утворенню відходів;
2) підготовки відходів до повторного використання;
3) рециклінгу;
4) відновлення відходів (у тому числі виробництва енергії);
5) видалення відходів.

Закон передбачає обов'язкове роздільне збирання побутових відходів. У населених пунктах мають бути створені умови для роздільного збирання паперу, картону, пластику, скла, металу, а також біовідходів, текстилю та інших видів відходів.

Статтею 37 Закону встановлено цільові показники щодо підготовки до повторного використання та рециклінгу побутових відходів:

- до 2025 року - не менше 10 % їх маси;
- до 2030 року - не менше 20 % їх маси;
- до 2035 року - не менше 25 % їх маси;
- до 2040 року - не менше 35 % їх маси.

З метою створення ефективної системи управління відходами Закон встановлює рівні стратегічного планування (табл. 1).

Таблиця 1

Рівні та нормативно-правові документи стратегічного планування управління відходами в Україні

Рівень	**Нормативно-правовий документ**
Національний	Національна стратегія управління відходами Національний план управління відходами
Регіональний	Регіональний план управління відходами
Місцевий	План управління відходами територіальної громади
Мікрорівень	План управління відходами підприємства, організації, установи

«Національний план управління відходами до 2033 року» [523,] (далі - Національний план), визначає головні напрями реалізації державної політики у сфері управління відходами, натомість, регіональними та місцевими планами управління відходами визначаються конкретні заходи, необхідні об’єкти інфраструктури, технології, які враховують місцеві умови, економічні розрахунки та спроможність реалізації.

Основними завданнями, визначеними Національним планом у сфері побутових відходів є зменшення їх утворення, збільшення частки рециклінгу, впровадження роздільного збирання та поступова відмова від захоронення біовідходів. Національний план передбачає розвиток відповідної інфраструктури, удосконалення системи моніторингу, запровадження розширеної відповідальності

[523] Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 27.12.2024 № 1353-р, XXXX <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-р#Text> дата звернення 8 травня 2025.

виробника, а також підвищення ролі органів місцевого самоврядування у забезпеченні комплексного управління побутовими відходами.

Національний план включає в себе також «Національну програму зменшення захоронення біовідходів» та «Національну програму запобігання утворенню відходів». Він містить аналітику про поточний стан управління відходами в країні, прогнозні показники та стратегічні напрями розвитку сфери на 10 років, інструменти для реалізації поставлених цілей та моніторинг їх виконання.

Регіональний план управління відходами (РПУВ) - це комплекс взаємопов'язаних і узгоджених у часі заходів, спрямованих на вирішення проблем управління відходами в області. Основна мета РПУВ – забезпечення переходу до сучасної системи управління відходами, що передбачає їх ефективне використання як ресурсу та сталий розвиток. Це досягається шляхом запобігання утворенню відходів, їх безпечного поводження без загрози здоров'ю людей та довкіллю.

Кластерний підхід є ключовим елементом регіональної політики. Він передбачає створення кластерів управління відходами з урахуванням:

- рекомендацій щодо визначення територіальних меж;
- можливості створення регіональних об'єктів оброблення побутових відходів;
- перспектив розвитку інфраструктури відновлення відходів, у тому числі для енергетичних потреб;
- мінімізації витрат на транспортування та захоронення відходів.

Основними об'єктами інфраструктури управління відходами в межах кластеру мають бути:

- регіональні полігони побутових відходів;
- сміттєперевантажувальні станції;
- сміттєсортувальні лінії;
- сортувально-переробні комплекси, на основі технологій механіко-біологічного перероблення або термічного знешкодження;
- компостувальні станції.

Основою РПУВ є конкретні заходи, які формуються із врахуванням заходів, передбачених Національним планом управління відходами та спрямовані на реалізацію державної та місцевої політики у сфері управління відходами. Для кожного заходу визначаються відповідальні виконавці, строки реалізації, засоби контролю та проведення моніторингу результатів їх впровадження.

Основними проблемами системи управління побутовими відходами та її функціонування є[524]:

- неповні та неякісні дані щодо утворення, відновлення та захоронення відходів;
- відсутність планування та систематизації в управлінні потоками відходів;
- застаріла матеріально-технічна база та недосконала інфраструктура;
- відсутність сучасних полігонів для відходів, які відповідають вимогам державних та європейських норм і стандартів;
- низький рівень оброблення всіх видів відходів;
- недосконала система управління небезпечними відходами;
- відсутність інституційної структури управління медичними відходами на регіональному рівні;
- відсутність системи управління знятими з експлуатації транспортними засобами;
- низький рівень повторного використання та оброблення промислових відходів;

[524] Олександр Ігнатенко, "Кластерні підходи управління побутовими відходами при розроблені регіональних планів" (*Офіс сталих рішень*, 1) <https://ukraine-oss.com/klasterni-pidhody-upravlinnya-pobutovymy-vidhodamy-pry-rozrobleni-regionalnyh-planiv-rozbyrayemo-na-prykladah/> дата звернення 26 травня 2025.

- низький рівень переробки пластикових і гумових відходів;
- низький рівень збору і переробки біовідходів;
- наявність небезпечних відходів на великих територіях;
- неналагоджена співпраця між інституціями на рівні області, громади;
- недостатня обізнаність громадян щодо важливості сортування та оброблення відходів.

Ці проблеми вимагають комплексного підходу до реформування системи управління відходами включаючи підготовку підзаконних актів, розвиток інфраструктури, освітні програми та стимулювання інвестицій у цю сферу.

Отже, законодавство у сфері управління побутовими відходами в Україні поступово трансформується в напрямі відповідності стандартам ЄС. Закон «Про управління відходами» є важливим кроком до створення ефективної системи управління відходами. Однак, його успішна реалізація залежить від узгодженої роботи органів влади, наявності інфраструктури та залучення громадськості.

3.2 Стан сфери управління побутовими відходами в Україні та країнах Європейського Союзу

Незважаючи на те, що протягом останніх 20 років чисельність населення України постійно скорочується, обсяги утворення побутових відходів щорічно збільшуються. Середній показник утворення ТПВ в Україні за різними методиками розрахунку від 230 до 330 кг на одну людину в рік[525].

Утворення побутових відходів у країнах Європейського Союзу становить близько 505 кг на одну особу на рік (рис.1). Водночас цей показник суттєво варіюється залежно від країни: найменший обсяг фіксується в Румунії - приблизно 287 кг на людину, тоді як найбільший у Данії - 845 кг на людину. Різні обсяги утворення відходів в ЄС пов'язані з різними моделями споживання, економічним розвитком окремих країн, так і з особливостями способу життя, клімату тощо·

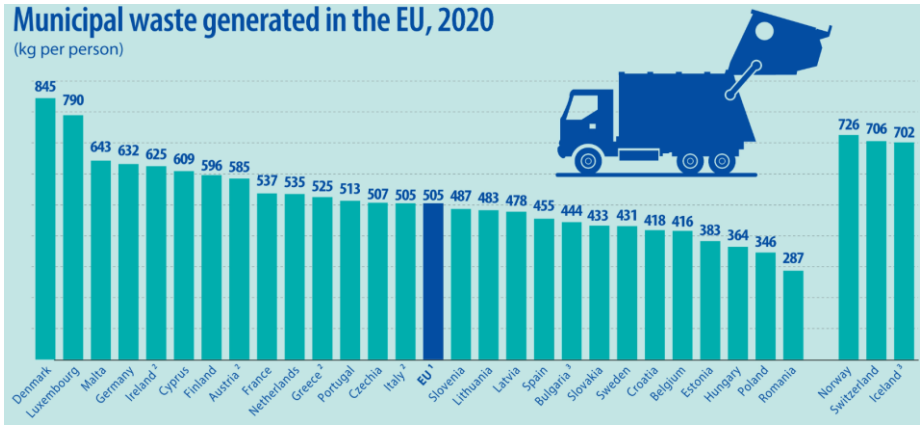


Рисунок 1. Утворення відходів на людину в країнах ЄС в 2020 році,кг/людину [526]

Способи управління побутовими відходами в країнах ЄС та Україні суттєво різняться (рис.2). У країнах ЄС в 2021 році обсяги відходів, захоронених на полігонах, становили лише 27%, тоді як в Україні цей показник був значно вищим - понад 90%

[525] Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 27.12.2024 № 1353-р, XXXX <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-p#Text> дата звернення 18 травня 2025.

[526] "Municipal waste generation up to 505 kg per person" (*Language selection | European Commission*) <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20220214-1> дата звернення 9 червня 2025.

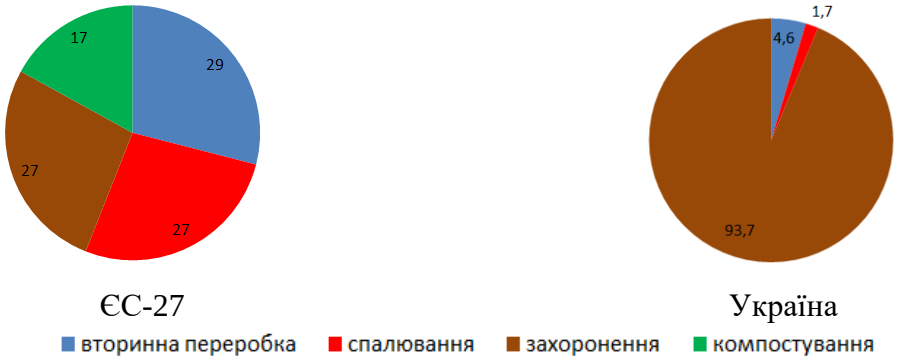


Рисунок 2. Управління побутовими відходами в країнах ЄС і в Україні, 2021р, %

Стан управління побутовими відходами в Україні є критичним і не відповідає європейським тенденціям у цій сфері. На відміну від ЄС, в Україні низький рівень переробки і спалювання побутових відходів, відсутнє компостування та високий показник захоронення на полігонах (понад 90%).

Динаміка поводження з муніципальними відходами в країнах ЄС у період з 1995 по 2020 рік демонструє тенденцію до скорочення обсягів захоронення відходів на полігонах та поступове збільшення інших способів їх обробки. Якщо на початку аналізованого періоду захоронення було основним методом утилізації побутових відходів, то з часом цей показник на душу населення послідовно зменшувався (рис. 3).

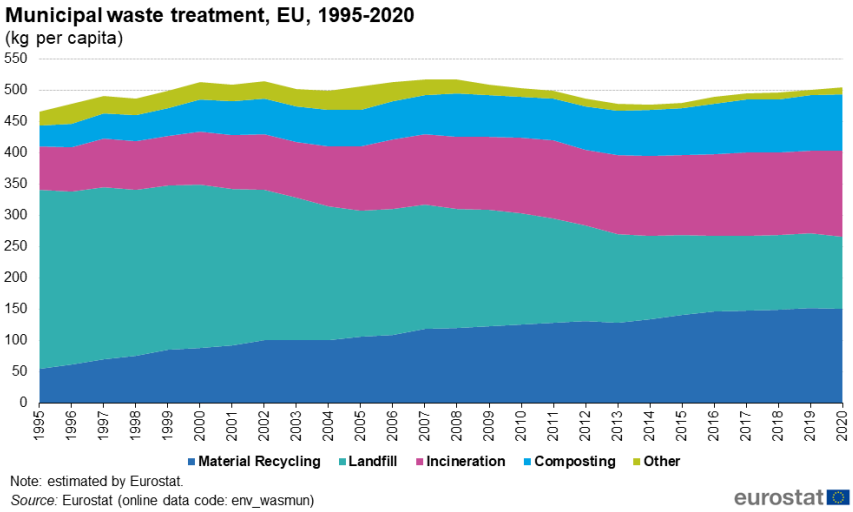


Рисунок 3. Поводження з комунальними відходів в ЄС, 1995-2020 р. [527]

У 2021 році в Україні утворилось понад 51 млн. куб. метрів побутових відходів (понад 10 млн. тонн), перероблено та утилізовано близько 7,64 відсотка побутових відходів, з них 1,14 відсотка спалено, а 6,5 відсотка побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні лінії. Згідно з даними, наданими обласними військовими адміністраціями (без урахування відомостей щодо тимчасово окупованих територій), у населених пунктах України за 2022 рік було утворено більше 7 млн тонн побутових відходів. За результатами 2022 року побутові відходи розміщені на 5,7 тис. сміттєзвалищах та полігонах (у 2021 році таких об'єктів було близько 6 тисяч), площа яких складає більше 8 тис. га (у 2021 році їх площа складала близько 6 тис. га). При

[527] (*Language selection | European Commission*) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en> дата звернення 9 травня 2025.

цьому перевантаженими є 163 одиниці (у 2021 році перезавантаженими було 230 сміттєзвалища), 693 сміттєзвалища не відповідають нормам екологічної безпеки (у 2021 році таких було 824). На жаль, неналежним чином у 2022 році проводилась робота з рекультивації сміттєзвалищ. Так з 2 197 сміттєзвалища, які потребують рекультивації, фактично рекультивовано 258 (у 2021 році було рекультивовано 29 одиниць). За інформацією Мінінфраструктури, потреба у будівництві нових полігонів складає 290 одиниць[528]

Отже, стан сфери управління побутовими відходами в Україні значно відрізняється від країн ЄС. Якщо для ЄС характерною є тенденція до скорочення обсягів захоронення, то в Україні, попри зменшення населення, обсяги відходів зростають, а понад 90% їх все ще захоронюється на перевантажених та екологічно небезпечних полігонах і звалищах. Це вказує на нагальну потребу в прискоренні реформи управління побутовими відходами в Україні.

3. Екологічна ризики захоронення біовідходів

В загальній структурі побутових відходів особливе місце займають біовідходи, фракція яких є значною і становить до 46 % на глобальному рівні та до 64 % у країнах з низьким рівнем доходу[529].

Біовідходи - відходи, що мають властивість піддаватися анаеробному або аеробному розкладу, такі як відходи харчових продуктів або відходи харчової промисловості на всіх етапах виробництва та споживання, відходи від зелених насаджень.

В Україні відсутні системні дослідження та офіційні дані щодо морфологічного складу побутових відходів. Ця прогалина є значною перешкодою для ефективного управління ними.

Результати експериментального дослідження морфологічного складу побутових відходів у населених пунктах України[530] (табл. 2) свідчать, що органічні відходи становлять понад 40% загального обсягу. Коливання цієї частки можуть пояснюватися сезонними особливостями або іншими впливовими чинниками.

Таблиця 2

Узагальнені дані щодо морфологічного складу побутових відходів, % мас

Компонент відходів	**Обласні центри,%**			**Міста 75–100 тис. осіб**		
	середнє	**мін**	**макс**	**середнє**	**мін**	**макс**
Папір, картон	7,0	3,3	11,8	6,6	5,6	8,5
Композити — упаковка для рідких харчових продуктів (тетрапак)	3,2	1,5	6,2	2,7	1,1	4,0
Метал	1,2	0,6	2,1	1,1	0,5	1.4
Полімери, у т. ч. ПЕТ	8,9	3,4	15,6	7,6	3,4	12,3
Скло	3,4	1,6	6.4	3,5	1,2	5,6
Органічні відходи (харчові, рослинні)	39,9	22,6	59,0	43,1	33,5	50,1
Небезпечні відходи	1,4	0,7	2,4	1,7	0,2	3,1
Несортований залишок неорганічний мінеральний (відсів, каміння)	7,1	1,5	14,7	7,2	7,0	11,4
Інші	14,0			13,2		
Усього	100,0			100,0		

[528] Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів: Розпорядж. Каб. Міністрів України від 27.12.2024 № 1353-р, XXXX <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-р#Text> дата звернення 18 травня 2025.

[529] Hangyong Ray Lu, Xin Qu та Ali El Hanandeh, "Towards a better environment - the municipal organic waste management in Brisbane: Environmental life cycle and cost perspective" (2020) 258 Journal of Cleaner Production 120756, XXXX <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120756>.

[530] Морфологічний склад побутових відходів узагальнені дані населених пунктів україни (2024) https://u-lead.org.ua/storage/admin/files/6c39ec127cadea84a3bd81453656d3ae.pdf.

Через відсутність в Україні дієвої та законодавчо закріпленої системи управління біовідходами, що охоплювала б їхнє окреме збирання, транспортування, переробку та утилізацію, ці відходи потрапляють на полігони та звалища. Захоронення біовідходів на полігонах і звалищах, значна частина яких функціонує з порушеннями вимог екологічної безпеки, створює значні ризики для довкілля.

Забруднення атмосферного повітря. Біовідходи перетворюють звалища і полігони побутових відходів на **неконтрольовані біореактори**, де постійно відбувається процеси деструкції органічних речовин та утворення проміжних і кінцевих продуктів, які мігрують у навколишнє середовище й підвищують екологічну небезпеку. На першому етапі, який є короткотривалим, у верхніх шарах полігонів і звалищ, де є доступ кисню, відбуваються аеробні процеси розкладання органічних речовин. У таких умовах утворюються та викидаються в атмосферне повітря діоксид вуглецю (CO_2), сірководень (H_2S), аміак (NH_3) й леткі органічні сполуки, які можуть мати різкий і неприємний запах та бути токсичними. На другому етапі, у результаті подальшого захоронення та ущільнення побутових відходів на полігонах і сміттєзвалищах, органічні відходи потрапляють в анаеробні умови, в яких деструкція органічної речовини відбувається значно повільніше, у порівнянні з аеробними процесами, і може тривати десятки років. Кінцевим продуктом анаеробної деструкції органічних відходів є звалищний біогаз, який містить 50-60 % метану[531].

Найбільше забруднення повітря спостерігається в безпосередній близькості до звалища, особливо в літній період, коли підвищується температура й інтенсивність біологічних процесів Проведені натурні дослідження Інституту громадського здоров'я ім. О.М.Марзєєва НАМНУ показали, що зона впливу на атмосферне повітря на сміттєзвалищах досягає межі санітарно-захисної зони (500м) - 1,1-1,2 ГДК по сірководню й аміаку. Наднормативний вплив на атмосферне повітря за межами санітарно-захисної зони не реєструється[532].

Клітатичні зміни. Полігони та звалища побутових відходів, що функціонують без систем дегазації, є **неорганізованими джерелами емісії парникових газів**. Ці викиди посилюють **глобальне потепління** та **зміни клімату**. Серед газів, що викидаються сміттєзвалищами є **метан (CH_4)** - основний компонент біогазу, який утворюється в процесі **анаеробного розкладу органічних речовин** мікроорганізмами за відсутності кисню. Цей газ є потужним парниковим газом, що характеризується значно вищим потенціалом глобального потепління порівняно з діоксидом вуглецю (CO_2). Зокрема, **здатність метану утримувати тепло в атмосфері є приблизно в 25 разів вищою, ніж у вуглекислого газу, протягом 100-річного періоду**[533].

Пожежонебезпечність. Особливою проблемою, що має значні екологічні ризики для навколишнього середовища є пожежі на звалищах і полігонах. Вони виникають у результаті неналежного ущільнення і покриття побутових відходів шарами ґрунту та за відсутності систем дегазації біогазу. В таких умовах біогаз накопичується у великих обсягах у «повітряних кишенях» або проникає в масив побутових відходів. Метан, як основний компонент біогазу є надзвичайно легкозаймистим та вибухонебезпечним. При контакті з джерелом займання (наприклад, іскра, відкритий вогонь, висока температура, самозаймання через біотермічні процеси) метан може спричинити поверхневі пожежі, що швидко поширюються по легкозаймистих матеріалах чи

[531] A Haarstrick та інші, "Modelling of the biodegradation of organic matter in municipal landfills" (2001) 19(4) Waste Management & Research 320,<http://dx.doi.org/10.1177/0734242x0101900409>.

[532] Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році (2022) https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf.

[533] KR Shivanna, "Climate change and its impact on biodiversity and human welfare" [2022] Proceedings of the Indian National Science Academy XXXX <http://dx.doi.org/10.1007/s43538-022-00073-6>.

г**либинні (тліючі) пожежі,** набагато небезпечніші, оскільки біогаз може горіти всередині сміттєвого масиву, де доступ кисню обмежений, але достатній для тління. Значна частка легкозаймистих матеріалів, таких як папір, пластик, текстиль, що потрапляє на звалища без попереднього сортування створює сприятливі умови для поширення вогню.

Пожежі на полігонах і звалищах побутових відходів є найбільш складними, неконтрольованими і тривалими, та вимагають залучення значних ресурсів, сил і засобів. Прогнозування та попередження пожеж на полігонах і звалищах є складним завданням. У результаті відкритого горіння побутових відходів в атмосферне повітря викидається оксид та діоксид вуглецю (CO та CO_2), оксиди азоту (NO_x), соляна кислота (HCl), ціанистий водень (HCN), леткі органічні сполуки, стійкі органічні забруднювачі, кетони, альдегіди та метали, такі як свинець (Pb), кадмій (Cd), ртуть (Hg), миш'як (As), хром (Cr), мідь (Cu), нікель (Ni), селен (Se) і цинк (Zn)[534].

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, **пожежі на полігонах і звалищах побутових відходів є досить поширеним явищем** в Україні (рис.4.).

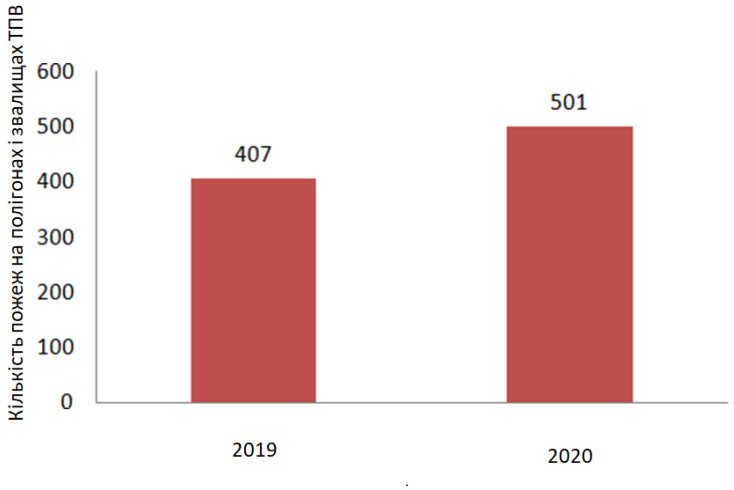


Рисунок 4. Кількість пожеж на полігонах і звалищах в Україні, 2019-2020 рр.[535]

Така кількість пожеж (рис. 4) свідчить про значні недоліки у системі управління відходами, які призводить до частих загорянь та створюють екологічні ризики.

Найбільша пожежа сталася у 2016 році на Грибовицькому полігоні твердих побутових відходів (Львівська область), яка призвела до обвалу сміття та загибелі людей. Ця подія не лише привернула увагу до критичного стану системи управління відходами, а й мала значні екологічні наслідки.

Ефективне впровадження норм будівництва полігонів та сучасної інфраструктури для переробки побутових відходів потребує значного ресурсу часу та інвестицій, а тому, проблема пожеж на полігонах і звалищах побутових відходів залишається вкрай актуальною для України.

Ут*ворення фільтрату.* Значний вміст вологи у біовідходах є основною причиною утворення фільтрату в тілі полігонів і звалищ.

Фільтрат звалищ і полігонів побутових відходів - це висококонцентрований розчин різноманітних токсичних органічних і неорганічних речовин. Склад фільтрату є надзвичайно складним і змінним у часі. Він включає **органічні речовини** (БСК$_5$, ХСК); **аміак, нітрати, нітрити, фосфати; важкі метали** (ртуть, свинець, кадмій, мідь, цинк); **феноли, нафтопродукти,**

[534] Jan Stefan Bihałowicz, Wioletta Rogula-Kozłowska та Adam Krasuski, "Contribution of landfill fires to air pollution – An assessment methodology" (2021) 125 Waste Management 182, XXXX <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.046>
[535] Статистичні довідки а 2020 рік (Державна служба України з надзвичайних ситуацій) https://dsns.gov.ua/statisticni-dovidki.

поверхнево-активні речовини; **мікроорганізми**. Фільтрат має темне забарвлення, високий рівень токсичності та дуже неприємний запах[536].

Враховуючи те, що значна частина звалищ і полігонів в Україні проектувалася без облаштування протифільтраційних екранів, системи збирання та видалення фільтрату, функціонування таких об'єктів становить екологічні ризики для гідросфери через забрудненням підземних і поверхневих вод.

Досліджено, що забруднення фільтратом підземних та поверхневих вод поширюється на 2-3 км (аміак, важкі метали). Варто зазначити, що ці забруднення поширюються і на джерела питного водопостачання. На полігонах контроль впливу фільтрату на підземні води обмежується територією полігону, в першу чергу через контроль ситуації та прийняття своєчасних заходів[537].

Забруднення ґрунтів. Ґрунти, розташовані в безпосередній близькості до полігонів накопичують різноманітні полютанти. Відкрите горіння побутових відходів на звалищах і полігонах призводить до забруднення ґрунтів прилеглих територій важкими металами та впливає на їх екологічний стан. Найбільш уразливими є верхні горизонти ґрунту, в яких відмічена максимальна концентрація токсичних речовин. Проблема ускладнюється тим, що важкі метали мають здатність до біоакумуляції, що створює довготривалі ризики для навколишнього середовища і здоров'я людини. Через рослини вони можуть потрапляти у харчові ланцюги, а згодом - і в організм людини, викликаючи різноманітні токсичні ефекти, включно з порушенням функцій нервової, серцево-судинної та імунної систем[538].

Збільшення кількості та концентрації важких металів у ґрунті викликає суттєві зміни у складі його мікробоценозу: зменшується загальна кількість мікроорганізмів ґрунту, збільшується частка мікроскопічних грибів у мікробних угрупуваннях. На територіях, прилеглих до полігонів і звалищ побутових відходів, фіксується зменшення активності ґрунтової мікрофлори, погіршується структура ґрунту та знижується його родючість[539].

Зміна видового біорізноманіття. Захоронення біовідходів на полігонах і звалищах створює ризики на видове біорізноманіття. Одним із найбільш уразливих компонентів екосистеми поблизу сміттєзвалищ є рослинність. Вплив на рослини має як прямі, так і опосередковані прояви - через зміну складу ґрунтів, води, повітря та мікроклімату. Біомоніторингові дослідження часто фіксують у рослин, що ростуть поблизу звалищ, підвищений вміст важких металів, які пригнічують розвиток кореневої системи. Деякі важкі метали накопичуються в тканинах рослин і можуть потрапляти до харчового ланцюга. Підвищена температура поблизу звалищ і полігонів побутових відходів (через екзотермічні процеси розкладання біовідходів) впливає на флору. У таких умовах пригнічується ріст більшості типових видів рослин. На звалищах формуються нові (переважно деградовані) типи рослинності[540].

Вивезення харчових відходів на звалища і полігони створює кормову базу для сапрофагів, сприяє розвитку окремих видів синантропної ентомофауни та орнітофауни[541].

---

[536] Гринчишин Н.М. Властивості фільтрату, утвореного після припинення експлуатації полігона твердих побутових відходів. Вісник ЛДУБЖД. 2019. С. 122–127. https://doi.org/10.32447/20784643.19.2019.14

[537] Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році (2022) https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf.

[538] Гринчишин Н. М. Вплив процесів горіння твердих побутових відходів на екологічний стан ґрунту. Пожежна безпека. 2012. № 20. С. 131-136. https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/files/20.pdf

[539] Гринчишин Н. М., Лозовицька Т. М. Вплив важких металів на мікробоценоз дерново-слабопідзолистого ґрунту. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Ґжицького, 2009. Т. 11, No 2(41), Ч.4. С. 54–57. file:///C:/Users/Home/Downloads/1Hrynchyshyn.pdf

[540] Білик Г. С. Еколого-ценотичні особливості рослинного покриву звалищ твердих побутових відходів. Наукові основи збереження біотичної різноманітності, 2011. Том 2(9), № 1. С. 33-50. URL: URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nozbr_2011_2%289%29_1_5

[541] Dementieieva Y., Chaplygina A., Kratenko R. Species composition of bird assemblages on waste landfills in Kharkov Region. Ornis Hungarica, Volume 31 (2023): Issue 1 (June 2023), p. 48-61. https://doi.org/10.2478/orhu-2023-0003

Сміттєзвалища приваблюють птахів завдяки наявності легкодоступної їжі. Водночас, такі території є місцем екологічних ризиків для орнітофауни, які можуть мати згубні наслідки для птахів. Постійне харчування залишками призводить до зміни харчової поведінки, залежності від антропогенних ресурсів, зменшення інстинкту природного добування їжі. У відходах часто містяться токсичні речовини, мікропластик, пестициди, ліки, зіпсовані продукти. Потрапляння таких речовин до організму птаха спричиняє отруєння, порушення травлення, накопичення шкідливих сполук у тканинах, зниження виживання пташенят. Пластик та пакувальні матеріали можуть спричиняти закупорку шлунково-кишкового тракту або механічні травми. Надмірне зростання чисельності деяких видів (наприклад, сріблястої чайки, ворон) на сміттєзвалищах призводить до витіснення рідкісних або менш агресивних видів у навколишніх біотопах. У районах великих полігонів птахи можуть залишатися на зиму, змінюючи міграційну поведінку через наявність харчової бази. Це порушує сезонну динаміку популяцій і може робити їх уразливішими до кліматичних змін або епідемій[542].

Захворюваність населення. За даними Національної академії медичних наук України аналіз захворюваності людей населених пунктів, прилеглих до сміттєзвалищ, показав, що негативний вплив на довкілля суттєво впливає на умови проживання населення, включаючи показники здоров'я. При зменшенні відстані від сміттєзвалища з 900 до 500 м спостерігалось зростання у 1,4 раз частоти патології серцево-судинної системи; у 1,7 рази - патології нервової системи; майже у 2 рази - інфекційної патології. Рівень захворюваності за серцевосудинними та хворобами органів дихання в найближчому населеному пункті перевищує в 1,5-2 рази середні обласні показники[543].

Таким чином, захоронення біовідходів на звалищах і полігонах, які не відповідають вимогам екологічної безпеки, створює значні екологічні ризики, пов'язані з утворенням токсичних газів, фільтрату, забрудненням прилеглих територій, зміною видового біорізноманіття та зниження якості життя в районах, наближених до полігонів і звалищ. **Метан,** що утворюється в процесі анаеробного розкладання органіки, впливає на зміну клімату і є ризиком виникнення одних із найнебезпечніших типів пожеж.

3.4 Компостування як екотехнологія. Управління біовідходами належить до основних напрямів політики Європейського Союзу в сфері сталого розвитку та циркулярної економіки. В контексті екологічної політики важливу роль відіграє Рамкова директива ЄС про відходи (2008/98/ЕС), яка зобов'язує держави-члени забезпечити окремий збір біовідходів або їх перероблення у спосіб, який відповідає принципам захисту довкілля.

За оцінками Європейської Комісії, біовідходи складають до 40% усіх муніципальних відходів у ЄС. Упродовж останніх двох десятиліть у країнах ЄС спостерігається чітка тенденція до зменшення полігонного захоронення біовідходів та розвитку альтернативних методів їхнього оброблення, зокрема компостування та анаеробного зброджування. В 2021 році середня кількість біовідходів, що підлягали цим методам обробки, становила понад 100 кг на душу населення в ЄС (рис. 5).

[542] Дементєєва Я. Ю. Орнітофауна полігонів твердих побутових відходів міста Харкова. *Вісник Черкаського університету*. 2021. №1 С.26-36. URL: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.40

[543] Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році (2022) https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf.

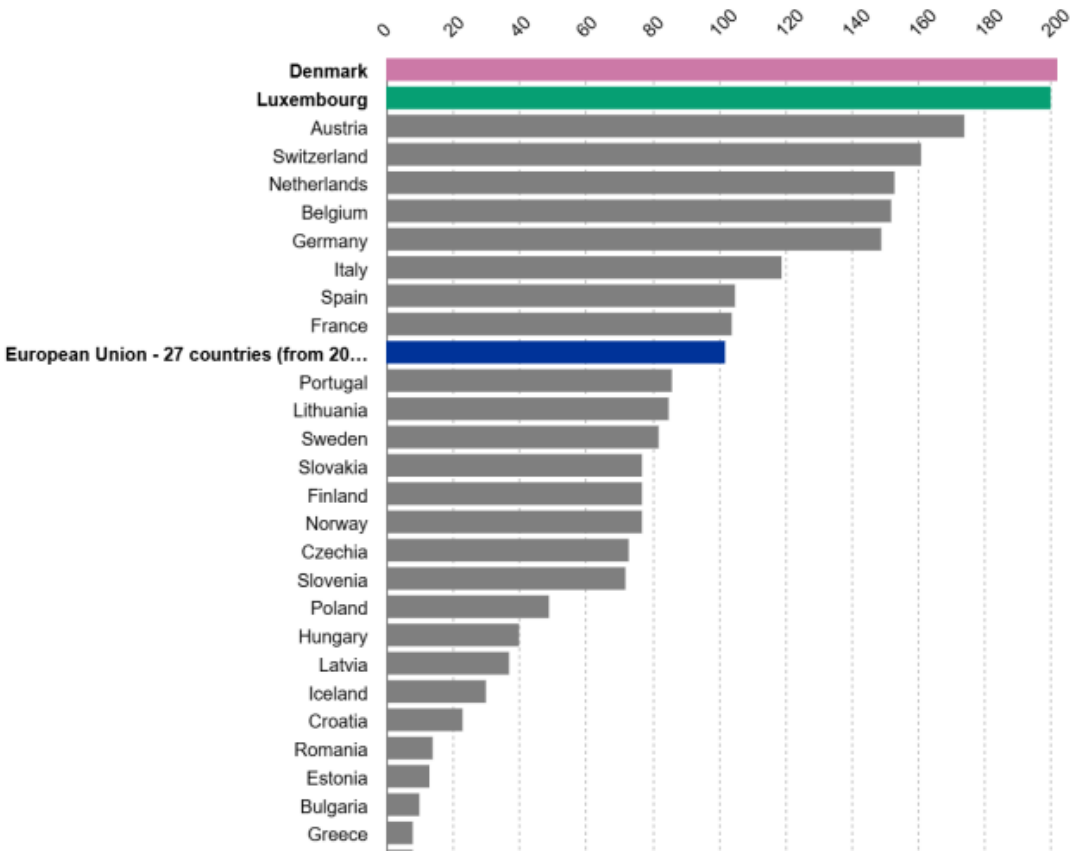


Рисунок 5. Компостування та аеробне зброджування муніципальних біовідходів в країнах ЄС за 2021 р., кг на одну особу в рік[544]

У країнах ЄС обсяги переробки біовідходів суттєво варіюються. Лідерами з переробки біовідходів на душу населення є Данія та Люксембург, де цей показник перевищує 190 кг/особу на рік. До групи країн із високим рівнем переробки також належать Австрія, Швейцарія, Нідерланди, Бельгія та Німеччина, де на душу населення щорічно припадає від 120 до 160 кг/особу перероблених біовідходів. Натомість найнижчі обсяги переробки біовідходів фіксуються в Греції, Болгарії, Естонії, Румунії та Хорватії, де цей показник становить менше 30 кг/особу.

Для управління муніципальними біовідходами в країнах ЄС практикують як технологію компостування, так і анаеробного зброджування. Вибір між цими методами або їх поєднання у межах гібридних технологічних схем (наприклад, попереднє анаеробне зброджування з подальшим компостуванням) кожна країна ЄС адаптує під власні стратегічні цілі, які залежать від умов місцевості, потреб у добривах або енергії, наявної інфраструктури.

У 2021 р. в ЄС функціонувала розгалужена мережа об'єктів біологічної обробки біовідходів, що охоплювала 4274 спеціалізовані установки. Більшість із них - 3403 об’єкти (близько 80%) реалізували технологію аеробного зброджування (компостування), що свідчить про її простоту, економічну доцільність та доведену ефективність у переробці біовідходів. Значно меншу частку становлять установки анаеробного зброджування (AD) – 738 одиниць, які переважно експлуатуються в країнах із розвиненою інфраструктурою відновлюваної енергетики. Комбіновані комплекси, що поєднують анаеробне та аеробне зброджування, представлені лише 133 установками (рис. 6).

[544] (*Language selection | European Commission*) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en> дата звернення 9 травня 2025.

Щорічно в ЄС продукується від 118 до 138 мільйонів тонн біовідходів, з яких наразі лише близько 40% (що еквівалентно 47,5 мільйонам тонн на рік) ефективно переробляється (рис.6). Найбільша частка цієї маси - 30,5 млн тонн (понад 64%) компостується, анаеробним зброджуванням переробляється 12,4 млн тонн (26,1%) від загальної маси біовідходів. Комбіновані технології застосовуються менше та обробляють 4,6 млн тонн (9,7%) біовідходів.



Рисунок 6. Компостування та аеробне зброджування муніципальних біовідходів у ЄС, 2021 р. [545]

Анаеробне зброджування є складним мікробіологічним процесом, що відбувається за відсутності вільного кисню в спеціально побудованих установках і передбачає послідовну дію симбіотичних мікробних спільнот. Ця технологія, переважно, практикується в країнах, які виділяють значні фінансові інвестиції для побудови установок для анаеробного зброджування й впроваджують відновлювану енергетику[546]. В Німеччині, Швеції, Данії та Люксембургу анаеробні установки використовують для переробки біовідходів у біогаз, який в подальшому використовується для виробництва електроенергії та тепла або очищується до якості біометану. Цей підхід дозволяє одночасно вирішувати енергетичні, екологічні та ресурсні проблеми. Окрім того, залишки після зброджування (дигестат) можуть бути використані як добриво після відповідної стабілізації[547]. Однак, оператори анаеробного зброджування стикаються з низкою проблем, однією з яких є доступ до регулярного, постійного та відповідного сировинного забезпечення протягом терміну експлуатації установок, які будуються на періоди, що перевищують 25 років[548].

Компостування – це процес аеробного біологічного розкладу органічних матеріалів із утворенням стабільного, збагаченого поживними речовинами продукту. Кінцевим продуктом цього процесу є **компост** - стабілізований, багатий на поживні речовини матеріал, що є цінним органічним добривом для ґрунтів. Застосування компосту сприяє підвищенню родючості ґрунту, покращенню його структури та водоутримуючої здатності, а також зменшує потребу у синтетичних добривах. Завдяки цьому, компостування не тільки усуває екологічні проблеми, пов'язані із захороненням, а й сприяє розвитку **циркулярної економіки**, оскільки повертає поживний ресурс у природний обіг.

[545] (*Language selection | European Commission*) <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasmun/default/table?lang=en> дата звернення 9 травня 2025.
[546] Angouria-Tsorochidou E., Teigiserova D. A., Thomsen M. Limits to circular bioeconomy in the transition towards decentralized biowaste management systems, Resources, Conservation and Recycling, 2021. V. 164, 105207. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105207
[547] European Environment Agency (EEA), 2020. *Bio-waste in Europe — turning challenges into opportunities*. https://www.eea.europa.eu/publications/bio-waste-in-europe
[548] Araya M. A Review of Effective Waste Management from an EU, National, and Local Perspective and Its Influence: The Management of Biowaste and Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *Journal of Environmental Protection*, 2018 (9). 652-670. doi: 10.4236/jep.2018.96041

Компостування є більш поширеною практикою обробки біовідходів у ЄС. Воно широко застосовується в країнах із розвиненим сільським господарством, де продукт компостування має стабільний попит. Наприклад, Австрія, Нідерланди, Бельгія та частково Німеччина активно впроваджують централізовані та децентралізовані системи компостування. Перевагами аеробного процесу є відносна технологічна простота, низький рівень капіталовкладень, а також екологічна безпечність.

Впровадження сортування з виокремленням біовідходів є важливим для ефективного компостування[549].

Промислове компостування проводиться в контрольованих умовах, що дозволяє регулювати процес і забезпечити його ефективність. У цьому процесі задіяні дві основні групи аеробних мікроорганізмів: мезофільні та термофільні. До цих груп належать бактерії, актиноміцети, плісняві гриби та дріжджі, які переважають на різних етапах компостування. Весь процес включає кілька послідовних фаз: початкову мезофільну, термофільну та другу мезофільну, яка також відома як стадія охолодження або дозрівання.

Компостування починається з мезофільної фази, коли температура підвищується до 20–40 °C. За нею настає термофільна фаза, під час якої температура досягає 40–70 °C, і саме в цей період інтенсивність розкладання органічної речовини значно зростає порівняно з початковим етапом. У результаті підвищення температури мезофільні мікроорганізми гинуть або втрачають активність, тоді як кількість термофільних і термотолерантних бактерій, актиноміцетів і грибів значно зростає. Завершується процес другою мезофільною фазою - стадією стабілізації або дозрівання, під час якої компост поступово переходить у готову до використання форму.

Фактори, що впливають на компостування, включають вміст вологи, розмір частинок, температуру компостування, pH, кисень та співвідношення C/N[550].

Вологість є ключовим фактором, що підтримує метаболічну активність мікробів. Вміст вологи в компостуючих сумішах слід підтримувати в межах від 40% до 60%. Надлишок вологи призводить до зниження дифузії кисню, а це, у свою чергу, знижує метаболічну активність організмів. Мікробні клітини повністю залежать від води для своєї метаболічної активності.

Найкращі умови компостування зазвичай досягаються, коли розмір частинок матеріалу є невеликими, що призводить до більшої площі поверхні взаємодії з мікроорганізмами. Швидкість аеробного розкладання збільшується зі зменшенням розміру частинок: малі частинки можуть зменшити рух кисню в купі, тим самим знижуючи швидкість компостування. Крім того, дуже малий розмір частинок сприяє утриманню вологи та зменшує повітряний простір, що призводить до зниження процесу компостування.

Температура є важливим фактором компостування, оскільки вона допомагає пришвидшити процес компостування та знищити патогенні організми, шкідливі для ґрунтових організмів, рослин, тварин та людини.

Ідеальне співвідношення C:N 30 є оптимальним для процесу компостування. Коли компостувальні матеріали мають низький вміст C:N, повітря не проникне в купу, що призводить до анаеробних умов та спричиняє утворення запаху, а також втрату азоту у вигляді газоподібного аміаку. Крім того, якщо співвідношення C/N занадто високе, активність мікроорганізмів знизижується.

---

[549] Grynchyshyn N., Datsko T., Mazurak O., Kachmar N. Municipal solid waste composting as a factor of sustainable development of the modern city. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 2490(1), 060018 https://doi.org/10.1063/5.0122780

[550] Ayilara, M.S.; Olanrewaju, O.S.; Babalola, O.O.; Odeyemi, O. Waste Management through Composting: *Challenges and Potentials. Sustainability* ***2020****, 12, 4456. https://doi.org/10.3390/su12114456*

Присутність кисню є важливою умовою під час процесу компостування. Коли організми окислюють вуглець для утворення енергії, наявний кисень витрачається, і утворюються гази. Без достатньої кількості кисню процес компостування стане анаеробним, і утворюватимуться гази (метан, вуглекислий газ та аміак), що призведе до утворення небажаних запахів.

Рівень pH біовідходів, що компостуються, впливає на швидкість компостування. Лужне середовище є найкращим для компостування. При кислому pH компостування відбувається дуже повільно, оскільки гинуть мікроорганізми.

Використання компосту в сільськогосподарському виробництві покращує родючість ґрунту та врожайність рослин. Внесення компосту збагачує ґрунт органічними речовинами, що пов'язано з високим вмістом поживних елементів у компостованих матеріалах і наявністю мікроорганізмів, які стимулюють ріст рослин.

Компост повинен містити основні елементи для живлення рослин (азот, фосфор і калій) [551].

Азот необхідний для повноцінного росту та розвитку рослин. Його нестача негативно впливає на фізіологічні процеси, проявляється пожовтінням листків, уповільненням росту, зниженням вмісту білка та загальним ослабленням рослин. Азот входить до складу хлорофілу, тому відповідає за інтенсивне зелене забарвлення рослин. Компост зазвичай містить достатню кількість азоту, необхідну для забезпечення потреб рослин у цьому елементі. Високий вміст азоту в компості трапляється рідко, оскільки деякі сполуки з азотом вивільняються у вигляді газів.

Фосфор є важливою складовою частиною нуклеїнових кислот рослин, які беруть участь у регуляції білкового синтезу. Він відіграє важливу роль у процесах клітинного поділу, формуванні нових тканин і забезпеченні енергетичного обміну. Внесення фосфору в ґрунти з його низьким вмістом сприяє активному росту кореневої системи, підвищує стійкість рослин до низьких температур, стимулює розвиток надземної частини та пришвидшує дозрівання врожаю. Недостатнє фосфорне живлення гальмує ріст, погіршує формування насіння й плодів, затримує достигання та призводить до зміни кольору листя - воно набуває характерного темно-синього або синьо-зеленого відтінку. Компост містить фосфор у кількостях, що забезпечують оптимальні умови для росту та розвитку рослин.

Калій сприяє інтенсивному росту, підвищує вміст хлорофілу та каротину, покращує забарвлення рослин і зміцнює їхню структуру. Калій бере участь у синтезі цукрів та відіграє важливу роль у підвищенні стійкості рослин до захворювань і несприятливих умов середовища, таких як посуха чи низькі температури. При нестачі калію спостерігаються характерні ознаки: з'являються опіки та бурі плями на кінчиках старого листя, які з часом поширюються на всю поверхню, а також слабкість і ламкість стебел. Компости є джерелом значної кількості калію, який необхідний для повноцінного росту і розвитку рослин.

Застосування компосту ефективно зменшує інтенсивність ерозії. Внаслідок ерозійних процесів відбувається істотна втрата таких важливих елементів, як азот, фосфор і калій. Компост сприяє покращенню структури ґрунту, підвищує його водоутримувальну здатність і стабільність ґрунтових агрегатів.

Компост служить біологічним захистом від хвороб рослин. Мікроорганізми, присутні в компості, використовують різні механізми боротьби зі своїми патогенними аналогами. До них належать конкуренція за поживні речовини, паразитизм, хижацтво, виробництво антибіотиків, виробництво літичних та інших позаклітинних ферментів або сполук.

[551] Khater E. Some physical and chemical properties of compost. *Int. J. Waste Resour.* 2015, *5*, 1–5. DOI: 10.4172/2252-5211.1000172

За допомогою компосту можна відновити ґрунт, забруднений важкими металами. Компост сприяє розкладанню хлорованих та нехлорованих вуглеводнів, хімікатів, пестицидів, нафтопродуктів у ґрунті.

Вперше в Україні практика промислового аеробного компостування біовідходів як пілотний проект впроваджена у 2020 році в місті Львові. Львів доєднався до проєкту «Перехід до «нуль відходів» у рамках програми «Zero Waste Cities», підписавши Меморандум між Львівською міською радою та «Zero waste Europe». Місто офіційно стало першим містом, що не належить до Європейського Союзу, учасником проєкту. Пілотний проєкт компостування органічних відходів у місті Львові здійснюється на спеціально облаштованій станції.

Для відокремлення біовідходів у межах міста встановлено спеціальні контейнери для збору органічних відходів від населення (рис. 7). Станом на кінець 2024 року контейнери для збору органічних відходів встановлені на 1468 майданчиках для збору побутових відходів.

На станції компостування харчові відходи завантажують у контейнер для знезараження. Стерилізація відходів здійснюється протягом 48 годин при температурі 72-80°С і забезпечує знищення бактерій та нейтралізацію різних запахів. Садово-паркові відходи (гілки, стовбури дерев), які потрапляють на станцію компостування, подрібнюють на щепу на дробарці для деревини.

Харчові відходи вологістю 70-80 % змішують з подрібненою до розмірів 5-40 мм деревиною, листям та травою в співвідношенні 3:1. До цієї суміші для ефективності процесу компостування додають біопрепарати. Суміш укладають в бурти для дозрівання. Для запобігання загниванню органічних відходів в буртах їх перемішують кожні 3-5 днів та аерують. Процес компостування триває від 3 до 5 місяців і відбувається з виділенням тепла. Температура в буртах може сягати 70 °С. Через 3-5 місяці дозрілий готовий стабілізований продукт компостування пересіюють на комплексі обладнання для відокремлення великої фракції, яку використовують як природний бактеріальний препарат для збагачення органічної речовини в буртах.



Рисунок 7. Контейнери для збору органічних відходів у місті Львові

Вміст забруднюючих речовин (CO, NO_2, SO_2, O_3, NO, H_2S, NH_3) в повітрі на межі санітарно-захисної зони станції компостування не перевищує гранично допустимі концентрації. Наявність

асфальтованого майданчика та системи збору фільтрату на станції аеробного компостування запобігає забрудненню ґрунтових вод[552].

Фізико-хімічні та мікробіологічні показники компосту відповідають стандартам для органічних добрив, що дозволяє його використовувати в сільському господарстві. Вміст важких металів у компості не перевищує нормативні значення, що знижує екологічні ризики при його застосуванні. Відсутність у компості Salmonella, Clostridium perfringens, яєць і личинок гельмінтів, цист кишкових найпростіших забезпечує його санітарно-біологічну безпеку.

Технологія промислового аеробного компостування органічної фракції побутових відходів у Львові демонструє екологічність та можливість створення якісного кінцевого продукт - органічного добрива. Проект аеробного компостування органічної речовини є успішним прикладом локальної ініціативи у сфері сталого управління органічними відходами й може бути масштабований в інших українських містах.

4. ВИСНОВКИ

До 2022 року нормативно-правове регулювання у сфері управління відходами в Україні сприяло переважному захороненню побутових відходів. Прийнятий у 2022 році Закон України «Про управління відходами» започаткував реформу системи поводження з відходами. Документ впроваджує ієрархію управління відходами та передбачає обов'язкове роздільне збирання біовідходів, розвиток інфраструктури для їхньої переробки та зменшення їх захоронення.

Сучасний стан управління побутовими відходами демонструє суттєві відмінності між Україною та країнами Європейського Союзу. В ЄС, попри вищі показники утворення відходів на душу населення спостерігається тенденція до скорочення обсягів захоронення. Натомість, в Україні ситуація залишається критичною. Обсяги утворення побутових відходів щорічно збільшуються, а понад 90% цих відходів потрапляють на полігони і звалища для захоронення. Значна кількість полігонів і звалищ в Україні знаходяться у перевантаженому стані та не відповідають нормам екологічної безпеки.

Захоронення біовідходів, частка яких у складі побутових відходів є значною, створює значні екологічні ризики. У процесі розкладу біовідходів утворюються й викидаються токсичні речовини, зокрема метан, сірководень, аміак, а також інші леткі органічні сполуки, які забруднюють атмосферне повітря та є шкідливими для здоров'я населення. Фільтрат із полігонів містить важкі метали, нітрати, хлориди, органічні забруднювачі, які можуть потрапляти у ґрунтові й поверхневі води, спричиняючи забруднення водних екосистем і деградацію ґрунтів. **Метан**, що утворюється в процесі анаеробного розкладання біовідходів впливає на зміну клімату і є вагомим фактором виникнення найнебезпечніших типів пожеж на полігонах і звалищах. Умови поблизу полігонів і звалищ побутових відходів знижують видове різноманіття.

Компостування є ефективною, екологічно безпечною та економічно доцільною технологією управління біовідходами, яка сприяє зменшенню навантаження на полігони, покращенню якості ґрунтів та розвитку циркулярної економіки. Впровадження промислового компостування, зокрема за умов попереднього сортування органічної фракції, дозволяє зменшити екологічні ризики, пов'язані з захороненням біовідходів. Утворений в контрольованих умовах продукт компостування є цінним органічним добривом. Модель промислового компостування, впроваджена у м. Львові, є прикладом ефективного управління біовідходами, що може бути масштабована на інші міста України.

[552] Grynchyshyn N, Kuzyk A, Shkumbatiuk O, et al. Composting technology and product analysis based on the results of a pilot project in Lviv (Ukraine). Ecological Engineering & Environmental Technology. 2025;26(7). https://www.ecoeet.com/Composting-technology-and-product-analysis-based-on-the-results-of-a-pilot-project,205209,0,2.html#ungrouped

ЕКОЛОГО-БІОБЕЗПЕКОВІ ПРОБЛЕМИ ПОРОДЖЕНІ СТИХІЙНИМИ СМІТТЄЗВАЛИЩАМИ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

ECOLOGICAL AND BOARDING PROBLEMS ARE GENERATED BY NATURAL LANDFILLS OF ZAKARPATTYA REGION

Василь Дочинець, аспірант, e-mail: mr.dochinec@gmail.com, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCiD: 0009-0007-2119-7382

Тарас Шуплат, старший викладач кафедри екологічної безпеки, e-mail: tarasshyplat@ukr.net, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCiD: 0000-0003-3497-2636

Наталія Попович, головний спеціаліст відділу документального забезпечення та архіву Львівського окружного адміністративного суду, кандидат технічних наук, e-mail: vinata7@gmail.com, ORCiD: 0000-0003-1044-1515

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.17

Анотація. У дослідженнях розглядаються питання проблематики нераціональності системи управління відходами, результатами чого є комплексні загрози еколого-біобеспекового характеру для навколишнього природнього середовища та населення. Детально розглядаються питання причин виникнення стихійних сміттєзвалищ в Україні в цілому та в Закарпатській області зокрема. Розкрито результати маршрутних спостережень з виявлення стихійних сміттєзвалищ на берегах річок, у містах, поблизу лісових масивів Закарпатської області. Приведено рекомендації, спрямовані на оптимізацію системи управління відходами у регіоні задля унеможливлення виникнення нових стихійних сміттєзвалищ, що необхідно для підвищення рівня екологічної безпеки регіону.

Ключові слова: управління відходами, стихійне сміттєзвалище, полігони, відходи, екологічна безпека, біобезпека, транскордонне забруднення, природоохоронне законодавство.

Abstract. The research deals with the issues of irrationality of waste management system, the results of which are complex threats to ecological and biobeshetic nature to the environment and the population. The issues of the causes of natural landfills in Ukraine as a whole and in the Zakarpattya region in particular are considered in detail. The results of route observations on the detection of natural landfills on the banks of rivers, in cities, near the forest areas of the Transcarpathian region are revealed. Recommendations aimed at optimizing the waste management system in the region to prevent the emergence of new natural landfills, which is necessary to increase the level of environmental safety of the region.

Keywords: waste management, spontaneous landfill, landfills, waste, environmental safety, biobace, cross -border pollution, environmental legislation.

1. ВСТУП

Комплекс проблем, спричинених нераціональністю системи управління відходами в Україні, займає одне із провідних місць серед безпекових загроз для навколишнього природнього середовища та населення.

Проблема впливу різних категорій відходів в Україні, має значну тривалість і глобальність її впливу носить загальнонаціональний характер. Адже складно уявити будь яку область чи об’єднану територіальну громаду, котрі не зіштовхуються з нею. Дана проблема

постала десятки років тому, а окремі місця захоронення відходів, розрослися настільки, що виглядають мало не державами в державі.

За статистичними даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України[553], в нашій країні є близько 6000 офіційних сміттєзвалищ та полігонів (діючих та тих, що вийшли з експлуатації), які займають понад 9 тисяч гектарів території. Також налічується понад 30 тисяч стихійних сміттєзвалищ. Дані об'єкти породжують екологічні, санітарно-гігієнічні, біобезпекові загрози, масштаб яких, буквально щодобово зростає через відсутність реальних практичних рішень, спрямованих на їхню нейтралізацію.

За підрахунками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України в країні щорічно утворюється понад 10 мільйонів тонн відходів, з яких лише незначний відсоток сортується і йде на переробку. Кожен громадянин України в середньому, щорічно утворює від 200 до 300 кілограмів побутових відходів, тобто близько 1 кг сміття щодня [554].

Для вирішення цієї проблеми необхідно цілу країну "*покрити*" мережею сміттєпереробних і сміттєспалювальних заводів та сміттєсортувальними лінійними комплексами. За підрахунками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, необхідно побудувати 207 нових сучасних сміттєпереробних заводів в Україні за майже 4 мільярди доларів. Це допоможе наздогнати середній рівень переробки по Європейському Союзу.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Побутові відходи, як один із найбільш динамічно зростаючий вид відходів спричиняють захаращення значних площ дорогоцінної землі, наносять невиправну шкоду навколишньому природному середовищу, через забруднення отруйними токсичними речовинами повітряного басейну, ґрунту, поверхневих і підземних вод, генерують значну кількість хвороботворних бактерій, мікроорганізмів, патогенів, які спричиняють біобезпекові загрози, спричиняють деградацію ландшафтно-територіальних комплексів, впливають на стан здоров'я населення та рівень продовольчої безпеки країни.

Офіційно зареєстровані полігони твердих побутових відходів небезпечні у разі відсутності на його території **сміттєсортувального обладнання** чи сміттєпереробного підприємства, концентрування значних об'ємів різноструктурованих відходів. Та дані об'єкти, хоча б піддаються офіційному підрахунку, статистичним та науковим дослідженням.

Ще однією гранню небезпеки не облаштованості системи управління відходами є вплив стихійних сміттєзвалищ, які виникають часто в певній мірі хаотично та створюють складнощі з їх обліком, оцінкою реальної кількості відходів, які концентруються на них, складністю проробки та планування природоохоронних заходів, спрямованих на зниження рівня їх впливу.

Дана проблема притаманна усім регіонам нашої країни. Стихійні сміттєзвалища можуть містити різні типи відходів надвисокого рівня небезпеки. Окрім того, їх розміщення здійснюється без урахування діючих санітарних правил і норм. Статистично найчастіше вони концентруються неподалік населених пунктів (невеликих міст, селищ міського типу, сіл). До таких місць можна віднести ділянки лісосмуг, заглиблення, балки та яри, котрі тягнуться вздовж автодоріг, сільськогосподарських угідь, узбережжя водойм, на території лісових масивів, зовнішніх і внутрішніх узлісь, де вражаються отруйними речовинами значні території, відбувається загибель рідкісних видів флори та фауни, а населені пункти отримують

[553] Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: https://mepr.gov.ua/

2 Кравченко М.Г. Управління побутовими відходами в Україні. Запоріжжя: Гельветика 2019. 470 с.

забруднену воду і їдкий неприємний запах, який є результатом випарів у повітря, відбувається активізація екзогенних процесів, зміна гідрогеологічного балансу і умов поверхневого стоку, утворюються фільтрати, розвиваються ерозійні процеси, горіння територій, збільшується навантаження на ґрунти, вилучаються з господарського обігу значні площі земельних ділянок[555].

Не так давно, а саме 30-50 років на типових сміттєзвалищах і Україні практично не зустрічалась пластикової упаковки, а в наш час це дуже складна і поширена проблема. Практично усі майже всі продукти мають декілька шарів пакування, виготовлених із синтетичних полімерних матеріалів.

Значною проблемою, котра хронологічно подовжує загрози, є різна тривалість процесів розкладу певних матеріалів: скло – понад 1000 років, газетний папір – від одного місяця до року, офісний папір – 2 роки, картон – впродовж 3-х місяців, поліетиленові пакети – 100-200 років, пластикові тари – 180-200 років, металеві банки – 10 років, побутовий одяг та взуття – 10 років, авто акумулятори – 100 років, фольга – понад 100 років, батарейки та гальванічні пристрої – 110 років, гумові покришки – 120-140 років, алюмінієві банки – понад 500 років та ін.[556]

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Як показують дані маршрутних досліджень, на стихійних сміттєзвалищах присутні різні види відходів, в тому числі і ті, котрі категорично забороняється змішувати разом із побутовими, наприклад відходи медичного походження та небезпечні.

В рамках моніторингової статистичної оцінки кількості стихійних сміттєзвалищ, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, успішно декілька років тому, розмістило на своєму офіційному сайті **інтерактивну мапу сміттєзвалищ України**, де можна в онлайн режимі залишити індивідуальне повідомлення щодо виявленого сміттєзвалища та його координат на місцевості. Таким чином фахівці Міністерства пропагують громадянську відповідальність та суспільну солідарність у протидії даній загрозі[557].

Серед головних причин виникнення стихійних, несанкціонованих звалищ, за даними вітчизняних науковців та дослідників, виділяють наступні[558]:

1. Надмірне заповнення місць розміщення твердих побутових відходів та значна потреба у нових місцях складування. Дуже часто стан існуючих місць складування є незадовільним, недостатньо об лаштованим. З майже 6 тис. офіційно відомих місць видалення побутових відходів, біля 6% є перевантаженими, а 1646 од. (30%), практично не відповідають нормам екологічної безпеки. До того ж надто низькими та повільними є роботи з паспортизації та рекультивації сміттєзвалищ. За статистичними даними близько 36% об'єктів потребували паспортизації, а 550, становить 10% рекультивації. У контексті цього потреба нових місць складування становить, за даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, становить 400 одиниць.

2. Недостатній рівень охоплення населення малих міст, селищ міського типу послугами з вивезення побутових відходів. Це теж складна проблема, яка потребує організаційного вирішення.

[555] Popovych V.V. Efficiency of the dusk-carts operation in the environment "city-landfill" / V.V. Popovych, O.V. Prydatko, M.I. Sychevskyi // Bulletin of National Forest Engineering University of Ukraine(NFEUU) . 2017. Vol. 27, № 10. P. 111-116. (Ukr)
[556] Голос Карпат. URL: https://goloskarpat.info/boundless/61b105522c89f/
[557] Ліман А.М., Хандогіна О.В. Аналіз факторів виникнення стихійних сміттєзвалищ в Україні. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених, Харків, 22-23 листопада 2018 р. Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова С. 161-163

Тут виділяють кілька причин:

– відсутність або ж низька якість автомобільних доріг у сільській місцевості, для якої характерна низька щільність населення та значні віддалі між населеними пунктами та об'єктами поводження з відходами;

– нестача спеціального обладнання, наприклад контейнерів, сміттєвозів та кваліфікованих кадрів, яка в основному обумовлена нестачею фінансування у місцевому бюджеті;

– низький рівень екологічного виховання населення та відношення до проблеми управління відходами. Часто питання безпеки довкілля та місць проживання, у окремих категорій населення відходить на другий план у порівнянні із добробутом і забезпеченням побуту;

3. Неякісні послуги з вивезення твердих побутових відходів, що характерні для малих міст, селищ міського типу, сіл, що напряму пов'язані із наступними факторами:

– *застарілий спецавтотранспорт/1т та його дефіцит.* Усереднений показник зношеності сміттєвозів складає до 70%. Варта зазначити, що найчастіше використовуються для цих потреб невеликі автомобілі, у яких низька ефективність функціонування, якщо відстань від району збору відходів до місця розвантаження, перевищує 5-10 км;

– *зношені контейнери або їх нестача.* Серед контейнерів Найбільш використовуваними є пластикові та металеві контейнери, без кришок чи транспортних коліс. Коли ці контейнери виходять з ладу, то їх неможливо пересувати вручну, а вивантаження можливо лише з використанням сміттєвозів, обладнаних пристроєм бокового завантаження. Ще однією проблемою, є те, що через відсутність кришок у теплу пору року розкладання відходів протікає інтенсивніше, а в зимовий період призводить до їх замерзання, що ускладнює вивантаження, перевезення і обробку відходів. Трапляються ще й випадки вивезення твердих побутових відходів безконтейнерним способом за графіком;

– *недотримання графіку вивезення твердих побутових відходів*. Через несвоєчасне вивезення відходів, вони стають осередками розмноження гризунів і комах, джерелом інфекційного забруднення;

– *недотримання вимог щодо облаштування контейнерних майданчиків*. Згідно рекомендацій, контейнерні майданчики, де відбувається роздільне збирання побутових відходів, мають мати водонепроникне тверде покриття та бути обладнані навісами, загорожами та бути ізольованими від об'єктів обслуговування населення, господарських дворів, магістральних вулиць смугою зелених фітомеліоративних насаджень, захищеними від зграй здичавілих міських тварин;

– *неефективність тарифної сітки послуги у сфері поводження з побутовими відходами*. У зв'язку з процесами децентралізації, основна частка відповідальності у тарифоутворенні, покладається на місцеву владу об'єднаних територіальних громад, об'єднання співвласників багатоквартирних будинків. Дуже часто величина тарифів для споживачів не залежить від фактичного обсягу відходів, тарифи є недостатніми для операторів, що не дозволяє їм покрити витрати на утримання екологічно безпечної інфраструктури;

– *недосконалий маршрут руху сміттєзбирального транспорту*. Формування маршруту для збору відходів потребує комплексного підходу, де враховуються наступні фактори: рух транспорту в межах міста і по заміській дорозі; віддаль від гаража до обслуговуваної зони збору відходів (*прямий маршрут*); під'їзні шляхи для сміттєвоза і наявний вільний простір поблизу майданчика, віддаль між контейнерними майданчиками та відстань від точки вивантаження відходів до гаража (*зворотній маршрут*);

4. *Низька екологічна культура та свідомість населення*. Ці поняття повинні включати ідеали і цінності, норми поведінки, екологічну відповідальність, почуття обов'язку перед навколишнім

природнім середовищем. В цілому культура – це спосіб життя людини і суспільства, а екологічна свідомість – сутність екологічної культури. Тут ідеться і про виховання у різних поколінь відчуття відповідальності за стан довкілля, усвідомлення необхідності його збереження, як на рівні спільнот, так і на особистому рівні.

Значна проблема із стихійними сміттєзвалищами уже кілька десятиліть фіксується на території Закарпатської області, площа якої становить 12777 км², а кількість населення – 1,244 мільйона, густота населення – 97,34 осіб/км²[559].

Тут у природних екосистемах (лісових, поблизу сільськогосподарських угідь, вздовж берегової лінії річок) з кожним роком фіксується значна кількість стихійних сміттєзвалищ.

Особливо актуальним це питання постає на початку весни та в період паводків, коли в долинах і в звивинах уздовж течії річок, екологами і місцевим населенням виявляються численні сміттєзвалища, які формуються внаслідок зносу відходів течією річок. У звивистих заглибинах берегової лінії формуються концентруються відходи в основному побутового походження.

Особливо забрудненою є найбільша річка регіону – Тиса, яка є лівою притокою Дунаю. ЇЇ протяжність у межах України становить 201 км. Вона утворюється в наслідок злиття Чорної і Білої Тиси за 4 км вище міста Рахова.

Проблема носить транскордонний характер, тому що Тиса і Латориця, є транскордонними річками, котрі несуть свої швидкоплинні води у країни ЄС, Тиса в Угорщину та Сербію, а Латориця – у Словаччину.

У наслідок численних маршрутних спостережень вздовж річки Тиси нами фіксувались значні концентрування відходів, котрі унеможливлювали доступ до берегової лінії річки[560] (рис. 1).



Рисунок 1. Приклад одного із виявлених стихійних сміттєзвалищ на березі мальовничої річки Тиси (Закарпатська область)

Так, лютневий паводок 2025 року зібрав сміття з берегів та зон заплави річки, через що утворилися нові сміттєві затори та збільшилися в розмірах існуючі з минулого року. Частину відходів течія річки знесла нижче до державного кордону.

[559] Екологічний паспорт Закарпатської області за 2023 рік. Ужгород: Закарпатська обласна державна адміністрація, 2024. 171 с.
[560] Доповідь про стан навколишнього природного середовища Закарпатської області за 2023 рік. Ужгород: Департамент екології та природних ресурсів Закарпатської обласної державної адміністрації, 2024. 148 с.

Варта зазначити, що в зимовий період головною проблемою зі збору відходів з берегової лінії річок, обліку їх обсягів теж є утрудненим. Не останню роль у процесах переносу відходів і взимку, відіграють часті відлиги та перепад добових температур.

Чимало природоохоронних організацій місцевого значення та природо охоронців здійснюють роботи з пошуку відходів, позначення їхніх координат на карті, допомагають у прибиранні.

З використанням техніки водників, громадські активісти – прибирають, сортують відходи: пластик, скло здають на переробку; деревину віддають малозабезпеченим мешканцям. Одну із таких локацій, можна побачити на рисунку 2.



Рисунок 2. Місце концентрування побутових відходів у межах прибережного "*хвилястого*" ландшафту річки

Громадські активісти стверджують, що серед відходів, які надходять в Угорщину з України, є також румунські та словацькі. Тому вже багато років ведуться роботи з налагодження діалогу та співпраці України з Словаччиною, Угорщиною, Румунією, в питаннях подолання цих загроз. Важливим аспектом у подоланні цієї проблеми, яка суттєво знижує рівень екологічної безпеки регіону, є визначення місць облаштування пасток на берегах річок, де можна було б акумулювати відходи, щоб не допускати його потрапляння за кордон, облаштування камер спостереження, аби визначати, звідки відходи потрапляють до річок.

За підрахунками міжнародних природоохоронних організацій з р. Тиси виловлено до 200 тис тонн відходів, значну частку з яких має пластик[561] (рис. 3).



Рисунок 3. Типова картина заповнення поверхні р. Тиси відходами

[561] На Закарпатті виявили несанкціоновані сміттєзвалища. URL: https://eco.rayon.in.ua/news/588079-na-zakarpatti-viyavili-nesanktsionovani-smittezvalishcha

На поверхні води можна досі побачити значну кількість ПЕТ-пляшок та іншого сміття. Але й існує інший тип забруднення, який неможливо побачити неозброєним оком. Це мікропластик, що потрапляє в річки через стічні води та через руйнування великих шматків. Дослідниця Тімеа Кішш (Kiss Tímea), доцент Сегедського університету, наводить наступний загрозливий приклад: осад у Тисі містить 3-4 тисячі мікрочасток пластику на кілограм. Це перевершує навіть забруднення річки Ганг в Індії.

У 2021 році працівники водного господарства очистили річку на понад 2100 м^3 змішаних відходів, з яких кількість побутових відходів перевищила 400 м^3.

Значна кількість сміттєзвалищ зафіксована також і на берегах інших річок регіону – Латориці, Боржави, Тереблі і Тересви.

Таким чином проблема надзвичайно глобальна і потребує негайного масштабного вирішення.

Не менш значні загрози створюють стихійні сміттєзвалища на суходолі, зважаючи на те, що статистично кожен українець накопичує 250–300 кілограмів сміття, з них утилізується лише 5%. В Ужгороді цей показник дещо вищий – 14%. Існуючий полігон селі Барвінок, куди звозять тверді побутові відходи з міста та ОТГ, уже роками переповнений більш ніж на 90%. Даний полігон, площею 3,7 га, працює з 1999 року і є єдиним місцем захоронення сміття для жителів Ужгородської громади.

Щонайменше в 120 населених пунктах Закарпаття відсутні законно облаштовані сміттєзвалища, оскільки немає для цього коштів.

Тому дуже багато стихійних сміттєзвалищ фіксуються щорічно на території лісів, в ярах, поблизу сільськогосподарських угідь, навіть й у містах.

Наприклад у квітні 2025 року у місті Ужгороді виявлено працівниками Державної екологічної інспекції у Закарпатській області, стихійне сміттєзвалище в районі вулиць Гранітної та Прикордонної[562] (рис. 4).



Рисунок 4. Стихійне сміттєзвалище у місті Ужгороді (квітень. 2025 р.)

Державною екологічною інспекцією розраховано 825 тисяч 363 гривні шкоди внаслідок засмічення земель.

[562] В Ужгороді на двох вулицях виявили стихійні сміттєзвалища. URL: https://suspilne. Media / uzhhorod/996359-v-uzgorodi-na-dvoh-vulicah-viavili-stihijni-smittezvalisa-dovkillu-zavdali-skodi-na-ponad-825-tisac-griven/

Значні стихійні сміттєзвалища, виявлено й в інших місцях регіону. В ході візуального обстеження громади виявили несанкціоновані звалища різного роду відходів (пластикові пляшки, скло, залишки будівельних відходів) на початку населеного пункту Лінці, площею 862 м², несанкціоноване розміщення твердих побутових та інших відходів зафіксоване в селі Гайдош, поблизу польової дороги, орієнтовною площею близько 400 м². Крім цього, стихійне звалище відходів подібної площі виявили в селі Пацканьово, неподалік високовольтної лінії електропередач.

Виникнення таких небезпечних для навколишнього природнього середовища об'єктів, є наслідком невпорядкованої, часто стихійної, нераціонально організованої системи управління відходами в Закарпатській області.

З 1 січня 2018 року в Україні працює вимога, яка зобов'язує сортувати відходи. На цьому акцентувалась увага у Законі України "Про відходи", помітне місце даному важливому процесу відводиться і в новому діючому Законі України "Про управління відходами", завданням якого є побудова в Україні системи управління відходами за моделлю, стандартами та системою пріоритетів, котрі діють у Європейському Союзі[563].

Для забезпечення цієї вимоги, необхідні пункти збору обладнані контейнерами для роздільного збору. З чим у регіоні є певна проблема. Встановлено, що основними побутовими відходами у селах регіону є пластикова упаковка, скло, пакувальні матеріали (поліетиленові плівки, картон). Саме ці типи відходів переважають у структурі наповнення виявлених стихійних сміттєзвалищ (рис. 5).



Рисунок 5. Стихійне сміттєзвалище, виявлене поблизу лісового масиву

Як відомо, в Україні діє Інтерактивна мапа сміттєзвалищ ecomapa.gov.ua[564], котра дозволяє оперативно визначити розташування найближчого пункту приймання вторинної сировини в кожному регіоні України. Наприклад на території закарпатської області таких пунктів – 129.

Тому дуже важливим завданням для вирішення проблеми стихійних сміттєзвалищ регіону є створення системи сортування відходів, організація їх збору та вивезення, вторинна переробка, створення комплексу сміттєпереробних і сміттєспалювальних заводів.

Виходячи з універсальності проблеми та комплексу загроз навколишньому природньому середовищу варта виділити наступні пропозиції до органів місцевої влади, щодо ліквідації та запобіганню утворення стихійних сміттєзвалищ у Закарпатській області.

[563] Закон України "Про управління відходами" № 2849-IX від 13.12.2022. URL: https://zakon.rada.gov.ua/ laws/show/2320-20#Text
[564] Інтерактивна мапа сміттєзвалищ ecomapa.gov.ua. URL: https://deplv.gov.ua/2019/ 11/30/diye-interaktyvna-mapa-smittyezvalyshh/

Дані рекомендації, були розроблені експертною групою в рамках проекту "Громадська інвентаризація несанкціонованих сміттєзвалищ", як методична допомога органам місцевого самоврядування, з метою забезпечення дотримання природоохоронного законодавства, недопущення розміщення стихійних сміттєзвалищ, вжиття заходів з їх виявлення та ліквідації, проведення природоохоронних профорієнтаційних робіт серед населення[565].

Виконавчі органи сільських, селищних, міських рад, згідно статті 33 Закону України "Про місцеве самоврядування в Україні") повинні здійснювати контроль: за додержанням земельного та природоохоронного законодавства, використанням і охороною земель, природних ресурсів загальнодержавного та місцевого значення, здійснення контролю за впровадженням заходів, передбачених документацією із землеустрою[566].

Важливою складовою відповідальності місцевої влади, є здійснення заходів щодо забезпечення ліквідації несанкціонованих і неконтрольованих звалищ відходів, здійснення контролю за діяльністю об'єктів управління з відходами, складання і ведення реєстру об'єктів утворення відходів, видача дозволів на здійснення операцій у сфері управління відходами.

У відповідності до раніше згаданої статті 30 Закону України "Про місцеве самоврядування в Україні", вирішення питань щодо збору, транспортування, утилізації і знешкодження побутових відходів, покладено на органи місцевого самоврядування, а стаття 33 цього ж закону, до повноважень у сфері регулювання земельних відносин та охорони навколишнього природного середовища відносить:

- здійснення контролю за додержанням земельного та природоохоронного законодавства, використанням і охороною земель, природних ресурсів загальнодержавного та місцевого значення;
- здійснення контролю за діяльністю суб'єктів підприємницької діяльності у сфері поводження з відходами;
- здійснення контролю за додержанням юридичними та фізичними особами вимог у сфері поводження з побутовими та виробничими відходами;
- розгляд справ про адміністративні правопорушення або передача їх матеріалів на розгляд інших державних органів у разі порушення законодавства про управління відходами.

Підставою для засідання профільної комісії є: повідомлення про факти виявлення відходів, які розглядаються на черговому засіданні. Комісія визначає кількість, склад, властивості, вартість відходів, ступінь їх небезпеки для навколишнього природного середовища і здоров'я населення та вживає заходів до визначення власника відходів. У разі необхідності для визначення власника відходів та їх оцінки можуть залучатися правоохоронні органи, відповідні профільні спеціалісти та експерти.

За результатами своєї роботи комісія складає акт, що передається до місцевої державної адміністрації чи органу місцевого самоврядування для вирішення питання про подальше поводження з відходами.

Задля запобігання або зменшення обсягів утворення відходів, виявлені стихійні відходи беруться на облік. Органи місцевого самоврядування у сфері поводження з відходами забезпечують ліквідацію несанкціонованих і неконтрольованих звалищ[567].

---

[565] Проект "Громадська інвентаризація несанкціонованих сміттєзвалищ". URL: https://sd4ua.org/ propozytsiyi-do-mistsevyh-organiv-vlady-shhodo-likvidatsiyi-ta-zapobigannyu-utvorennya-styhijnyh-smittyezvalyshh/

[566] Закон України "Про місцеве самоврядування в Україні". від21.05.1997 № 280/97-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-%D0%B2%D1%80#Text

[567] Кучерявий В.П., Попович В.В. Полігони твердих побутових відходів Західного Лісостепу України та проблеми їх фітомеліорації. Науковий вісник НЛТУ України, 22 (2), 56-66. 2012 . http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2012_22.2_12

У разі виявлення порушень вимог природоохоронного законодавства, для подальшого реагування та притягнення винних осіб до відповідальності орган місцевого самоврядування подає до Державної екологічної інспекції області копію акта обстеження земельної ділянки за підписами членів комісії сільської ради з зазначенням площі порушених земель, картографічні матеріали та відомості про громадянина, яким порушено вимоги екологічного законодавства, адже захоронення побутових відходів дозволяється тільки на спеціально обладнаних для цього полігонах/звалищах.

Базовою є стаття 57 Закону України "Про управління відходами", у якій зазначено, що особи винні в порушенні законодавства про відходи, несуть дисциплінарну, адміністративну, цивільну чи кримінальну відповідальність за порушення встановленого порядку поводження з відходами, що призвело або може призвести до забруднення навколишнього природнього середовища, прямого чи опосередкованого шкідливого впливу на здоров'я людини та економічних збитків.

Відповідно до положень Закону України "Про охорону навколишнього природнього середовища"[568] і "Про управління відходами", лісокористувач повинен не допускати засмічення лісу і несе пряму відповідальність за прибирання несанкціонованих сміттєзвалищ виявлених на їх території.

Рекомендації щодо першочергових заходів з ліквідації та запобігання утворення стихійних сміттєзвалищ:

- розробити/корегувати та затвердити Схему санітарного очищення територіальної громади;
- розробити та затвердити Програму поводження з відходами територіальної громади до 2027 року;
- здійснити ліквідацію стихійних сміттєзвалищ та їх рекультивацію в межах територіальної громади;
- активізувати роботу з населенням, підприємцями, установами та організаціями стосовно укладення Договорів про надання послуг щодо поводження з побутовими відходами (послуг з вивезення побутових відходів);
- провести консультації з відповідними структурами та фахівцями щодо впровадження системи роздільного збирання побутових відходів на території громади;
- реалізувати інформаційно-просвітницькі природоохоронні програми в освітніх установах: дошкільних, загальноосвітніх і позашкільних виховних закладах;
- систематично поширювати інформацію щодо екологічно дружнього управління відходами через ЗМІ, соціальні мережі;
- проводити агітаційно-роз'яснювальну, екологічно-просвітницьку та виховну роботу з населенням із залученням активістів громадських організацій, щодо необхідності дотримання правил належного утримання територій населених пунктів, недопущення утворення несанкціонованих звалищ, впровадження роздільного збору окремих компонентів відходів.

Порядок дій у разі виявлення стихійних сміттєзвалищ у природних екосистемах:

1. Необхідно повідомити органи місцевого самоврядування або місцеву держадміністрацію.
2. Подати заяву до лісгоспу (ДП "Ліси України"), у випадку, коли стихійне сміттєзвалище розміщено на території лісового фонду[569].
3. Зателефонувати на "Гарячу лінію" Державного лісового агенства України або ж написати в застосунок Міндовкілля "ЕкоЗагроза", з вимогою провести перевірку, можливого правопорушення,

[568] Закон України "Про охорону навколишнього природнього середовища" від 25.06.1991, № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text
[569] ДП "Ліси України". URL: https://e-forest.gov.ua/

за результатами якої Державна екологічна інспекція встановить факт забруднення та складе протокол про адміністративне правопорушення.

4. Для оформлення звернення необхідно обов'язково провести фото- або відеофіксацію та встановити точні координати виявленого стихійного сміттєзвалища.

5. Повідомити поліцію, оскільки забруднення земель є кримінальним правопорушенням у відповідності до статті 239 Кримінального кодексу України, яка передбачає накладення штрафу до двохсот неоподатковуваних мінімумів доходів громадян або позбавлення права обіймати певні посади чи займатися певною діяльністю, на строк до трьох років.

Варта зазначити, що діюче природоохоронне законодавство передбачає встановлення відповідальності за засмічення лісів у формі штрафу для громадян від двадцяти п'яти до п'ятдесяти неоподатковуваних мінімумів доходів громадян, а для посадових осіб – від п'ятдесяти до ста неоподатковуваних мінімумів доходів громадян.

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених узагальнюючих маршрутних досліджень, проаналізовано причини, які приводять до утворення стихійних сміттєзвалищ в Україні і зокрема у Закарпатській області. Окреслено комплекс небезпек для навколишнього природнього середовища та населення, які вони спричиняють.

Розглянуто місця виявлення стихійних сміттєзвалищ, як на берегах річок Закарпатської області, так і на суходолі (на території населених пунктів, поблизу лісових екосистем). За результатами аналізу проблеми, сформульовано ряд узагальнених пропозицій природоохоронного, адміністративного, організаційного і екологічно-профорієнтаційного характеру, завданням яких є розроблення шляхів подолання загроз, які спричиняють стихійні сміттєзвалища.

БЕЗБАР'ЄРНЕ ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК ШЛЯХ ДО ІНКЛЮЗИВНОГО ПУБЛІЧНОГО ПРОСТОРУ В КОНТЕКСТІ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ

BARRIER-FREE LANDSCAPING AS A PATH TO INCLUSIVE PUBLIC SPACE IN THE CONTEXT OF POST-WAR RECONSTRUCTION IN UKRAINE

Наталія Кендзьора, канд. с.-г. наук, директор ботанічного саду загальнодержавного значення НЛТУ України, e-mail: nataly_kend@ukr.net, Національний лісотехнічний університет України, ORCID: 0000-0002-0603-7811

Наталія Гоцій, канд. с.-г. наук, старший викладач кафедри екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, e-mail: nataligociy@gmail.com, Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, ORCID: 0000-0002-6108-5963

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.18

Анотація. У розділі розглядається безбар'єрне озеленення як ключовий елемент інклюзивного публічного простору в умовах повоєнного відновлення України. Акцент зроблено на потребі міждисциплінарного підходу до планування зелених зон, що враховує фізичні, сенсорні, когнітивні, соціокультурні та інституційні бар'єри. Проаналізовано нормативно-правову базу, сучасні українські й міжнародні практики, а також окреслено принципи безбар'єрного озеленення: доступність, інклюзивність, безпека, стійкість та естетика. Запропоновано критерії оцінки рівня інклюзивності зеленого простору, наголошено на важливості участі громад у плануванні та догляді за озелененими територіями. Розділ підкреслює необхідність переосмислення ролі озеленення як інструменту соціальної інтеграції, психосоціальної реабілітації та сталого розвитку.

Ключові слова: безбар'єрне озеленення, інклюзивний простір, повоєнне відновлення, універсальний дизайн, публічне середовище, міське озеленення, сенсорна доступність, соціальна інтеграція, урбаністика.

Abstract. The chapter discusses barrier-free greening as a key element of inclusive public space in the context of post-war reconstruction in Ukraine. The emphasis is placed on the need for an interdisciplinary approach to green space planning that takes into account physical, sensory, cognitive, socio-cultural and institutional barriers. The article analyses the regulatory framework, modern Ukrainian and international practices, and outlines the principles of barrier-free greening: accessibility, inclusiveness, safety, sustainability and aesthetics. Criteria for assessing the level of inclusiveness of green space are proposed, and the importance of community participation in the planning and maintenance of green areas is emphasised. The chapter emphasises the need to rethink the role of green space as a tool for social integration, psychosocial rehabilitation and sustainable development.

Keywords: barrier-free landscaping, inclusive space, post-war recovery, universal design, public environment, urban landscaping, sensory accessibility, social integration, urbanism.

1. ВСТУП

Виклики, що постали перед українськими містами у зв'язку з повномасштабною війною, засвідчили потребу глибокої трансформації публічного простору. Необхідність відбудови фізичної інфраструктури збігається в часі з усвідомленням важливості створення середовища, безпечного,

зручного та доступного для всіх громадян – включно з людьми з інвалідністю, внутрішньо переміщеними особами, літніми людьми, дітьми, ветеранами, особами з ПТСР. У цьому контексті безбар'єрність постає не просто як архітектурна вимога, а як засаднича соціальна і культурна цінність.

Одним з ключових елементів такої трансформації є озеленення. Зелені зони, сквери, парки, вуличне озеленення та мікрооази – це не лише інструмент пом'якшення кліматичних змін і поліпшення екологічного стану міста, але й засіб інтеграції, комунікації та психосоціального відновлення[570,571]. Інклюзивні зелені простори створюють умови для зустрічі різних груп, відновлення довіри, емоційного комфорту та повернення почуття дому, що є особливо важливим у процесі повоєнного відновлення. Згідно з підходом, запропонованим у Національній стратегії безбар'єрності[572], усі аспекти публічного життя мають проектуватися з урахуванням принципів універсального дизайну.

Попри очевидну значущість теми, в українському урбаністичному дискурсі озеленення як складова безбар'єрності досі розглядається фрагментарно[573]. Здебільшого мова йде або про екологічні функції зелених зон, або про доступність будівель і споруд, тоді як поєднання екологічного, соціального й просторового вимірів потребує цілісного міждисциплінарного аналізу. У міжнародному контексті дедалі частіше з'являються підходи, що трактують зелені насадження як частину соціальної інфраструктури[574], однак в Україні подібна перспектива ще не набула поширення.

Післявоєнне відновлення країни відкриває можливість переосмислення ролі зелених просторів: від декоративного елементу до вектора інклюзії, реабілітації та сталого розвитку[575]. Особливої актуальності набуває питання, як саме слід проектувати, реконструювати та підтримувати озеленення, щоб воно відповідало потребам широкого кола користувачів. Це включає: адаптивні маршрути, безпечне покриття, місця для відпочинку, сенсорну орієнтацію, мікрокліматичний комфорт тощо.

Додаткового значення набуває і правовий вимір: нормативні акти, такі як ДБН В.2.2-40:2018[576], хоч і декларують вимоги безбар'єрності, часто не містять конкретних положень, які б охоплювали ландшафтні рішення в зеленому середовищі. Це створює розрив між концепцією безбар'єрності та її втіленням на практиці.

У зв'язку з цим у розділі розглянуто безбар'єрне озеленення як ключовий елемент інклюзивного публічного простору, що має бути інтегрованим у політику післявоєнної відбудови. Аналіз спирається на літературні джерела, урбаністичні практики, нормативну базу України, а також концепцію сталого просторового розвитку.

---

[570] Ulrich, R.S., Simons, R.F., Losito, B.D., Fiorito, E., Miles, M.A., Zelson, M. (1991). Stress Recovery During Exposure to Natural and Urban Environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11, 3. 201-230. URL: https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7

[571] Kaplan, R. & Kaplan, S. (1989). The Experience of Nature: A Psychological Perspective. Cambridge University Press.

[572] Про схвалення Національної стратегії із створення безбар'єрного простору в Україні на період до 2030 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-%D1%80#Text

[573] Мацьоха, А. (2023). Формування інклюзивного міського простору в буферних зонах об'єктів культурної спадщини засобами ландшафтної архітектури. *Містобудування та територіальне планування*, (83), 184–199. https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.83.184-199

[574] Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.) (2017). Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice. Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5

[575] Маруняк Є. О., Палеха Ю. М., Криштоп Т. В. (2022). Планування просторового розвитку в умовах війни і відбудови: бачення для України. Український географічний журнал, (4), 13–22. https://doi.org/10.15407/ugz2022.04.013

[576] ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3192362160978134152?doc_type=2

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для підготовки цього дослідження було використано міждисциплінарний підхід, що поєднує методи правового аналізу, просторової урбаністики, екологічного планування та соціології міського простору[577,578]. Основними джерелами інформації стали:

- нормативно-правові акти України, що регламентують планування територій, стандарти безбар'єрності, правила озеленення та містобудівну документацію;
- аналітичні звіти, зокрема документи, підготовлені в рамках реалізації Національної стратегії безбар'єрності;
- наукові праці українських та закордонних авторів, опубліковані у фахових журналах з урбаністики, ландшафтної архітектури, соціальної географії та екології.

Методологічно було застосовано такі основні підходи:

Контент-аналіз нормативної бази – для виявлення прогалин, недооцінених аспектів або відсутніх положень щодо безбар'єрного озеленення в існуючих ДБН, ДСТУ та регіональних стратегіях розвитку.

Огляд і критичний аналіз літератури – для узагальнення наукових підходів до трактування інклюзії у міському зеленому просторі. Основну увагу було приділено публікаціям останнього десятиліття[579,580,581,582,583,584].

Емпіричне спостереження – дослідження включає елементи польового спостереження за використанням зелених публічних просторів різними соціальними групами, а також аналіз доступності, безпеки та функціонального наповнення таких просторів у міському середовищі.

Оцінка взаємозв'язків між екологічною стійкістю та соціальною інклюзивністю – на основі підходів теорії «зеленої справедливості» (green justice) та «природної доступності» (nature-based accessibility)[585].

3. РЕЗУЛЬТАТИ

У результаті теоретичного аналізу, огляду сучасної практики та прикладного переосмислення концепції інклюзивного озеленення в контексті повоєнної відбудови України, виявлено низку ключових напрямів, що становлять основу безбар'єрного озеленення як компонента інклюзивного публічного простору. Кожен з них заслуговує на окремий розгляд, як у проектному, так і в нормативно-правовому аспекті.

---

[577] Без бар'єрів. (2021). *Довідник безбар'єрності*. URL: https://bf.in.ua/

[578] European Environment Agency. Urban green infrastructure. (2018). URL: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/urban-green-infrastructure-2018-dashboards

[579] Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.) (2017). Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice. Springer. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5

[580] Nathan P. Palardy, Bynum Boley, B., & Johnson Gaither, C. (2018). Residents and urban greenways: Modeling support for the Atlanta BeltLine. *Landscape and Urban Planning*, 169, 250–259. URL: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.006

[581] Hu X., Qian Y., Pickett S. T.A., Zhou W. 2020Urban mapping needs up-to-date approaches to provide diverse perspectives of current urbanization: A novel attempt to map urban areas with nighttime light data, *Landscape and Urban Planning*, 195, 103709. URL: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103709

[582] Lafrenz, A. (2022). Designing Multifunctional Urban Green Spaces: An Inclusive Public Health Framework. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 10867. URL: https://doi.org/10.3390/ijerph191710867

[583] Лісовський С. А., Маруняк Є. О., Гукалова І. В., Мозговий А. А., Покляцький С. А. (2023). Інклюзивність та екологічні пріоритети міського розвитку як складові якості життя населення (приклади модельних міст). *Український географічний журнал*, (2), 13-22 https://doi.org/10.15407/ugz2019.02.013

[584] Ковальчук М. (2024). Застосування принципів інклюзивного дизайну у створенні ергономічного, естетичного середовища. *Актуальні питання гуманітарних наук*, 82(1), 213-219. URL: https://doi.org/10.24919/2308-4863/82-1-32

[585] Wolch, J. & Byrne, J. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities «just green enough». *Landscape Urban Plann*, 125. URL: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

3.1. Типологія бар'єрів у міському озелененні

Міські зелені простори, попри свою потенційну універсальність, часто залишаються недоступними або некомфортними для частини користувачів через наявність бар'єрів, які перешкоджають повноцінній взаємодії з довкіллям. Ідентифікація таких бар'єрів є першим кроком до створення по-справжньому інклюзивного публічного простору. П'ять основних типів бар'єрів – фізичні, сенсорні, когнітивні, соціокультурні та інституційні – виявляють глибоко вкорінені проблеми у сфері планування, проєктування та управління міським озелененням.

Фізичні бар'єри є найбільш очевидними й часто найбільш фатальними для доступу. До них належать нерівні або непрохідні доріжки, високі бордюри без з'їздів, відсутність пандусів, вузькі проходи, а також лавки, туалети чи інші елементи благоустрою, які не враховують фізичні особливості користувачів. Навіть добре доглянутий парк може залишатися недоступним, якщо переміщення територією є небезпечним або неможливим для людей з інвалідністю, батьків із дитячими візками чи людей похилого віку.

Сенсорні бар'єри менш помітні, проте критичні для людей із сенсорними або неврологічними особливостями. Наявність різких звуків, сліпучого освітлення, агресивних запахів або ж хаотичного поєднання кольорів і текстур у ландшафтному дизайні може створювати ситуації сенсорного перевантаження, що робить простір нестерпним або тривожним. Відсутність тактильних орієнтирів і контрастного маркування ускладнює пересування людей з порушенням зору. У деяких випадках простір, що візуально виглядає привабливо, є фактично непридатним для цілого сегмента користувачів.

Когнітивні бар'єри пов'язані зі складністю сприйняття або орієнтації в просторі. Якщо у зеленій зоні відсутня чітка й зрозуміла навігація, якщо інформаційні стенди перевантажені текстом або не адаптовані до людей з різними рівнями сприйняття, це створює додаткові труднощі. Непослідовне планування, коли простір побудований без логіки, лише поглиблює фрустрацію користувачів, особливо дітей, людей похилого віку, осіб із ментальними порушеннями або відвідувачів, які не володіють мовою навігації.

Соціокультурні бар'єри формуються на перетині матеріального й символічного. Простір, що виглядає занедбаним, із пошкодженими елементами благоустрою або слідами вандалізму, може сприйматись як небезпечний, навіть якщо формально є відкритим для всіх. Водночас парки, у яких відсутнє врахування гендерного підходу (освітлення, відкритість, видимість алей), можуть викликати дискомфорт і тривогу в жінок чи підлітків. Якщо в парку немає зони для людей похилого віку, а всі лавки розташовані під сонцем без тіні, простір відсікає певні групи від користування ним. Те саме стосується місць, де не передбачено елементів для родинного або мультикультурного дозвілля: простір не сприймається як свій, що обмежує мотивацію до його використання.

Інституційні бар'єри найменш видимі, проте визначальні для довгострокової інклюзивності. Вони включають відсутність у нормативно-правовому полі обов'язкових стандартів безбар'єрності в зелених зонах, неузгодженість між органами місцевої влади та комунальними підприємствами, а також низький рівень участі громадськості у плануванні змін. Навіть за наявності прогресивного законодавства його імплементація часто залишається формальною, а інклюзивність – декларативною. Додатково, в системі освіти й підготовки фахівців у сфері ландшафтної архітектури, озеленення та муніципального управління бракує акценту на інклюзивному підході, що відтворює бар'єри в кожному новому проєкті.

Усі перелічені типи бар'єрів є взаємопов'язаними: фізичні обмеження посилюють соціальну ізоляцію, сенсорні бар'єри можуть бути невидимими для управлінців через когнітивні упередження, а інституційна байдужість дозволяє цим проблемам зберігатися роками. Подолання таких бар'єрів

вимагає не лише зміни інфраструктури, а й переосмислення самого підходу до міського простору як спільного, відкритого, рівноправного середовища.

Класифікація бар'єрів, яку представлено у схемі нижче, дозволяє узагальнити ключові перешкоди на шляху до безбар'єрного міського озеленення:

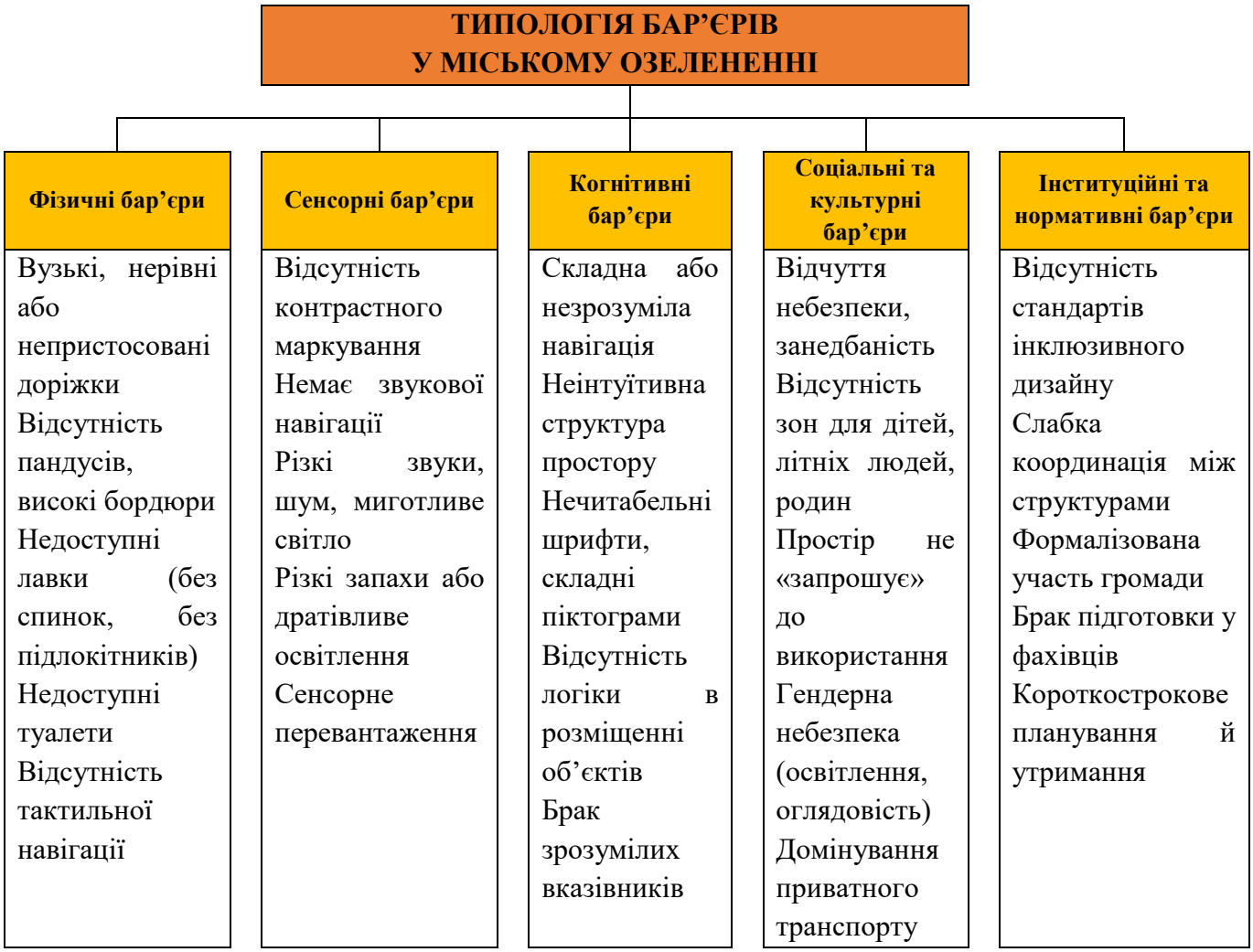


Рисунок. 1. Класифікація основних типів бар'єрів в міському середовищі. Схема.

Такий аналітичний підхід дозволяє системно оцінити рівень інклюзивності зелених просторів, визначити пріоритетні напрямки втручань і сформулювати відповідні рекомендації для практики міського планування, ландшафтного дизайну та екологічної політики.

3.2. Принципи безбар'єрного озеленення для формування інклюзивного простору

У процесі трансформації міських зелених зон відповідно до принципів сталого розвитку дедалі більшої актуальності набуває концепція безбар'єрного озеленення. Це підхід, що визнає розмаїття людського досвіду та сприйняття довкілля, прагне до усунення бар'єрів і створення таких просторів, де кожна людина – незалежно від віку, фізичних можливостей, сенсорних чи когнітивних

особливостей — може вільно перебувати, пересуватись, відпочивати та взаємодіяти[586,587]. Безбар'єрне озеленення ґрунтується на п'яти ключових принципах: доступність, інклюзивність, безпека, стійкість та естетика (рис.2).



Рисунок 2. Класифікація основних принципів безбар'єрного озеленення в міському середовищі. Схема.

Доступність передбачає фізичну можливість дістатися до зеленого простору та вільно пересуватися в ньому. Це стосується наявності пандусів, тактильних доріжок, зрозумілої навігації, відповідного покриття алей, зручних лавок і санітарних вузлів, що враховують потреби всіх користувачів. Але доступність – це не лише архітектурні рішення; вона також охоплює економічну та транспортну доступність парків для жителів усіх районів міста.

Інклюзивність означає врахування потреб усіх соціальних груп ще на етапі планування. Простір має бути дружнім до дітей, людей літнього віку, батьків із візками, людей з інвалідністю, осіб різної культурної чи мовної приналежності. Інклюзивний парк не має «типового» користувача – натомість він запрошує кожного завдяки розмаїттю функціонального наповнення, зон відпочинку, активностей та умов використання.

Безпека включає фізичну, соціальну та психологічну складову. Важливу рольвідіграє якісне освітлення, відкритість огляду, видимість алей, наявність можливості звернення по допомогу. Безпечний простір не викликає тривоги, має ознаки доглянутості, передбачає просторову логіку, яка не сприяє конфліктам між користувачами. Зокрема, зони для ігор, прогулянок та велоруху мають бути чітко розмежовані, щоб уникнути травматизму.

Стійкість (у значенні екологічної та соціальної стійкості) є основою довготривалого функціонування безбар'єрного середовища. Це передбачає використання локальних рослин, адаптованих до клімату, екологічних матеріалів, збалансовану систему поливу, мінімізацію вуглецевого сліду. Водночас стійкість означає готовність простору адаптуватися до змін – зокрема, демографічних, кліматичних або урбаністичних – і залишатися зручним для різних поколінь.

Естетика має не лише декоративне значення, а й потужний психоемоційний і символічний ефект. Естетично привабливий простір підвищує якість життя, сприяє психічному здоров'ю, створює відчуття приналежності. Важливо, щоб краса парку не суперечила принципам Доступності — тобто ландшафтне оформлення, елементи дизайну, кольори й текстури мають бути не лише привабливими, а й читабельними, не створювати сенсорного перевантаження та враховувати сприйняття людей з різним досвідом.

Синергія цих п'яти принципів – не абстрактна ідея, а конкретне завдання для проєктантів, управлінців, громад і користувачів. Безбар'єрне озеленення не обмежується відсутністю фізичних перешкод: це філософія взаємоповаги, співжиття та відкритості, що відображається в кожній деталі простору.

[586] Без бар'єрів. (2021). *Довідник безбар'єрності*. URL: https://bf.in.ua/

[587] Ковальчук М. (2024). Застосування принципів інклюзивного дизайну у створенні ергономічного, естетичного середовища. *Актуальні питання гуманітарних наук*, 82(1), 213-219. URL: https://doi.org/10.24919/2308-4863/82-1-32

3.3. Формування інклюзивного безбар'єрного простору

Безбар'єрний інклюзивний простір (рис. 3) формується як результат цілісного міждисциплінарного підходу, що передбачає врахування потреб усього спектра користувачів – незалежно від віку, фізичних, сенсорних, когнітивних можливостей, соціального статусу чи життєвого досвіду. Такий простір не зводиться до усунення архітектурних перешкод, а базується на глибшій філософії рівності, доступності та гідності.

3.3.1. Просторова і фізична доступність озеленених просторів.

У проєктуванні міських зелених зон важливою умовою інклюзивності є забезпечення фізичного доступу для всіх користувачів – людей з інвалідністю, осіб літнього віку, батьків із дитячими візками, поранених військових, а також внутрішньо переміщених осіб. Це означає не лише наявність пандусів чи відсутність бордюрів, а й ретельно продумане озеленення маршрутів руху, створення зон відпочинку, використання натуральних матеріалів, травмобезпечних покриттів, доріжок із тактильною навігацією тощо. Так, досвід Німеччини демонструє, що навіть невеликі міські сквери можуть бути адаптовані для максимальної зручності – з лавами зі спинками, безбар'єрними стежками, тіньовими деревами та інфраструктурою для мультикористувачів.

3.3.2. Сенсорна доступність та мультисенсорний дизайн. Сучасне інклюзивне озеленення дедалі частіше включає сенсорні сади — простори, що стимулюють різні органи чуття (нюх, дотик, зір, слух). Вони особливо важливі для осіб з аутизмом, порушенням зору чи когнітивними особливостями[588]. В умовах України, з огляду на потребу у створенні терапевтичних просторів для людей із посттравматичними розладами, сенсорні зони в міських парках можуть відігравати реабілітаційну роль. Такі елементи, як пряно-ароматичні трави (лаванда, м'ята, чебрець), тактильні доріжки з натурального каменю, трав'янисті багаторічники з м'якою текстурою – мають бути обов'язковими у нових стандартах.

3.3.3. Універсальний дизайн і врахування різноманітних потреб. Концепція універсального дизайну лежить в основі європейських підходів до проєктування просторів: ідея в тому, щоб створювати середовища, які є зручними для всіх без потреби адаптації чи спеціалізованого дизайну[589,590]. Застосування цього принципу до озеленення означає, наприклад, вибір рослин без алергенного пилку або колючок, формування зон із різними типами простору – від відкритих до напівізольованих, з різним рівнем тіньового покриття, озвученням або його відсутністю.

3.3.4. Психосоціальна роль озеленення у процесі поствоєнної реінтеграції та реабілітації. Озеленені простори мають потужний вплив на емоційне та психічне здоров'я. Особливо це актуально у воєнний і повоєнний час, коли вразливі категорії населення – ветерани, переселенці, родини загиблих, діти війни – потребують підтримувального середовища. Дослідження показують, що навіть короткочасне перебування в зеленому середовищі знижує рівень тривожності, сприяє стабілізації сну, покращує соціальну комунікацію. У різних країнах вже реалізовано кілька проєктів «садів для ветеранів», адаптованих під потреби осіб із ПТСР, які можуть бути прикладом для України.

3.3.5. Участь громадян і локальних спільнот у створенні та догляді за зеленими просторами. Безбар'єрне озеленення — це не лише про фізичну або сенсорну доступність, а й про інституційну відкритість. Досвід країн Балтії показує, що партисипативне озеленення (залучення

[588] European Environment Agency. Urban green infrastructure. (2018). URL: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/maps-and-charts/urban-green-infrastructure-2018-dashboards

[589] UN-Habitat. (2020). City-Wide Public Space Strategies: A Guidebook for City Leaders. URL: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/03/cwpss_guidebook_20200116.pdf?utm_source=chatgpt.com

[590] U.S. Access Board. (2014). *Outdoor developed areas: A summary of accessibility standards*. URL: https://www.access-board.gov/files/aba/guides/outdoor-guide.pdf

громадян до планування, вибору рослин, моделювання маршрутів) сприяє як вищій якості середовища, так і зміцненню соціального капіталу. В Україні окремі кейси вже показали дієвість цієї моделі, але потребують систематизації та інституційної підтримки.

3.3.6. Актуалізація принципів сталого розвитку у проєктуванні та догляді за озелененими територіями. Безбар'єрність як складова сталого міського середовища має передбачати не лише фізичну доступність, але й екологічну відповідальність: біорізноманіття, використання локальних видів рослин, стійкість до кліматичних змін. Наприклад, замість інтенсивного газонного покриття можуть використовуватись мозаїчні луки чи стійкі до посухи багаторічники, що не потребують частого поливу.



Рисунок 3. Схематична модель безбар'єрного простору.

Таким чином, формування безбар'єрного інклюзивного простору у зелених зонах – це не лише про архітектуру, а й про філософію публічного простору, відкритого для всіх.

3.4. Критерії безбар'єрного озеленення

Узагальнення отриманих результатів дозволяє окреслити нову рамку бачення безбар'єрного озеленення – не як вузької інфраструктурної практики, а як багатовимірного явища на перетині соціального, екологічного, медичного та правового дискурсів.

Безбар'єрне озеленення передбачає створення доступного, інклюзивного та комфортного зеленого простору для всіх груп населення – незалежно від віку, фізичних або когнітивних особливостей, сенсорних потреб, досвіду чи соціального статусу. Щоб такий простір справді відповідав принципам інклюзивності, він має формуватися з урахуванням низки взаємопов'язаних критеріїв, які виходять за межі традиційного уявлення про благоустрій.

У *таблиці 1* наведено ключові параметри, що визначають якість і безбар'єрність озелененого простору. Зокрема, *фізична доступність* передбачає можливість безперешкодного переміщення – це широкі доріжки з рівним покриттям, пандуси замість сходинок, входи без перепадів висот. *Сенсорна інклюзивність* дозволяє врахувати потреби людей із підвищеною або зниженою чутливістю: таких як діти з аутизмом, люди з деменцією або порушеннями зору. Тому важливим є контроль шуму, використання рослин із приємною текстурою чи запахом, організація спокійних зон. *Візуальна орієнтація* допомагає всім відвідувачам краще орієнтуватися в просторі – завдяки контрастним матеріалам, піктограмам, логіці маршруту. *Інклюзивні елементи дизайну* забезпечують комфортне користування простором: це лавки з підлокітниками, навіси від спеки, підняті клумби, які доступні людям у візках.

Не менш важливим є залучення громади: *громадська участь* дозволяє формувати простір відповідно до реальних потреб користувачів, підвищує рівень прийняття та довіри. Нарешті, *екологічна стійкість* гарантує довговічність і раціональне використання ресурсів – завдяки вибору локальних, витривалих рослин, природного дренажу, мульчування досягається зменшення інтенсивності догляду.

Таблиця 1.

Ключові критерії безбар'єрного озеленення

Критерій	Опис
Фізична доступність	Безперешкодний доступ до всіх ділянок парку: пандуси, широкі доріжки, рівні покриття
Сенсорна інклюзивність	Наявність ароматичних, тактильних рослин, тиші або контрольованого звукового фону
Візуальна орієнтація	Контрастність покриття, ознаки маршруту, чітка навігація (вивіски, знаки)
Інклюзивні елементи дизайну	Підняті клумби, лавки з поручнями, тіньові навіси, безпечні місця для сидіння
Громадська участь	Можливість долучення до проєктування, волонтерства, спільного догляду
Екологічна стійкість	Використання локальних рослин, стійких до змін клімату; мінімізація догляду

Усі ці критерії не можуть розглядатися окремо — лише їх сукупне впровадження створює по-справжньому безбар'єрний простір, у якому кожна людина почуватиметься бажаним і рівноправним користувачем.

Щоб зробити процес створення безбар'єрного озеленення вимірюваним і зрозумілим, доцільно використовувати прості інструменти самооцінки. Один із таких – базова *модель оцінки рівня інклюзивності* зеленого простору, яка дозволяє швидко визначити, наскільки той чи інший парк, сквер або інший громадський простір відповідає основним критеріям безбар'єрності (табл. 2).

Модель оцінки складається з п'яти ключових блоків, кожен з яких оцінюється за шкалою від 0 до 2 балів:

1. *Фізична доступність* – наявність безбар'єрного входу, пандусів, рівного покриття, доступних маршрутів.

2. *Сенсорна чутливість* – врахування потреб людей з аутизмом, сенсорними розладами, погіршеним слухом або зором (через вибір рослин, організацію тиші, зонування).

3. *Інформаційна навігація* – наявність інформаційних матеріалів, зрозумілих для різних аудиторій (візуальні схеми, піктограми, шрифти Брайля, аудіосупровід).

4. *Участь громади* – чи була врахована думка місцевих жителів, представників маломобільних груп у проєктуванні або догляді за територією.

5. *Сталість/екологічність* – використання місцевих рослин, водозберігаючих рішень, енергоефективних матеріалів.

Таблиця 2.

Проста модель оцінки рівня інклюзивності зелених просторів

Критерій	Бал (0–2)	Пояснення
Фізична доступність		0 – відсутня; 1 – часткова; 2 – повна
Сенсорна чутливість		0 – відсутня; 1 – мінімальна; 2 – інтегрована
Інформаційна навігація		0 – відсутня; 1 – базова; 2 – адаптивна (візуальна, аудіо)
Участь громади		0 – не врахована; 1 – епізодична; 2 – постійна
Сталість/екологічність		0 – відсутня; 1 – часткова; 2 – системна

Максимальна сума – 10 балів. Якщо простір набирає 7 балів або більше, його можна вважати інклюзивним за базовими критеріями. Така модель може бути використана як інструмент моніторингу муніципальних програм, а також як орієнтир для громадських ініціатив або освітніх заходів.

4. ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз впровадження концепції безбар'єрного озеленення в контексті інклюзивного публічного простору вказує на складну взаємодію між соціальними, екологічними та просторовими чинниками. В умовах повоєнного відновлення України ця взаємодія набуває особливого значення, адже мова йде не лише про фізичну реабілітацію інфраструктури, але й про трансформацію підходів до простору як спільного блага, доступного кожному.

Одним із центральних викликів є трансформація публічного простору у такий спосіб, щоби він відповідав принципам універсального дизайну. Озеленення, яке включає зелені коридори, парки, сквери, внутрішньоквартальні простори та рекреаційні зони, у цьому контексті виконує не лише екологічну або естетичну функцію, але й соціальну – сприяє інтеграції осіб із порушеннями мобільності, літніх людей, дітей, людей із тимчасовими травмами або з посттравматичними станами після війни.

При цьому український контекст накладає певну специфіку. З одного боку, спостерігається зростання інтересу до інклюзивності серед архітекторів, урбаністів та громадських організацій[591]. З іншого боку, зберігається інерція підходів, у яких озеленення сприймається як «оздоблення», а не як критична інфраструктура. У процесі реконструкції часто нехтують потребами маломобільних груп, або ці потреби розглядають в обмеженому форматі, не беручи до уваги взаємозв'язки між доступом, комфортом і сприйняттям простору.

Цікаво, що навіть у європейських практиках, які часто подаються як зразкові, безбар'єрне озеленення не завжди є нормою. У низці країн існують обов'язкові стандарти доступності до зелених зон, включно з вимогами до твердого покриття доріжок, наявності тактильних покажчиків і зон відпочинку з навісами. Проте ці стандарти інтегровані не лише в будівельні норми, а й у нормативи з охорони здоров'я, екології та соціальної політики. В Україні наразі такої міжгалузевої інтеграції не досягнуто, хоча окремі міста (наприклад, Львів, Івано-Франківськ, Вінниця) активно експериментують із кращими практиками.

Досвід, зібраний громадськими ініціативами, свідчить про те, що саме локальні рішення можуть мати найбільший вплив. Ініціативи, які залучають людей з інвалідністю до планування парків, або які поєднують озеленення з соціальними функціями (як-от сади для терапевтичного садівництва чи громадські клумби), демонструють глибшу залученість громад. У цьому аспекті безбар'єрне озеленення виступає не лише як інженерне завдання, а як простір співтворення, у якому громада має право голосу.

Водночас існують системні бар'єри. Передусім, це нестача фінансування та довгострокового планування. Часто озеленення здійснюється як разова акція, не інтегрована у генеральний план міста чи стратегії сталого розвитку. Такі проєкти ризикують перетворитися на тимчасові, маргінальні зони, що не витримують експлуатаційного навантаження і швидко втрачають функціональність. До того ж, у процесі реконструкції міського середовища після війни інфраструктурні об'єкти – мости, дороги, житло – отримують пріоритет над зеленими зонами, що може призвести до повторного витіснення теми доступності на периферію суспільної уваги.

Варто також зазначити брак оновлених нормативів, що враховують і безбар'єрність, і екологічну сталість. Наприклад, БНіПи, що регулюють озеленення територій, часто не враховують нові стандарти інклюзивності, а окремі рекомендації (наприклад, щодо ширини доріжок, ухилів, використання місцевих рослин) існують у формі добровільних посібників, а не обов'язкових вимог. У цьому сенсі доцільним виглядає створення національної рамки стандартів безбар'єрного озеленення із чіткими екологічними, соціальними та інженерними параметрами.

[591] The New Urban Agenda (2016). URL: https://habitat3.org/the-new-urban-agenda/

Особливу роль можуть відігравати цифрові інструменти. Відкриті мапи, геоінформаційні системи (GIS), платформи з рейтингами доступності дозволяють громадянам самостійно оцінювати стан зелених зон. Також перспективним є використання інструментів екосистемних послуг у поєднанні з критеріями безбар'єрності: так, доступна зелена зона, яка забезпечує тепловий комфорт і покращення якості повітря, має значно вищу соціальну цінність.

Не менш важливим є врахування принципів гендерної рівності та соціальної інклюзії в ширшому розумінні. Наприклад, жінки з дітьми, літні люди, ветерани, внутрішньо переміщені особи – всі вони мають специфічні потреби до відкритого простору. У цьому сенсі безбар'єрне озеленення – це не лише про пандуси та рівні доріжки, а про створення середовища, яке враховує емоційне, психологічне та сенсорне сприйняття.

Таким чином, безбар'єрне озеленення постає як інструмент соціальної трансформації. Воно має потенціал формувати нову міську етику, у якій доступність, стійкість та залучення стають не винятком, а нормою. Післявоєнна реконструкція відкриває вікно можливостей для інтеграції цієї логіки в усі етапи планування – від концептуальних візій до деталей реалізації на місцях.

ВИСНОВКИ:

У контексті повоєнної відбудови України безбар'єрне озеленення має розглядатися як стратегічно важливий напрям формування інклюзивного публічного простору. Воно поєднує екологічну сталість, соціальну справедливість і просторову доступність, що є критичними чинниками для забезпечення гідної якості життя всіх категорій населення, зокрема маломобільних груп.

Проведений аналіз засвідчив, що наявна інфраструктура зелених зон в українських містах здебільшого не відповідає сучасним принципам інклюзивності. Водночас існують окремі приклади локальних ініціатив, які демонструють потенціал інтеграції безбар'єрності у практики озеленення – через участь громад, залучення людей з інвалідністю, використання принципів універсального дизайну та акцент на соціальну взаємодію у зелених просторах.

Загалом, розробка політики безбар'єрного озеленення має ґрунтуватися на таких ключових засадах:

1. *Міждисциплінарність:* поєднання урбаністичних, екологічних, соціальних та правових підходів для формування єдиного планування.

2. *Нормативна інтеграція:* включення безбар'єрних стандартів до будівельних норм, екологічних регламентів та муніципальних стратегій розвитку.

3. *Участь громад і користувачів:* залучення різних соціальних груп, зокрема людей з інвалідністю, ветеранів, дітей та літніх людей до процесів співпланування та оцінювання публічних просторів.

4. *Технологічна підтримка:* використання цифрових інструментів – геоінформаційних систем, мобільних застосунків, відкритих даних – для моніторингу доступності та якості зелених зон.

5. *Довгостроковість і сталість:* пріоритезація озеленення як елементу критичної інфраструктури у стратегіях повоєнного відновлення, з орієнтацією на кліматичну адаптацію, біорізноманіття та соціальну згуртованість.

У перспективі безбар'єрне озеленення повинно стати не винятком, а базовим стандартом у проєктуванні публічних просторів. Це вимагає політичної волі, міжсекторної співпраці та активної участі громадянського суспільства. Повоєнне відновлення України є унікальним шансом для закладення нових ціннісних основ урбаністики, у центрі якої перебуває людина – з її потребами, вразливостями та правом на гідне й безпечне середовище.

ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ВУЛИЦЯХ І ПЕРЕХРЕСТЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ М. ЛЬВОВА (НА ОСНОВІ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ЗА 2016-2023 РР.)

ASSESSMENT OF AMBIENT AIR QUALITY ON STREETS AND INTERSECTIONS IN THE CENTRAL PART OF LVIV (BASED ON MONITORING DATA FOR 2016-2023)

Ірина Кочмар, викладач кафедри екологічної безпки, e-mail: irynalevytska1@gmail.com, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1461-089X

Марія Яцишин, e-mail: mary.mary.123@ukr.net, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.19

Анотація. У роботі здійснено оцінку якості атмосферного повітря в центральній частині м. Львова на основі моніторингових даних за 2016-2023 роки. Проаналізовано рівні основних забруднюючих речовин – оксиду вуглецю (CO), оксиду та діоксиду азоту (NO, NO_2), а також діоксиду сірки (SO_2) – на транспортних перехрестях міста. Виявлено перевищення ГДК для CO та NO_2 на ряді ділянок, що свідчить про значний вплив транспортних викидів. Найвищі рівні перевищення зафіксовано на перехрестях пр. Чорновола – вул. Городоцька, пр. Свободи – вул. Беринди та пр. Чорновола – вул. Під Дубом. Ці ділянки визначено як «гарячі точки» забруднення, що потребують першочергових заходів для покращення якості повітря. Незважаючи на деяке покращення ситуації в окремі роки, тенденція до підвищення концентрацій забруднюючих речовин вимагає впровадження комплексних заходів.

Ключові слова: моніторинг, повітряне середовище, ГДК, забруднюючі речовини, джерела викидів, м. Львів, нормативні значення

Abstract. The study presents an assessment of ambient air quality in the central part of Lviv based on monitoring data collected from 2016 to 2023. It analyzes the concentrations of key air pollutants — carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO), nitrogen dioxide (NO_2), and sulfur dioxide (SO_2) — measured at major traffic intersections. Exceedances of the maximum permissible concentrations (MPC) for CO and NO_2 were recorded at several locations, indicating a significant impact of vehicular emissions. The highest levels of exceedance were observed at the intersections of Chornovola Avenue with Horodotska Street, Svobody Avenue with Beryndy Street, and Chornovola Avenue with Pid Dubom Street. These locations have been identified as pollution “hotspots” that require immediate measures to improve air quality. Although some improvement was noted in certain years, the overall trend of increasing pollutant concentrations highlights the need for comprehensive mitigation strategies.

Keywords monitoring, ambient air environment, maximum permissible concentration (MPC), air pollutants, emission sources, Lviv, regulatory limits

1. ВСТУП

Сучасний рівень технологічного розвитку забезпечує можливість здійснення моніторингу стану довкілля даючи змогу проводити аналіз і прогнозування подальших змін екологічної ситуації. Особливого значення набуває контроль за станом атмосферного повітря, яке є ключовим

компонентом природного середовища. Його охорона та забезпечення належної якості становлять одне з пріоритетних завдань сучасної екологічної політики.

Глобалізаційні процеси та стрімкий технічний розвиток людства зумовили незворотні зміни у складі та властивостях атмосфери. Забруднення атмосферного повітря чинить негативний вплив як на здоров'я населення, так і на функціонування екосистем. Підвищене антропогенне навантаження призводить до зниження здатності атмосфери до самоочищення, що спричиняє накопичення шкідливих речовин і, відповідно, зниження якості повітря.

Інтенсивна урбанізація, зростаючі обсяги енергоспоживання, а також зростання кількості транспортних і промислових викидів сприяють збільшенню не лише концентрації, а й різноманітності атмосферних забруднювачів, що безпосередньо впливають на органи дихання людини. У цьому контексті проблема атмосферного забруднення набуває особливої актуальності.

Аерозольне забруднення атмосфери переважно виникає внаслідок емісії різноманітних забруднюючих речовин, серед яких найпоширенішими є оксид вуглецю (CO), діоксид азоту (NO_2), оксид азоту (NO) та діоксид сірки (SO_2). Основними джерелами викидів цих сполук є автотранспорт, електростанції та промислові підприємства. Зокрема, значну частку атмосферних аерозолів у міському середовищі становлять частинки дизельного вихлопу, що пов'язано зі зростанням кількості транспортних засобів, оснащених дизельними двигунами [592].

2. ПРИРОДНІ УМОВИ М. ЛЬВОВА

2.1. Географічне положення м. Львова

Місто Львів, розташоване на заході України в межах історико-культурного регіону Галичина та Карпатського єврорегіону. Львів є одним із провідних урбаністичних центрів країни з високим рівнем соціально-економічного, туристичного, культурного та наукового розвитку. Місто засноване у 1256 році королем Данилом Галицьким, що зумовлює його вагому історико-культурну цінність. Завдяки вигідному геостратегічному розташуванню поблизу державних кордонів Львів відігравав значну роль у соціально-економічному та політичному розвитку регіону протягом століть.

Географічно місто розташоване на східній частині Галичини, у межах долини річки Полтви – правої притоки Західного Бугу, що належить до басейну Балтійського моря. Географічні координати Львова: 49°50′ північної широти та 24°01′ східної довготи. Клімат регіону – помірно-континентальний, із теплим літом і холодною зимою. Львів виступає значущим осередком торгівлі, туризму та міжнародної співпраці, приваблюючи численних відвідувачів своїм культурним багатством, архітектурною спадщиною та унікальною атмосферою.

Стародавня частина міста сформувалася у межах долини річки Полтви, що врізається в східний схил Подільської височини. Долина має ширину 3-4 км та висоту 260-270 м над рівнем моря; історично вона характеризувалася болотистими ґрунтами з торфовищами. У північному напрямку ширина долини зменшується до 1 км. Геоморфологічно вона простягається між Подільською височиною та пасмом Розточчя, досягаючи Бузької депресії. Західна межа долини обмежена хребтом Гологори, сформованим з крейдяних мергелів, міоценових пісковиків, піску та вапняку, які перетинаються лісистими ярами. Ця частина ландшафту вважається однією з найбільш мальовничих у межах міста. На північному заході рельєф переходить у більш знижене та заліснене Розточчя, що простягається від гори Кортумівка (на захід від Полтви) до Лисої гори поблизу селища Брюховичі.

[592] Kelly F. J., Fussell J. C. Air pollution and airway disease. *Clinical & Experimental Allergy.* (2011). 41(8). 1059-1071. *https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2011.03776.x*

Схематичне зображення географічного положення міста Львова наведено на рис. 1.

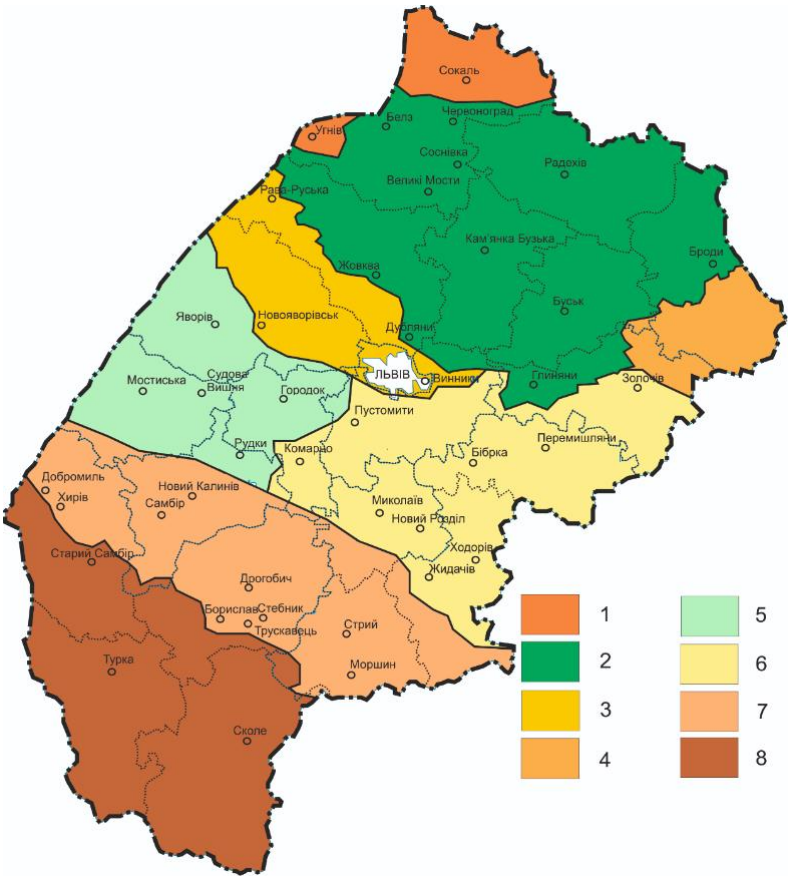


Рисунок 1. Класифікація міст Львівської області за фізико-географічними областями:
1 – Волинська височина; 2 – Мале Полісся; 3 – Розточчя; 4 – Відроги Подільської височини;
5 – Надсянська рівнина; 6 – Опілля; 7 – Передкарпаття; 8 – Карпати [593]

Географічне положення м. Львова має низку суттєвих переваг, зумовлених розташуванням на перетині важливих міжнародних транспортно-комунікаційних шляхів, які з'єднують Україну з країнами Центральної та Східної Європи, зокрема Польщею, Словаччиною, Угорщиною та Румунією. Таке транзитне розташування створює сприятливі умови для розвитку зовнішньо-економічних зв'язків, передусім у сфері торгівлі та логістики. Водночас багата історико-культурна спадщина міста формує потужний потенціал для розширення туристичної інфраструктури та активізації міжнародного туристичного обміну, що у комплексі робить Львів важливим центром транскордонного співробітництва.

2.1. Рельєф і приповерхневі відклади

Якість повітря у приземному шарі визначається не лише просторовим розміщенням джерел забруднення та специфікою викидів, а й комплексом атмосферних характеристик, на які впливають геоморфологічні та кліматичні чинники. Зокрема, макроклімат, що формується під впливом глобальних атмосферних процесів, створює фон для подальшої мезо- та мікрокліматичної диференціації. Ці локальні варіації зумовлюються, насамперед, особливостями рельєфу та типом наземного покриву. Мезорельєф, представлений формами поверхні протяжністю від 0,1 до 10 км (у тому числі днища долин, схили, вододільні ділянки), формує структуру мезоклімату, тоді як

[593] Назарук М. М. Львів місто, природа, простір. Львів: Видавництво Старого Лева, 2022. 329 с.

мікроклімат залежить від різноманітних типів земної поверхні, які включають поєднання мікрорельєфу, ґрунтів, рослинного покриву, штучної забудови та інженерних споруд.

Рельєф є одним із визначальних факторів, що впливає на екологічну якість середовища, комфорт проживання населення, санітарно-гігієнічні умови та візуальну привабливість простору. Він відіграє ключову роль у формуванні водного режиму території, розміщенні водних об'єктів і водостоків, а також у структуруванні рослинності й мікрокліматичних умов. Проте інтенсивна урбанізація та активізація інженерно-господарської діяльності спричиняють негативні геодинамічні процеси, зокрема водну та вітрову ерозію, зсуви, обвали, а також забруднення та виснаження підземних вод. Крім того, рельєф опосередковано впливає на психоемоційний стан людини через естетичне сприйняття простору та умови просторової організації вологи і тепла в ландшафті.

Серед зовнішніх чинників, що формують рельєф, особливо важливими є процеси фізичного та хімічного вивітрювання, діяльність текучих вод, а також біогеохімічна активність живих організмів.

Рельєф м. Львова вирізняється складністю геоморфологічної будови та значним різноманіттям форм. Місто розташоване на межі чотирьох різних морфологічних ландшафтних утворень: хвилястого Львівського Розточчя, плоскохвилястого Львівського плато, улоговинно-грядового Побужжя та плоскогорбистої Городоцько-Щирецької рівнини [594].

Мезорельєф та приповерхневі відклади є ключовими елементами ландшафтної структури, формування яких є результатом тривалого геологічного розвитку відповідної ділянки земної кори. Мезорельєф, як один із визначальних морфологічних факторів, значною мірою впливає на мезокліматичну диференціацію приземного шару атмосфери, а отже – і на якість повітря в межах конкретної території.

З тектонічної точки зору Львівська агломерація розташована на західній околиці Східноєвропейської платформи, на межі її переходу в Центральноєвропейську платформу. Кристалічний фундамент обох платформ занурений під товстим шаром осадових порід. Вище ерозійного базису залягають мергелі маастрихтського ярусу, а на висотах понад 300 м над рівнем моря – пісковики, піски та вапняки баденського ярусу. Поверх цих корінних порід здебільшого сформовано шар неконсолідованих четвертинних відкладів, що узгоджуються за своїм розташуванням із сучасним рельєфом місцевості.

У межах Львівської агломерації, залежно від характеру мезорельєфу, який сформувався під впливом неотектонічних рухів та типів приповерхневих осадів, виділяють п'ять морфоструктур. Вони утворюють своєрідні екорегіони – просторово-цілісні природні системи з характерними мезокліматичними умовами (рис. 2). Зокрема, Львівське Розточчя та Давидівське пасмо представлені горбистими височинами; Львівське плато й Любінська рівнина – хвилястими височинами; Пасмове Побужжя – хвилястою зниженою височиною. В місці їхнього зчленування сформувалась Львівська улоговина, в межах якої виник і розвинувся історичний центр міста [595].

Днище та схили цієї улоговини належать до різних морфоструктурно-екорегіональних одиниць. Основні статистичні показники геоморфометрії зазначених морфоструктур подані в таблиці 1.

[594] Назарук М. М. Львів місто, природа, простір. Львів: Видавництво Старого Лева, 2022. 329 с.
[595] Круглов І. Природні геоекосистеми, карта масштабу 1:75000. У: Львів. Комплексний атлас. ДНВП "Картографія," Київ. 2012, 165–173 с.

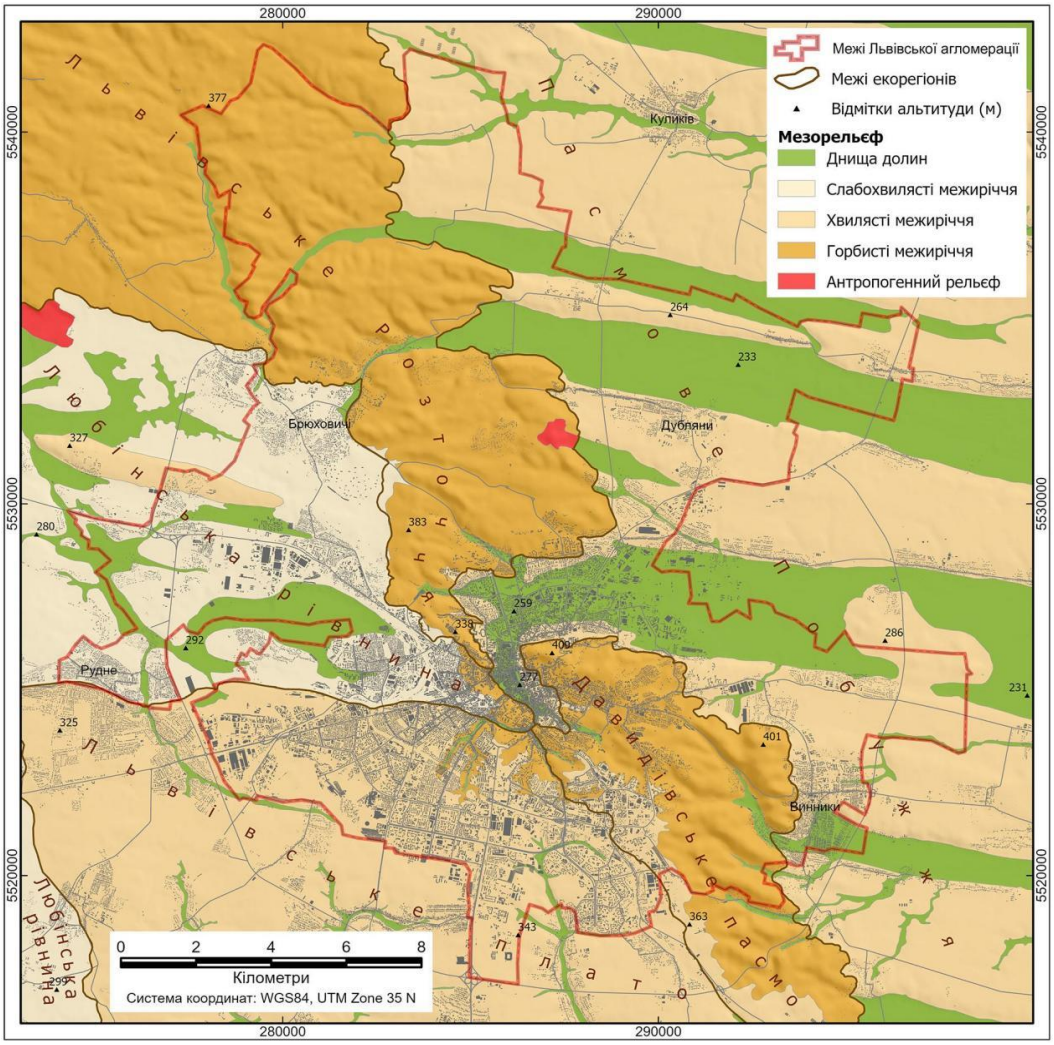


Рисунок 2. Рельєф Львівської агломерації (топографічні карти масштабу 1:50 000), (межі агломерації міста Львів розглядаємо як межі Львівської міської територіальної громади) [596]

Львівське Розточчя та Давидівське пасмо, які формують відповідно північно-західну та південно-східну частини Львівської агломерації, являють собою горбисті гряди з асиметричними схилами. Східні схили мають більшу крутизну та протяжність, інтенсивно розчленовані долинами річок і ярами, й спускаються до пониження Пасмового Побужжя. У порівнянні з ними, західні схили мають менш виражений рельєф. Абсолютні висоти Давидівського пасма перевищують 400 м (зокрема, Високий Замок – 409 м, Чатова Скеля – 401 м), тоді як на території Львівського Розточчя ці показники сягають понад 380 м. Найнижчі відмітки (250–270 м) фіксуються у долинних пониженнях, які межують із Пасмовим Побужжям. Основу геологічного розрізу становлять корінні породи маастрихтського та баденського віку, які на схилах та вершинах переважно перекриті лесовидними суглинками елювіально-колювіального походження. У днищах вузьких долин залягають алювіальні суглинки, мул і торф. На західних схилах Львівського Розточчя, що

[596] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

прилягають до Любінської рівнини, поширені елювіально-колювіальні піски та супіски. Львівське Розточчя поділене на чотири окремі морфологічні масиви наскрізними долинами Клепарівського й Гомулецького потоків та річки Млинівки.

Таблиця 1

Геоморфометричні статистичні показники за екорегіонами, розраховані для Львівської агломерації на підставі цифрової моделі висот SRTM [597]

Назва екорегіону	Площа (км²)	Середня альтитуда (м)	Стандартне відхилення альтитуди (м)	Середнє відносне перевищення в радіусі 1000 м (ВП1000) (м)	Стандартне відхилення ВП1000 (м)
Львівське Розточчя	75,5	321	29	94	17
Давидівське пасмо	31,2	337	29	99	27
Львівське плато	45,5	331	12	33	10
Любінська рівнина	53,8	306	12	38	16
Пасмове Побужжя	109,6	254	16	54	32
Вся Львівська агломерація	315,6	298	39	62	34

Львівське плато охоплює південно-західну частину Львівської агломерації та характеризується розлогими, майже горизонтальними вододільними поверхнями й переважно пологими, короткими схилами, що ведуть до вузьких долин малих водотоків. Абсолютні висоти на вододілах здебільшого не перевищують 340 м, тоді як у долинних пониженнях вони рідко опускаються нижче 300 м. Геологічна будова поверхневого шару представлена декількометровою товщею лесовидних елювіально-колювіальних суглинків, що залягають на флювіогляціальних глинах. Останні, у свою чергу, підстелені баденськими пісковиками та окремими лінзами ангідритів. Така геолого-геоморфологічна структура зумовлює розвиток карстових та просадкових мікроформ рельєфу на території плато.

Любінська рівнина, розташована в західній частині Львівської агломерації, загалом характеризується нижчим гіпсометричним рівнем порівняно з Львівським плато. Найвищі абсолютні відмітки зафіксовано на межі з Розточчям, де вони сягають 350 м. Водночас більша частина території представлена широкими, слабохвилястими вододільними поверхнями з невиразними схилами, абсолютні висоти яких здебільшого не перевищують 320 м. Геологічна структура цих поверхонь сформована переважно флювіогляціальними та еоловими пісками, що залягають на глинах, подекуди моренного походження (валунна глина). Виняток становить виразне пасмове підвищення в районі села Кожичі, де розвинуті еолово-колювіальні лесовидні супіски та суглинки. Долинні пониження у верхів'ях річок мають значну ширину, однак у напрямку течії різко звужуються. Їхні висоти коливаються в межах 280-305 м, а заповнення представлене шарами торфу, який залягає на флювіогляціальних пісках.

Пасмове Побужжя охоплює східний сектор Львівської агломерації, включаючи північні та центральні райони міста Львова. Цей природно-географічний регіон вирізняється найнижчим серед прилеглих територій абсолютним висотним рівнем. Його геологічна основа представлена маастрихтськими мергелями, а мезорельєф характеризується поєднанням широких долинних понижень, розділених низькими пасмами з пологими схилами, орієнтованими переважно у

[597] Jarvis A., Guevara E., Reuter H. I., Nelson A. D. Hole-filled SRTM for the globe : version 4 : data grid. Web publication/site, CGIAR Consortium for Spatial Information. 2008. URL: *https://research.utwente.nl/en/publications/hole-filled-srtm-for-the-globe-version-4-data-grid.*

субширотному напрямі. Вододільні ділянки пасом мають порівняно рівну поверхню з висотами, що не перевищують 290 м, і вкриті еолово-колювіальними лесовидними супісками та суглинками. Абсолютні відмітки долин варіюються від 270 м у центральній частині Львова до 230 м на східному краї агломерації. Долини заповнені торф'яними відкладами та флювіогляціальними пісками.

Львівська улоговина сформувалася на стику усіх п'яти екорегіонів, описаних вище. Її днищем є колишня заболочена заплава річки Полтви, а також прилеглі пологі схили-педіменти, складені елювієм мергелю, на яких сформувався історичний центр міста. Альтитуди тут становлять 270-280 м. Улоговина відкрита до півночі. Її найвищі північно-західний, західний та південно-західний борти утворюють круті і спадисті терасовані схили Давидівського пасма, закладені у мергелі та, головно, у баденських відкладах і розділені долинами витоків Полтви. Найвищим є штучний пагорб Високого Замку (409 м), альтитуди інших місцевих вододілів зрідка перевищують 360 м. З півдня до улоговини підступають спадисті зсувні схили Львівського плато, сформовані в глинистих і суглинкових корінних і континентальних відкладах. Вони розчленовані ярами і опускаються до днища долини Вульки і Сороки – основних витоків Полтви. Верхні частини цих схилів досягають альтитуди 340 м. Схил Любінської рівнини, складений корінними піском і мергелем та перекритий колювіальним суглинком, полого опускається до днища Полтви з заходу. На ньому виділяються крутосхилі останцеві горби Цитаделі і Св. Юра, які мають альтитуду ~ 315 м. На північному заході розташована Клепарівська височина як найпівденніший з чотирьох масивів Львівського Розточчя в межах Львівської міської територіальної громади. За геолого-геоморфологічною будовою вона повторює масив Високого Замку, але має менші альтитуди – до 338 м [598] [599].

2.3. Наземний покрив

Фактичний наземний покрив, під яким розуміється сукупність актуальних характеристик земної поверхні, зокрема природних і антропогенних ґрунтів, особливостей мікрорельєфу, архітектурних об'єктів, інженерної інфраструктури, рослинного покриву тощо, поряд із рельєфом та приповерхневими геологічними відкладами, становить один із ключових структурно-функціональних компонентів ландшафту (рис. 3). Він відіграє важливу роль у мікрокліматичній диференціації приземного шару атмосфери [600].

Днище Львівської улоговини в межах міста переважно перекрите насипними техногенними ґрунтами та щільно забудоване середньоповерховими (3-5 поверхів) житловими й адміністративними будівлями, що сформувалися переважно до початку XX століття як суцільний периметральний фронт забудови. На прилеглих до днища схилах улоговини переважає менш щільна забудова, сформована в період кінця XIX – середини XX століття, що поєднує середньо- та малоповерхові будівлі. У таких районах спостерігається варіативність структури забудови: від суцільної лінійної забудови вздовж вулиць до індивідуальної садибної забудови. Внутрішньоквартальні простори мають значну площу та високий рівень озеленення.

На крутіших схилах і в ярах, прилеглих до улоговини, переважає деревно-чагарникова рослинність, що представлена переважно елементами історичних міських парків. Північні спадисті й круті схили Львівського Розточчя, які межують із міською територією, зазнали сучасного

[598] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

[599] Матвіїв, М. Д., Малюха, Л. П., Захарченко, О. В. Конструктивно-географічний аналіз території пасмового побужжя. 2018. ResearchGate. URL: *https://www.researchgate.net/publication/340633939_KONSTRUKTIVNO-GEOGRAFICNIJ_ANALIZ_TERITORII_PASMOVOGO_POBUZZA*

[600] Круглов І. Трансдисциплінарна геоекологія: монографія. Львів : ЛНУ ім І Франка, 2020. 292 с.

урбанізаційного освоєння: тут переважає малоповерхова забудова з присадибними ділянками та багатоповерхова (рядна і стрічкова) забудова, що інтенсивно розвивалася в останні десятиліття.

За межами міста круті межиріччя Львівського Розточчя та Давидівського пасма вкриті переважно лісопарковими деревними насадженнями, тоді як долинні пониження та нижні частини схилів займає розріджена малоповерхова забудова сільського і дачного типу з присадибними територіями.

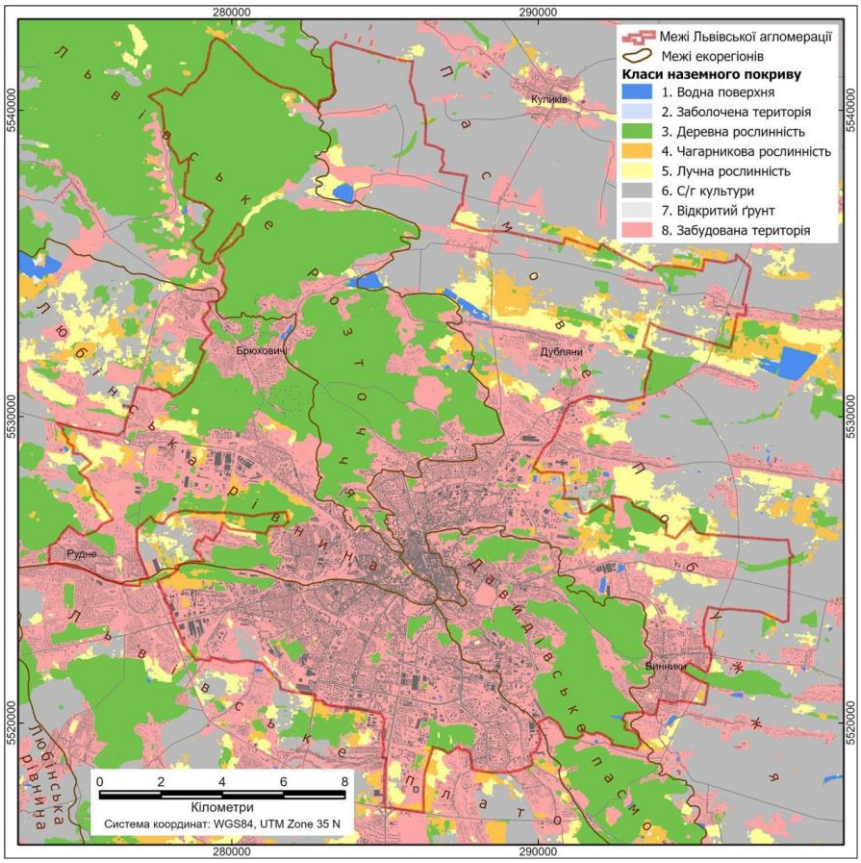


Рисунок 3. Ландшафтний комплекс Львівської агломерації [601]

На широких вододільних поверхнях Давидівського пасма та Львівського плато сформувались індустріальні об'єкти, зведені у другій половині XX століття, а також рядна і стрічкова житлова забудова середньої та великої поверховості з озелененими внутрішньоквартальними просторами. Частина цієї забудови походить із періоду 1950-1980-х років, інша є сучасною. Водночас тут збереглися квартали низькоповерхової «реліктової» забудови, що сформувалася до середини XX століття, а також фрагменти лісопаркових масивів. Аналогічні морфологічні та функціональні ознаки притаманні наземному покриву вододільних ділянок Любінської рівнини.

Широкі долинні пониження цієї рівнини, однак, здебільшого вкриті лучно-чагарниковою рослинністю, сформованою на дренованому болотному субстраті. В останні десятиліття спостерігається урбанізація заболочених долинних ділянок – зокрема, у мікрорайоні Рясне-2 було збудовано багатоповерхові житлові будинки на насипних ґрунтах.

У межах Пасмового Побужжя, зокрема в широкій долині річки Полтви за межами Львівської улоговини, сформувався урбанізований комплекс, що включає поєднання малоповерхової та

[601] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

багатоповерхової житлової забудови з промисловими об'єктами – подібно до структур, що виникли на межиріччях Львівського плато та Любінської рівнини.

Широкі днища долин Гомулецького потоку та річки Млинівки, розташовані у північно-східній частині Львівської агломерації, зайняті лучною і чагарниковою рослинністю, а також сільськогосподарськими угіддями, що формуються на дренованих болотних ґрунтах і торфах. На межі з Розточчям у цій зоні також розташовані найбільші за площею штучні стави.

Колишнє заболочене днище долини річки Маруньки нині зайняте низькоповерховою житловою забудовою міста Винники. На схилах і дренованих поверхнях гряд і пасом сформувалася переважно середньо- та малоповерхова забудова у межах населених пунктів Дубляни, Лисиничі, Винники, а також інших менших поселень. Крім того, на цій території активно використовуються сільськогосподарські угіддя [602].

2.4. Мікроклімат

Оцінка макрокліматичних умов Львівської агломерації здійснена переважно на основі даних Львівської авіаційної метеорологічної станції, що розташована на відкритій вододільній ділянці Львівського плато, у південно-східній частині територіальної громади (географічні координати за WGS84: 49,811° пн. ш., 23,943° сх. д.; абсолютна висота – 318 м).

Фактори макроклімату

Основним енергетичним чинником, що формує макрокліматичні умови, є надходження сонячної радіації. Широтне положення Львівської агломерації зумовлює помірний рівень радіаційного забезпечення, який характеризується вираженою сезонною варіативністю. Потенційне надходження сумарної сонячної радіації змінюється від 158 МДж/м^2 у грудні до 961 МДж/м^2 у червні, становлячи загалом близько 6836 МДж/м^2 на рік [603].

Попри значний потенціал надходження сонячної радіації, фактичні її величини на підстильній поверхні є суттєво меншими через розсіювання аерозолями, зокрема хмарністю, та поглинання водяною парою. У другій половині XX століття сумарна фактична сонячна радіація змінювалася від 80 МДж/м^2 у грудні до 621 МДж/м^2 у червні–липні, з річною сумою близько 4205 МДж/м^2.

Альбедо поверхні стандартного метеорологічного майданчика варіювалося протягом року: від 0,45 у січні до 0,16 у квітні, при середньорічному значенні 0,24. Радіаційний баланс змінювався від мінімального значення – 21 МДж/м^2 у грудні до максимального 322 МДж/м^2 у червні-липні, а його річне значення становило приблизно 1800 МДж/м^2. З огляду на зростання концентрації парникових газів у атмосфері, сучасні значення радіаційного балансу, ймовірно, є дещо вищими.

Важливою кліматоформувальною передумовою є положення Львівської агломерації в системі глобальної атмосферної циркуляції. Основний вплив на рух повітряних мас у регіоні здійснюють три ключові баричні центри: Ісландський мінімум, Азорський максимум і Сибірський максимум. Їхня взаємодія формує переважання західного переносу морського помірного повітря з Атлантики, здебільшого у вигляді циклонічних утворень.

У зимовий період можливе надходження холодного арктичного повітря з півночі, як у циклонах, так і в антициклонах, що зумовлює виникнення хвиль холоду. Іноді, здебільшого взимку, територію

[602] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

[603] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

охоплює дуже холодне і сухе континентальне повітря зі сходу. У літній період рідко спостерігається вторгнення жаркого тропічного повітря з півдня, що призводить до виникнення хвиль спеки.

Загалом протягом року переважають антициклональні умови – близько 212 діб на рік проти 153 діб циклонального типу погоди. Атлантичні циклони взимку зазвичай приносять потепління зі слабкими опадами, а влітку – похолодання, що супроводжується зливовими опадами та шквалистим вітром [604].

Вітровий режим

На території Львівської агломерації переважаючими напрямками вітру є західний і південно-східний (рис. 4.а, 4.б), що зумовлено дією західного переносу атлантичних повітряних мас. Формування південно-східних вітрів зазвичай пов'язане з фронтальними зонами циклонів та тиловими частинами антициклонів, що просуваються з Атлантичного океану. Середньорічна швидкість вітру становить приблизно 2,7 м/с. Найчастіше фіксуються слабкі й помірні вітри зі швидкістю до 4 м/с. В окремі періоди можливе виникнення буревіїв із поривами вітру, що перевищують 30 м/с [605].

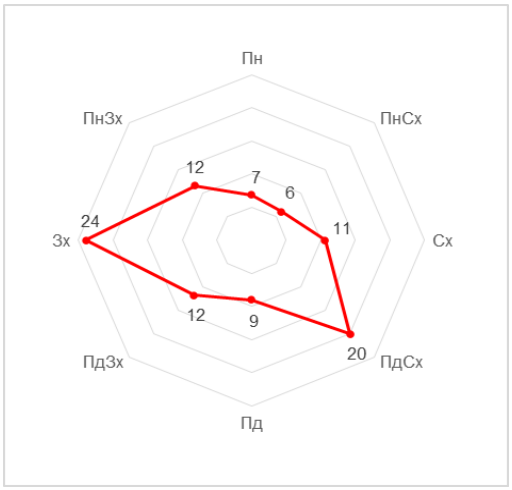


Рисунок 4.а. Роза вітрів для кліматичного періоду 1961-1990 рр. Повторюваність напрямку вітру за румбами у %

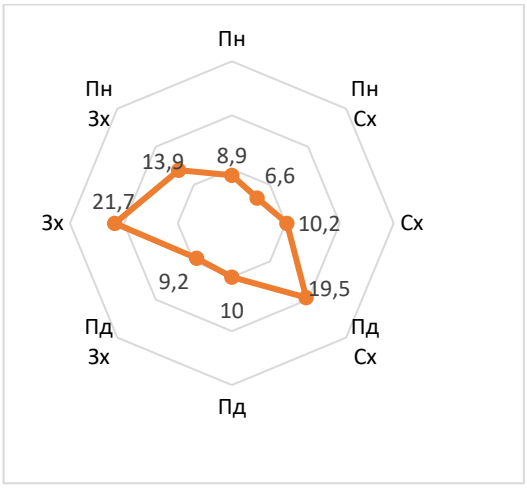


Рисунок 4.б. Роза вітрів для кліматичного періоду 1990-2020 рр. Повторюваність напрямку вітру за румбами у %

Температуриний режим

Упродовж сучасного кліматичного періоду (1991-2020 рр.) середньорічна температура повітря у Львові становила +8,3 °С. Найнижче середнє річне значення було зафіксоване у 1996 році й склало +6,4 °С, тоді як найвищі середньорічні температури спостерігались у 2019 та 2020 роках – по +9,7 °С. Стандартне відхилення середньорічної температури для цього періоду дорівнювало 0,9 °С, що вказує на відносно стабільний температурний режим.

Найхолоднішим місяцем у середньому був січень із температурою -,7 °С, найтеплішим – липень із показником +19,0 °С (рис. 5). Таким чином, середня річна амплітуда температур повітря

[604] Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М.М.Назарука. Львів: Видавництво Старого Лева, 2018. 592 с.

[605] План дій сталого енергетичного розвитку та клімату Львівської міської територіальної громади. Угода мерів щодо клімату та енергії в Україні. С. 58-59. URL: https://cityadm.lviv.ua/lmrdownloads/2022/07/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD_%D0%B4%D1%96%D0%B9_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83_web_02.pdf

становила 21,7 °С. Найвища міжрічна варіативність середньомісячної температури була характерна для зимових місяців, а найменша – для літніх. Максимальне стандартне відхилення спостерігалося у лютому (3,1 °С), а мінімальне – в серпні (1,2 °С).

Найнижчу середню місячну температуру зареєстровано в лютому 2012 року (-8,8 °С), а найвищу – в серпні 2015 року (+21,6 °С). Абсолютний мінімум температури повітря також припадає на лютий 2012 року і становив -28,6 °С, тоді як абсолютний максимум (+35,6 °С) зафіксовано в серпні того ж року.

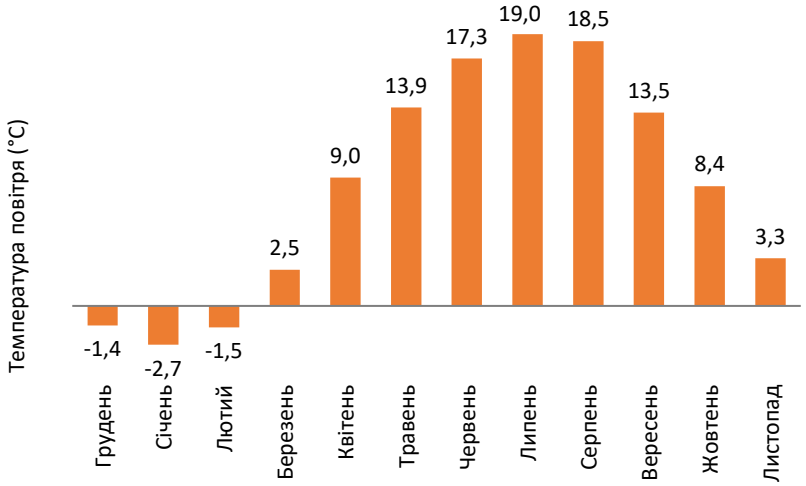


Рисунок 5. Середньомісячна температура повітря (°С) для кліматичного періоду 1991-2020 рр.

Місто Львів вирізняється найвищим серед обласних центрів України рівнем річної кількості опадів та найнижчими середніми літніми температурами. Це зумовлено порівняно низьким ступенем континентальності клімату, що є одним із найменших серед великих міст країни. Середньорічна кількість атмосферних опадів становить близько 740 мм, з мінімальними значеннями у січні та максимальними – у липні. У середньому на рік у місті фіксується приблизно 174 дні з опадами.

Для всіх сезонів характерна висока варіабельність атмосферних параметрів – різкі коливання тиску, температури та вологості. Зимовий період у Львові зазвичай м’який, при цьому стійкий сніговий покрив формується не щороку. Весна відзначається прохолодною та вологою погодою; заморозки та епізодичні снігопади можливі до початку травня. Літо в регіоні, як правило, прохолодне: середні температури коливаються в межах +20…25 °С, проте нерідко фіксуються екстремальні значення до +35 °С. У літній період характерними є грозові зливи, значні температурні перепади під впливом проходження атмосферних фронтів, а також часті випадки ураганоподібного вітру, що спричиняє повалення дерев, обриви ліній електропередач та локальні руйнування. Осінь зазвичай помірно тепла та відносно суха.

Центральна частина Львова, розташована в улоговині, має специфічний мікроклімат. Тут спостерігаються нижчі нічні мінімальні температури та вищі денні максимальні, що є наслідком ефекту «міського теплового острова», спричиненого урбанізацією. Такий ефект зумовлюється значною площею штучних поверхонь (бетон, асфальт, скло), які активно акумулюють та випромінюють теплову енергію, а також інтенсивним транспортним рухом, що є додатковим джерелом тепла. У підвищених частинах міста більш типовими є сильні вітри, зумовлені орографічними особливостями рельєфу.

Львів має помірно континентальний клімат з м'якими зимами та прохолодним літом. Середньорічна температура становить близько +8,3 °С. Протягом року спостерігається близько 206 днів з опадами, що робить Львів одним з найвологіших міст України .

Дані річного температурного спостереження м. Львова за 2023 рік наведено у таблиці 2 [606].

Таблиця 2

Зміна річної температури м. Львова у 2023 році

Клімат м. Львів, 2023

Показник	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.
Абсолют макс °	15°C	9°C	19°C	23°C	25°C	29°C	30°C	34°C	34°C	23°C	20°C	11°C
Середня макс °C	5°C	4°C	9°C	17°C	23°C	26°C	28°C	29°C	27°C	20°C	15°C	9°C
Середня темп °C	1°C	0°C	6°C	15°C	18°C	23°C	25°C	27°C	24°C	18°C	9°C	7°C
Середня мін °C	-2°C	-7°C	-3°C	5°C	12°C	15°C	17°C	20°C	17°C	10°C	-5°C	-5°C
Абсолют мін °C	-5°C	-15°C	-7°C	-5°C	8°C	8°C	10°C	12°C	7°C	-2°C	-12°C	-12°C

Режим опадів

У період 1991–2020 років середньорічна сума атмосферних опадів у Львові становила 769 мм. Найменшу кількість опадів було зареєстровано у 1995 році – 614 мм, натомість найбільшу – у 1998 році, коли вона досягла 1009 мм. Стандартне відхилення річної суми опадів за цей період становило 107 мм, що свідчить про помірну міжрічну варіативність.

Найбільша кількість опадів у середньому припадала на період з травня по липень, з максимумом у липні – 96 мм. Найменша кількість фіксувалася в зимовий період, особливо у січні – 45 мм (рис. 6). Таким чином, річний розподіл опадів демонструє чітку кореляцію з температурним режимом: максимум опадів припадає на найтепліший місяць (липень), а мінімум – на найхолодніший (січень).

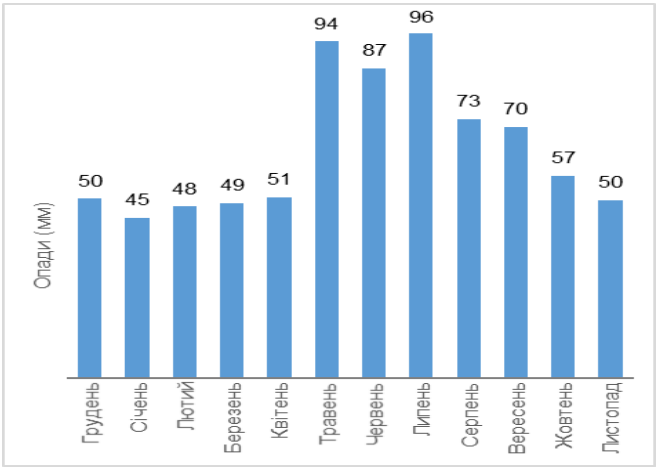


Рисунок 6. Середньомісячна кількість опадів (мм) для кліматичного періоду 1991-2020 рр.

Багаторічна варіативність середньомісячних сум опадів також мала сезонну диференціацію: вона була найвищою в липні (стандартне відхилення 47 мм) і найнижчою в січні (18 мм). Мінімальна місячна сума опадів – 1 мм – спостерігалася в листопаді 2011 року, тоді як максимальна – 217 мм — була зафіксована у травні 2010 року.

[606] Клімат м. Львова. AccuWeather. 2023. URL: *https://www.accuweather.com/uk/ua/lviv/324561/july-weather/324561*.

Добові суми опадів у теплий період року іноді перевищували 40 мм, що пов'язано з дією атмосферних фронтів і циклонів, які супроводжувалися грозовими зливами [607] [608].

3. ЧИННИКИ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У МІСЬКИХ УМОВАХ

Відповідно до Закону України «Про охорону атмосферного повітря», атмосферне повітря є життєво важливим компонентом навколишнього природного середовища. Воно являє собою природну суміш газів, що знаходиться за межами закритих приміщень (житлових, виробничих та інших) [609].

Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» вказує на забруднення атмосферного повітря як одну з ключових екологічних проблем сучасної України. Незважаючи на скорочення обсягів промислового виробництва, рівень забруднення повітря у великих містах і промислових регіонах залишається високим [610].

Основними джерелами забруднення атмосфери є продукти згоряння, що утворюються як у промислових процесах, так і в транспортному секторі. Значний внесок у формування забруднення здійснюють об'єкти енергетичної інфраструктури – котельні, теплоелектростанції, промислові печі, що експлуатуються в металургії, хімічній промисловості, будівництві, нафтопереробці тощо. Проте найбільшу частку атмосферного забруднення забезпечує автомобільний транспорт, на який припадає більшість викидів.

У Львові нараховується понад 600 промислових підприємств, які забезпечують близько 90% викидів від стаціонарних джерел у межах міста. Основними чинниками погіршення якості повітря є локальні промислові об'єкти та висока інтенсивність автомобільного руху. Зниження рівня викидів від цих двох джерел є критично важливим для покращення стану атмосферного повітря в місті.

У межах дослідження джерел забруднення прийнято розрізняти стаціонарні та пересувні джерела. Стаціонарними джерелами точкового типу вважаються ті, що розташовані на визначеній території та продукують викиди з локалізованої точки – наприклад, димові труби промислових підприємств, теплоелектростанцій, котелень, технологічних установок, аспіраційних систем, вентиляційних шахт тощо.

Основні забруднювальні речовини, які надходять в атмосферу зі стаціонарних джерел, включають діоксид сірки (SO_2), діоксид азоту (NO_2), зважені частинки (PM), золу. У менших кількостях – чадний газ (CO), феноли, сірчану кислоту (H_2SO_4) та інші сполуки, склад яких залежить від специфіки конкретного промислового об'єкта [611] [612].

3.1. Джерела забруднення атмосферного повітря м. Львова

Одним із ключових чинників у визначенні впливу на якість атмосферного повітря є врахування кількісних показників підприємств, що здійснюють викиди забруднювальних речовин

---

[607] План дій сталого енергетичного розвитку та клімату Львівської міської територіальної громади. Угода мерів щодо клімату та енергії в Україні. С. 58-59. URL: *https://cityadm.lviv.ua/lmrdownloads/2022/07/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD_%D0%B4%D1%96%D0%B9_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83_web_02.pdf*

[608] Клімат м. Львова. AccuWeather. 2023. URL: *https://www.accuweather.com/uk/ua/lviv/324561/july-weather/324561*.

[609] Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 50, ст.678): Редакція від 15.11.2024. URL: *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text*.

[610] Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст.70) URL: *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Tex*

[611] Основні забруднювачі атмосферного повітря: характеристики, вплив на організм людини. URL: *https://eco.aep.kiev.ua/novini/osnovni-zabrudnyuvachi-atmosfernogo-povitrya-harakteritstiki-vpliv-na-organizm-lyudini/*

[612] Статистичний збірник «Довкілля України за 2017 рік». Державна служба статистики України. 2018. URL: *http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2018/zb/11/zb_du2017.pdf*

(табл. 3). Упродовж 2017-2021 років спостерігалося зменшення як загальної кількості підприємств, що здійснюють викиди в атмосферу, так і кількості чинних дозволів на здійснення таких викидів.

Таблиця 3

Джерела забруднення атмосферного повітря м. Львова [613]

		2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік
1	Загальна кількість підприємств, що здійснюють викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря, од*	158	157	174	154	149
2	Загальна кількість (одиниць) діючих дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, об'єкт якого належить до*:	163	162	179	159	154
	першої групи	5	5	5	5	5
	другої групи та третьої групи*	158	157	174	154	149
3	Кількість зареєстрованих транспортних засобів, од з них такі, що належать:	-	-	-	-	175908
	юридичним особам, од	-	-	-	-	-
	фізичним особам, од.	-	-	-	-	-
4	Протяжність автомобільних доріг, тис.км	588,9	588,9	588,9	588,9	588,9
	з них з твердим покриттям	493,1	494,7	497,5	499,3	499,3
5	Інші джерела забруднення, од					
	кількість аеропортів	1	1	1	1	1
	кількість морських/річкових портів	-	-	-	-	-
	кількість об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів, місць видалення відходів:	-	-	1316	1336	1370
	контейнерні майданчики	-	-	1315	1335	1369
	міська компостувальна станція	-	-	1	1	1
6	Природні джерела (за наявності)	-	-	-	-	-

Перелік основних стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря м. Львова наведений у таблиці 4, рис. 7 [614].

Таблиця 4

Перелік основних стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря м. Львова та обсяги їх викидів, т

№ з/п	Назва	Обсяги викидів, т
1.	Львівське комунальне підприємство "Залізничнетеплоенерго"	490,049
2.	Львівське міське комунальне підприємство "Львівтеплоенерго"	404,113
3.	Львівське міське комунальне підприємство "Львівводоканал"	284,695
4.	Іноземне підприємство "Західна індустріальна компанія"	106,271
5.	Товариство з обмеженою відповідальністю "Львівська ізоляторна компанія"	99,126
6.	Приватне акціонерне товариство "Галнафтохім"	65,388

[613] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

[614] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

Продовження таблиці 4

№ з/п	Назва	Обсяги викидів, т
7.	Товариство з обмеженою відповідальністю торгово-виробнича компанія "Перша приватна броварня 'Для людей — як для себе!'"	40,723
8.	Товариство з обмеженою відповідальністю "Картонно-паперова компанія"	39,644
9.	Товариство з додатковою відповідальністю "Гал-Кат"	39,435
10.	Акціонерне товариство "Галичфарм"	34,208
11.	Акціонерне товариство "Львівська кондитерська фабрика 'Світоч'"	25,955
12.	Товариство з обмеженою відповідальністю - фірма "ЯЗЬМ"	22,531
13.	Приватне акціонерне товариство "Львівський холодокомбінат"	21,941
14.	Державне підприємство "Львівський бронетанковий завод"	21,534
15.	Приватне акціонерне товариство "Львівський локомотиворемонтний завод"	20,027
16.	Українсько-англійське спільне підприємство у формі товариства з обмеженою відповідальністю "Галка ЛТД"	19,621
17.	Локомотивне депо Львів-Захід філії "Львівська залізниця"	18,299
18.	Товариство з обмеженою відповідальністю "Факро Львів"	17,217
19.	Національний університет "Львівська політехніка"	17,139
20.	Приватне підприємство "Львівська виробничо-торгівельна меблева фірма 'Карпати'"	16,754

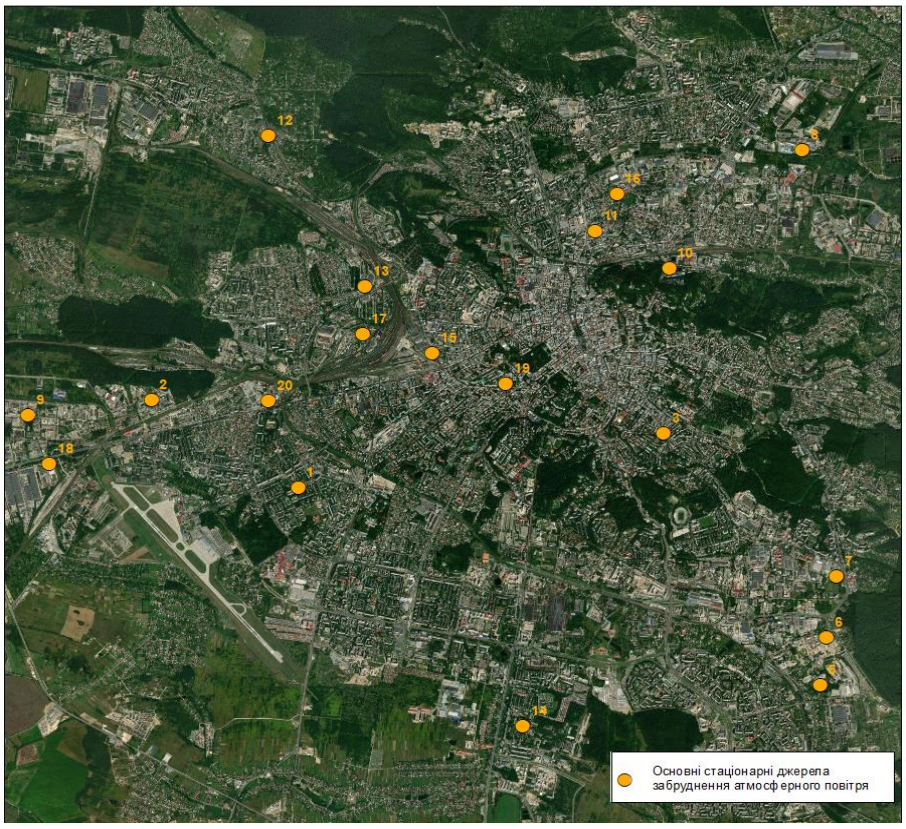


Рисунок 7. Картосхема розміщення джерел викидів: 1 – ЛКП "Залізничнетеплоенерго"; 2 – Львівське міське КП "Львівтеплоенерго; 3 – Львівське міське КП "Львівводоканал"; 4 – Іноземне підприємство "Західна індустріальна компанія"; 5 – ТзОВ "Львівська ізоляторна компанія"; 6 – Приватне Акціонерне товариство "Галнафтохім";7 – ТзОВ Торгово-виробнича компанія "Перша приватна броварня "Для людей-як для себе!"; 8 – ТзОВ "Картонно-паперова компанія"; 9 – Товариство з додатковою відповідальністю "Гал-Кат"; 10 – Акціонерне товариство "Галичфарм";

11 – Акціонерне товариство "Львівська кондитерська фабрика "Світоч"; 12 – ТзОВ - фірма "Язьм"; 13 – Приватне акціонерне товариство "Львівський холодокомбінат"; 14 – ДП "Львівський бронетанковий завод"; 15 – Приватне акціонерне товариство "Львівський локомотиворемонтний завод"; 16 – Українсько-англійське спільне підприємство у формі товариства з обмеженою відповідальністю "Галка ЛТД"; 17 –Локомотивне депо Львів-захід філії "Львівська залізниця"; 18 – ТзОВ "Факро Львів"; 19 – Національний університет "Львівська Політехніка"; 20 – ПП "Львівська виробничо-торгівельна меблева фірма "Карпати" [615].

Динаміка змін забруднення атмосферного повітря у місті Львові зафіксована у таблиці 5 Упродовж 2017-2021 років спостерігалося зменшення загального обсягу викидів забруднювальних речовин у 1,85 раза, що становить скорочення на 1,84022 тис. тонн.

Особливо істотне скорочення спостерігалося щодо викидів діоксиду сірки: з 0,021055 тис. тонн у 2017 році до 0,006885 тис. тонн у 2021 році. Також знизилися обсяги викидів оксидів азоту, інших сірчаних сполук, сірчаної кислоти, неметанових летких органічних сполук, формальдегіду.

Водночас зафіксовано зростання викидів низки інших речовин: діоксиду та оксиду азоту, оксиду вуглецю, металів і їхніх сполук, а також аерозольних частинок різного діаметру – $PM_{2,5}$ та PM_{10}. Збільшилися викиди бензолу, хлору та його сполук (у перерахунку на хлор), хлористого водню (HCl), фтору і його сполук (у перерахунку на фтор), а також фтороводню.

Окремо варто відзначити зростання обсягів викидів вуглекислого газу: з 473,5446 тис. тонн у 2017 році до 541,6672 тис. тонн у 2021 році, що становить приріст на 88,1226 тис. тонн.

Таблиця 5

Обсяги викидів забруднювальних речовин від стаціонарних джерел м. Львова за період 2017-2021 рр. [616]

		2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік
1	Загальний обсяг викидів забруднювальних речовин, тис.т	3,995646	2,019718	2,269540	2,791632	2,155426
2	Викиди забруднювальних речовин від стаціонарних джерел (тис.т) всього, у тому числі:	3,995646	2,019718	2,269540	2,791632	2,155426
	діоксид сірки	0,021055	0,022641	0,024527	0,010492	0,006885
	діоксид азоту та оксиди азоту	0,66426	0,621352	0,618661	0,873413	0,673539
	оксид вуглецю	0,885079	0,672966	0,983917	1,01226	1,017769
	метали та їх сполуки	0,003809	0,003616	0,01218	0,007904	0,007978
	з них:					
	миш'як	-	-	-	-	-
	кадмій та його сполуки (у перерахунку на кадмій)	-	0,000166	0,000114	0,000017	0,001207
	свинець та його сполуки (у перерахунку на свинець)	0,000001	-	0,000003	0,000084	0,00008

[615] Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

[616] У Ухвала Львівської міської ради № 4527 від 28.03.2024 року «Про затвердження Програми державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря агломерації міста Львова (Львівська міська територіальна громада). Інформаційний портал депутатів Львівської міської ради : веб-сайт. URL: *https://www.lvivrada.gov.ua/informacia/programy-rozvytku-mista/item/4776-programa-ekonomichnogo-rozvytku-ta-pidvyshtennya-konkurentospromozhnosti-mista-lyvova*.

Продовження таблиці 5

		2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік
	ртуть та її сполуки ((у перерахунку на ртуть)	0,000001	-	-	0,000016	0,000016
	нікель та його сполуки (у перерахунку на нікель)	0,000003	-	-	0,000064	0,000064
	мідь та її сполуки (у перерахунку на мідь)	0,000012	0,000011	0,006387	0,004493	0,004881
	залізо та його сполуки (у перерахунку на залізо)	0,001632	0,00187	0,002102	0,001325	0,001101
	хром та його сполуки (у перерахунку на триоксид хрому)	0,000064	0,000062	0,000063	0,000144	0,000165
	манган та його сполуки (у перерахунку на діоксид мангану)	0,001929	0,001481	0,002909	0,001494	0,000199
	алюмінію оксид	0,000005	0,000005	0,000011	0,000005	0,000012
	арсен та його сполуки (у перерахунку на арсен)	0,000004	0,000011	0,000004	0,000069	0,00006
	цинк та його сполуки (у перерахунку на цинк)	0,000007	0,000009	0,00001	0,000027	0,000028
	селен та його сполуки (у перерахунку на селен)	-		-	0,000053	0,000053
	речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна)	0,128091	0,11579	0,179372	0,117261	0,102619
	речовини у вигляді суспендованих твердих частинок більше 2,5 мкм та менше 10мкм	0,01933	0,026955	0,032102	0,034747	0,038035
	речовини у вигляді суспендованих твердих частинок менше 2,5мкм	0,024461	0,020636	0,021457	0,05088	0,048372
	сажа	0,01114	0,009983	0,007288	0,009991	0,002739
	сполуки азоту	2,385197	0,69286	0,671112	0,905651	0,70544
	аміак	0,023776	0,040511	0,023483	0,023142	0,022775
	азотна кислота	0,002417	0,000267	0,000299	0,000239	0,000233
	діоксид та інші сполуки сірки	0,023208	0,024756	0,026556	0,012241	0,008568
	сірководень (H_2S)	0,001536	0,001541	0,001488	0,001484	0,001454
	сульфатна кислота (H_2SO_4) [сірчана кислота]	0,000379	0,000328	0,000337	0,000063	0,000059
	озон	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004	0,000004
	неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)	0,33395	0,207835	0,171605	0,11689	0,093064
	акрилонітрил	-	-	-	0,000028	-
	ангідрид малеїновий	0,000002	0,00032	0,00032	0,00022	0,00032
	акролеїн	0,000018	0,000021	0,000011	0,000017	0,000013
	альдегід масляний	-	0,000003	0,000003	0,000003	0,000001
	ацетальдегід	0,000916	0,000633	0,000391	0,000289	0,000039
	ацетон	0,007653	0,002355	0,002512	0,000667	0,000914
	бензол	0,000024	0,000033	0,00008	0,000055	0,000066
	бутиловий ефір оцтової кислоти (бутилацетат)	0,000983	0,002049	0,002355	0,001817	0,001961
	1,3-Бутадієн (дивініл)	0,000003	0,000002	0,000002	0,000003	0,000004
	вінілацетат	0,000188	0,000268	0,000271	0,000184	0,00019
	діетиловий ефір	-	0,000013	0,00001	0,000001	0,000001
	етилбензол	0,000002	0,000211	0,00076	0,000708	0,000724
	етилцелозольв	0,003049	0,003704	0,005206	0,002372	0,002067
	етилацетат	0,003251	0,004187	0,00285	0,000542	0,000279

Продовження таблиці 5

		2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік
	кислота акрилова	0,00011	0,000083	-	-	-
	кислота мурашина	0,000045	0,000042	-	-	-
	кислота оцтова	0,00469	0,004634	0,004228	0,001937	0,00133
	ксилол	0,008243	0,008485	0,009476	0,00718	0,00614
	метилізобутилкетон	0,000016	0,000018	0,000017	0,000001	0,000001
	метилетилкетон	0,000056	0,000056	0,000086	0,000175	0,000175
	спирт метиловий	0,000817	0,000808	0,000825	0,000017	0,001498
	стирол	-	-	0,000001	0,000001	0,000001
	трикрезол	-	0,003236	0,003236	-	-
	толуол	0,006161	0,007064	0,006566	0,001932	0,001662
	трихлоретилен	0,002155	0,002427	0,002418	0,002924	0,004291
	трихлорметан (хлороформ)	0,008287	0,006676	0,003963	0,00253	0,001593
	тетрахлоретилен (перхлоретилен)	-	-	0,000021	0,000139	0,000001
	фенол	0,000011	0,00001	0,000015	0,000007	0,000002
	формальдегід	0,001338	0,001108	0,000841	0,00085	0,000886
	фурфурол	0,000824	0,000229	0,000234	0,00013	0,000109
	1-Хлор-2,3-епіксипропан (епіхлоргідрин)	0,000008	0,000009	0,000018	0,000016	0,000017
	циклогексанон	0,016932	0,01275	0,010851	0,00066	0,00047
	метан	0,235938	0,301523	0,224441	0,618027	0,219161
	стійкі органічні забруднювачі (СОЗ)	-	0,000014	0,000001	0,000114	0,000001
	хлоровані парафіни з коротким ланцюгом	-	-	-	-	-
	поліароматичні вуглеводні (ПАВ)	-	0,000014	0,000001	0,000001	0,000001
	хлор та сполуки хлору (у перерахунку на хлор)	0,000137	0,00013	0,000153	0,000791	0,000487
	водню хлорид (соляна кислота по молекулі на HCl)	0,000091	0,000116	0,000137	0,000782	0,000486
	фтор та його сполуки (у перерахунку на фтор)	0,000222	0,000213	0,000188	0,000489	0,000335
	фтористий водень	0,000084	0,000099	0,000078	0,000453	0,000246
	ціаніди	0,000011	0,000011	0,000011	-	-
	водню ціанід (синильна кислота)	0,000011	0,000011	0,000011	-	-
	діоксид вуглецю	473,5446	477,7553	492,8664	500,3216	541,6672

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВУЛИЦЬ ТА ПЕРЕХРЕСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ М. ЛЬВОВА

Атмосферне повітря є одним із ключових компонентів навколишнього природного середовища, що має життєво важливе значення для функціонування екосистем і здоров'я людини. У зв'язку з цим особливого значення набуває необхідність постійного спостереження за його якістю та своєчасного реагування на потенційні загрози. Систематичний моніторинг стану атмосферного повітря та оперативне виявлення зростання концентрації забруднюючих речовин є критично важливими для забезпечення екологічної безпеки та охорони здоров'я населення.

Атмосфера слугує не лише середовищем для постійного надходження аерозольних та газоподібних забруднювачів, але й середовищем їх транспортування, трансформації та розсіювання. Хімічні сполуки, що надходять до атмосфери в результаті антропогенних викидів, можуть зазнавати складних хімічних перетворень, унаслідок яких утворюються

нові речовини, часто з іншим рівнем токсичності або екологічного ризику, ніж первинні компоненти. Очищення атмосфери від забруднювальних речовин здійснюється через низку фізико-хімічних процесів, серед яких основними є гравітаційне осідання часток і вологе видалення (змивання опадами) [617].

Відповідно до Закону України «Про охорону атмосферного повітря», моніторинг у сфері охорони атмосферного повітря здійснюється з метою збору, оброблення, збереження та аналізу даних щодо викидів забруднюючих речовин, рівнів забруднення повітря, а також для оцінки та прогнозування змін його якості, визначення ступеня екологічної небезпеки та формування науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень у відповідній галузі.

Такий моніторинг є невід'ємною частиною загальнодержавної системи спостереження за станом навколишнього природного середовища. Організаційні засади його проведення, включаючи впровадження обов'язкових автоматизованих систем контролю за викидами та оцінку якості атмосферного повітря, визначаються нормативно-правовими актами, затвердженими Кабінетом Міністрів України.

4.1. Моніторинг атмосферного повітря в межах м. Львова

Моніторинг якості атмосферного повітря відіграє ключову роль у визначенні рівнів забруднення, їхнього впливу на здоров'я людини, стан довкілля та глобальні кліматичні процеси. З метою отримання репрезентативних даних про концентрацію основних забруднювальних речовин у повітрі по всьому світу створено мережі моніторингу, які охоплюють міські, промислові та сільські території. Спостережні пункти розміщуються стратегічно для фіксації просторово-часової варіативності якості повітря та забезпечуються високоточним аналітичним обладнанням і методиками, що відповідають міжнародним стандартам [618][27].

У межах Львівської агломерації до суб'єктів, відповідальних за здійснення моніторингу атмосферного повітря, належать:

1. Львівський регіональний центр з гідрометеорології Державної служби України з надзвичайних ситуацій при Міністерстві внутрішніх справ України;
2. Комунальне підприємство "Адміністративно-технічне управління" департаменту містобудування Львівської міської ради;
3. ЛКП «Зелене місто», що підпорядковується департаменту економічного розвитку Львівської міської ради [28].

Розташування пунктів спостереження за якістю атмосферного повітря в межах агломерації представлено на картосхемі (рис. 8).

[617] Пост для моніторингу якості повітря на вул. Пластова, 13. ЛКП Зелене місто. 2020. URL: *https://city-adm.lviv.ua/news/science-and-health/ecology/282619-post-dlia-monitorynhu-iakosti-povitria-vstanovyly-v-raioni-vul-plastova-13*
[618] ЛКП Зелене місто. URL: *https://zelenemisto.info/*.



Рисунок 8. Картосхема розміщення пунктів спостереження за станом атмосферного повітря. Стаціонарні пости: 1 – м. Львів, вул. Ген. Юнаківа, 10; 2 – м. Львів, вул. Городоцька, 221; 3 – м. Львів, пл. Соборна, 11; 4 – м. Львів, вул. Зелена, 301; 5 – м. Львів, вул. Пластовій, 13. Індикативні пости на перехрестях вулиць: 6 – пр. Чорновола – вул. Городоцька – пр. Свободи біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№2 по вул. Городоцька); 7 – вул. Шпитальна – вул. Данилишина (біля пішохідного переходу, зі сторони буд. №7 по вул. Данилишина); 8 – вул. Гавришкевича – вул. Краківська (біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№2 вул. Гавришкевича); 9 – вул. Січових Стрільців – вул. Гнатюка (біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№2 по вул. Січових Стрільців); 10 – вул. Дорошенка – вул. Словацького (біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№36 по вул. Дорошенка); 11 – пл. Митна (зі сторони буд.№8 по вул. Винниченка); 12 – вул. І.Франка – вул. К. Левицького – вул. Кн. Романа (біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№2 вул. Левицького); 13 – вул. Зелена – вул. Конопницької – вул. Петрушевича (біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№17 вул. Зелена); 14 – вул. Сахарова – вул. Вітовського – вул. Левицького – вул. Коперника (біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№2 по вул. Сахарова); 15 – вул. Стрийська – вул. Руставелі – вул. І.Франка – вул. Зарицьких (біля пішохідного переходу, зі сторони буд.№79 по вул. І.Франка)

4.2. Якість атмосферного повітря м. Львова

Динаміка зміни якості атмосферного повітря м. Львова за основними показниками представлена на рис. 8-10.

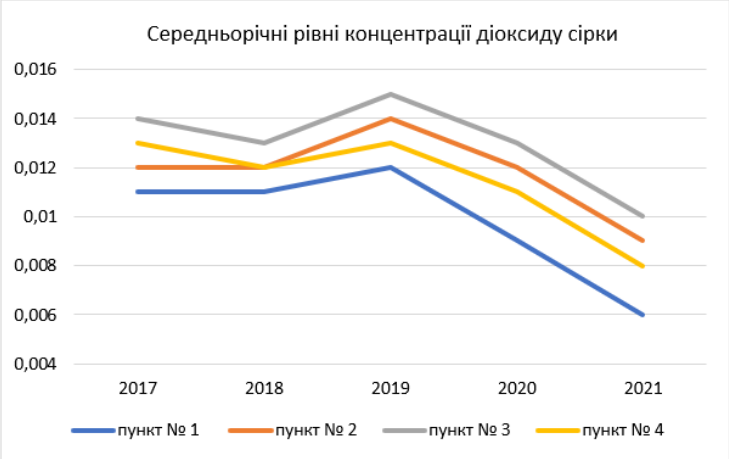


Рисунок 8. Середньорічні концентрації діоксиду сірки, мг/м^3 (1 – м. Львів, вул. Ген. Юнаківа, 10; 2 – м. Львів, вул. Городоцька, 221; 3 – м. Львів, пл. Соборна, 11; 4 – м. Львів, вул. Зелена, 301)

Упродовж 2017–2021 років найвищі середньорічні концентрації діоксиду сірки (SO_2) у Львові фіксувалися в центральній частині міста, зокрема на пункті спостереження за адресою: пл. Соборна, 11, де максимальне значення становило 0,015 мг/м³. Проте цей показник залишався нижчим за встановлену гранично допустиму концентрацію (ГДК) — 0,05 мг/м³. Найнижчі концентрації SO_2 виявлено на посту за адресою вул. Ген. Юнаківа, 10.

У 2021 році спостерігалося помітне зниження рівня діоксиду сірки в атмосферному повітрі на всіх контрольованих пунктах спостереження, що може свідчити про позитивну динаміку в аспекті зменшення викидів або покращення умов розсіювання.

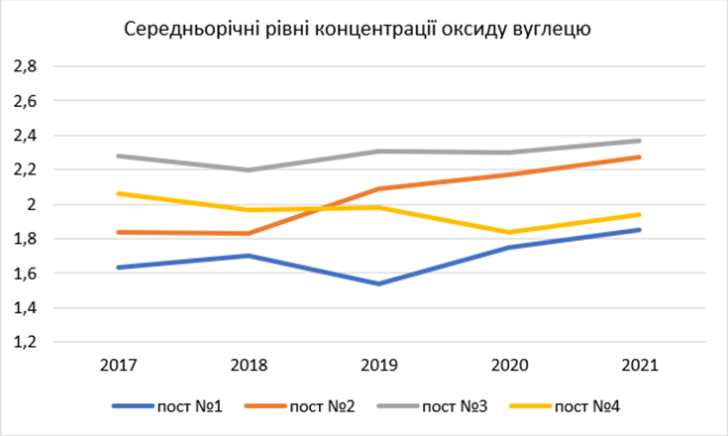


Рисунок 9. Середньорічні концентрації оксиду вуглецю, мг/м^3 (1 – м. Львів, вул. Ген. Юнаківа, 10; 2 – м. Львів, вул. Городоцька, 221; 3 – м. Львів, пл. Соборна, 11; 4 – м. Львів, вул. Зелена, 301)

У період 2017–2021 років найвищі середньорічні концентрації оксиду вуглецю (CO) у місті Львові зафіксовано в центральній частині міста — на посту моніторингу за адресою пл. Соборна,

11. Максимальне значення становило 2,37 мг/м³, що, втім, не перевищувало гранично допустимої концентрації (ГДК), встановленої на рівні 3,0 мг/м³. Найнижчий рівень CO було виявлено на вул. Ген. Юнаківа, 10.

У 2021 році відзначено суттєве зростання концентрацій оксиду вуглецю на всіх контрольованих пунктах спостереження, що може свідчити про збільшення транспортного навантаження або інші антропогенні впливи.

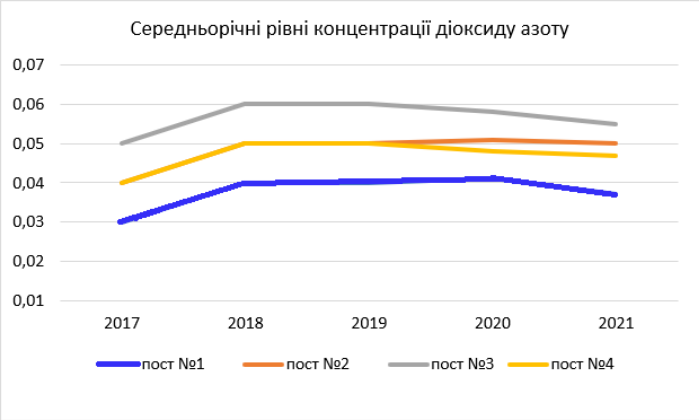


Рисунок 10. Середньорічні концентрації діоксиду азоту, мг/м^3 (1 – м. Львів, вул. Ген. Юнаківа, 10; 2 – м. Львів, вул. Городоцька, 221; 3 – м. Львів, пл. Соборна, 11; 4 – м. Львів, вул. Зелена, 301)

Упродовж 2017–2021 років найвищі середньорічні концентрації діоксиду азоту (NO_2) у місті Львові фіксувалися в центральній частині, зокрема на пункті моніторингу за адресою: пл. Соборна, 11. Тут середнє значення досягало 0,06 мг/м^3, що перевищує гранично допустиму концентрацію, встановлену на рівні 0,04 мг/м^3. Найнижчі концентрації цього забруднювача були зареєстровані на посту спостереження на вул. Ген. Юнаківа, 10.

4.3. Динаміка зміни якості атмосферного повітря вулиць та перехресть центральної частини м. Львова

Інформація щодо концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за 2016 та 2023 роки отримана в результаті моніторингових спостережень за якістю повітря. Проте з огляду на повномасштабну агресію російської федерації проти України та пов'язані з нею масовані атаки на енергетичну інфраструктуру країни, зокрема об'єкти електропостачання, у 2022–2024 роках спостерігалися перебої в роботі автоматизованих станцій моніторингу. Це унеможливило їхню безперервну роботу, що могло призвести до спотворення або втрати частини даних. У зв'язку з цим результати моніторингу за зазначений період слід розглядати з урахуванням можливої статистичної похибки та зниження достовірності.

Для здійснення порівняльної оцінки рівня забруднення атмосферного повітря використовується система нормування за гранично допустимими концентраціями (ГДК). ГДК визначає максимальні допустимі рівні вмісту хімічних речовин і сполук у навколишньому середовищі, які не створюють загрози для здоров'я людей, флори, фауни та довкілля загалом. Ці нормативи мають законодавчий статус і ґрунтуються на результатах токсикологічних та екологічних досліджень, що встановлюють безпечні концентрації з урахуванням чутливості живих організмів до впливу окремих хімічних речовин [619]

[619] ЛКП Зелене місто. URL: *https://zelenemisto.info/*.

В Україні система гранично допустимих концентрацій (ГДК) виконує ключову функцію в процесах моніторингу та регулювання рівнів забруднення атмосферного повітря, водних об'єктів та ґрунтів. Визначення чітких нормативних меж дозволяє здійснювати контроль за станом довкілля та забезпечувати своєчасне впровадження необхідних заходів для його поліпшення. Важливою умовою ефективності цієї системи є її регулярне оновлення на основі новітніх наукових досліджень і змін у структурі промислової діяльності, що забезпечує адаптивність та актуальність екологічного регулювання.

Моніторинг основних атмосферних забруднювачів, зокрема оксиду вуглецю (CO), оксидів азоту (NO, NO_2) та діоксиду сірки (SO_2), здійснювався на стаціонарних пунктах спостереження, що входять до регіональної системи контролю якості атмосферного повітря.[620].

Згадані перехрестя можна побачити позначеними на рис. 11, що дасть краще уявлення про місцезнаходження об'єктів, на яких проводився аналіз стану якості повітряного простору центральної частини м. Львова.

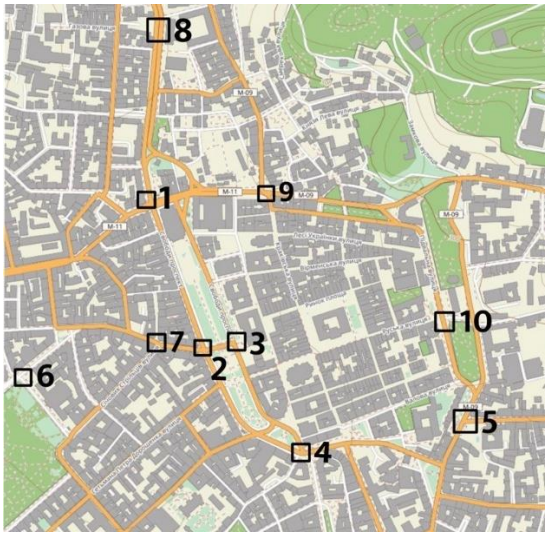


Рисунок 11. Центральна частина м. Львова з перехрестями, на яких відбувався моніторинг концентрації забруднюючих речовин в повітрі. Місцезнаходження перехресть: 1- перехрестя пр. Чорновола та вул. Городоцької; 2 – перехрестя пр. Свободи та вул. Дорошенка; 3 – перехрестя пр. Свободи та вул. Беринди; 4 – пр. Свободи – пл. Міцкевича; 5 – вул. Личаківська – вул. Винниченка – пл. Митна; 6 – вул. Листопадового Чину – вул. Університетська; 7 – вул. Січових Стрільців – вул. Гнатюка; 8 – пр. Чорновола – вул. Під. Дубом; 9 – пл. Осмомисла – вул. Гавришкевича – вул. Краківська; 10 - вул. Підвальна – вул. Руська [621]

4.3.1. Оксид вуглецю (CO)

Оксид вуглецю є безбарвним і без запаху токсичним газом, що утворюється внаслідок неповного згоряння вуглецевих видів палива, таких як бензин, природний газ, вугілля або деревина. Основними джерелами викидів CO є автомобільний транспорт, технологічні процеси в промисловості та системи опалення житлового фонду.

[620] Пост для моніторингу якості повітря на вул. Пластова, 13. ЛКП Зелене місто. 2020. URL: *https://city-adm.lviv.ua/news/science-and-health/ecology/282619-post-dlia-monitorynhu-iakosti-povitria-vstanovyly-v-raioni-vul-plastova-13*

[621] Пост для моніторингу якості повітря на вул. Пластова, 13. ЛКП Зелене місто. 2020. URL: *https://city-adm.lviv.ua/news/science-and-health/ecology/282619-post-dlia-monitorynhu-iakosti-povitria-vstanovyly-v-raioni-vul-plastova-13*

CO належить до категорії респіраторних отрут, оскільки при потраплянні в організм блокує здатність гемоглобіну зв'язувати кисень, що може спричиняти гіпоксію. При високих концентраціях отруєння чадним газом проявляється головним болем, запамороченням, нудотою, а в тяжких випадках — може призвести до летальних наслідків. Джерелом CO також можуть бути побутові прилади (грилі), тютюнопаління, а також приміщення для зберігання деревних пелет, що потенційно створюють умови для гострого або хронічного отруєння [622].

Оксид вуглецю класифікується як небезпечна забруднювальна речовина повітря, а його викиди регулюються національним законодавством та міжнародними нормативами. Гранично допустима концентрація (ГДК) CO в атмосферному повітрі становить 5 мг/м³.

У межах дослідження якості повітря в центральній частині Львова, концентрації CO фіксуються на транспортних перехрестях. Вимірювання проводилися щоквартально у 2020-2023 роках, а отримані результати подані у таблиці 6.

Таблиця 6

Результати вимірювання вмісту CO у атмосферному повітрі центральної частини м. Львова

№	Місцезнаходження об'єкта	Назва забруднюючої речовини	М.р.ГДК мг/м^3	2020 рік				2023 рік			
				I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
1	Пр. Чорновола-вул. Городоцька	вуглецю оксид	5.0	6.75	4.08	5.27	5.75	5.49	6.02	5.15	5.31
2	Пр. Свободи-вул. Дорошенка	Вуглецю оксид	5.0	4.98	3.45	4.98	5.4	-	-	-	-
3	Пр. Свободи - вул. П. Беринди	Вуглецю оксид	5.0	6.24	2.11	4.73	8.0	-	-	-	-
4	Пр. Свободи - пл. Міцкевича	Вуглецю оксид	5.0	10.10	2.83	5.09	4.6	-	-	-	-
5	Вул. Личаківська - вул. Винниченка - пл. Митна	Вуглецю оксид	5.0	8.25	3.65	5.12	8.16	-	-	-	-
6	Вул. Листопадового Чину - вул. Університетська	Вуглецю оксид	5.0	7.38	2.71	6.32	7.7	-	-	-	-
7	Вул. Січових Стрільців - вул.Гнатюка	Вуглецю оксид	5.0	6.65	4.50	5.86	4.89	6.33	5.33	4.67	5.70
8	Пр. Чорновола - вул. Під Дубом	Вуглецю оксид	5.0	7.75	4.69	6.46	6.83	6.33	5.33	4.67	5.70
9	Пл. Осмомисла - вул. Гавришкевича-вул. Краківська	Вуглецю оксид	5.0	7.96	5.28	6.83	5.81	4.12	4.65	4.21	4.52
10	Вул. Підвальна - вул. Руська	Вуглецю оксид	5.0	5.05	3.81	4.81	4.52	-	-	-	-

[622] Bosch S. Unerwartete Kohlenmonoxid-Gefahren. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2016. P. 114-117.

У цілому, на багатьох транспортних перехрестях центральної частини Львова рівні концентрації оксиду вуглецю протягом досліджуваного періоду (2016-2023 рр.) регулярно перевищували ГДК, встановлену на рівні 5,0 мг/м^3. Винятки становлять другий квартал 2020 року та частково третій квартал 2023 року, коли зафіксовано значення нижчі за норматив. Така тенденція свідчить про наявність суттєвої проблеми забруднення повітря СО саме в зоні транспортного навантаження.

З огляду на те, що СО утворюється внаслідок неповного згоряння пального в автомобільних двигунах та системах опалення на вугіллі, а також має виражений негативний вплив на якість атмосферного повітря та здоров'я населення, актуальним є впровадження невідкладних заходів для скорочення його викидів. Йдеться, зокрема, про обмеження транспортного трафіку, модернізацію опалювальних систем і посилення контролю за дотриманням екологічних стандартів.

Дані, надані Управлінням екології та природних ресурсів, включають результати моніторингу концентрацій СО у повітрі. На рис. 12 представлено графічну інтерпретацію просторово-часового розподілу викидів оксиду вуглецю на ключових транспортних перехрестях Львова за період 2016-2023 років. ГДК для оксиду вуглецю встановлено на рівні 5 мг/м^3.

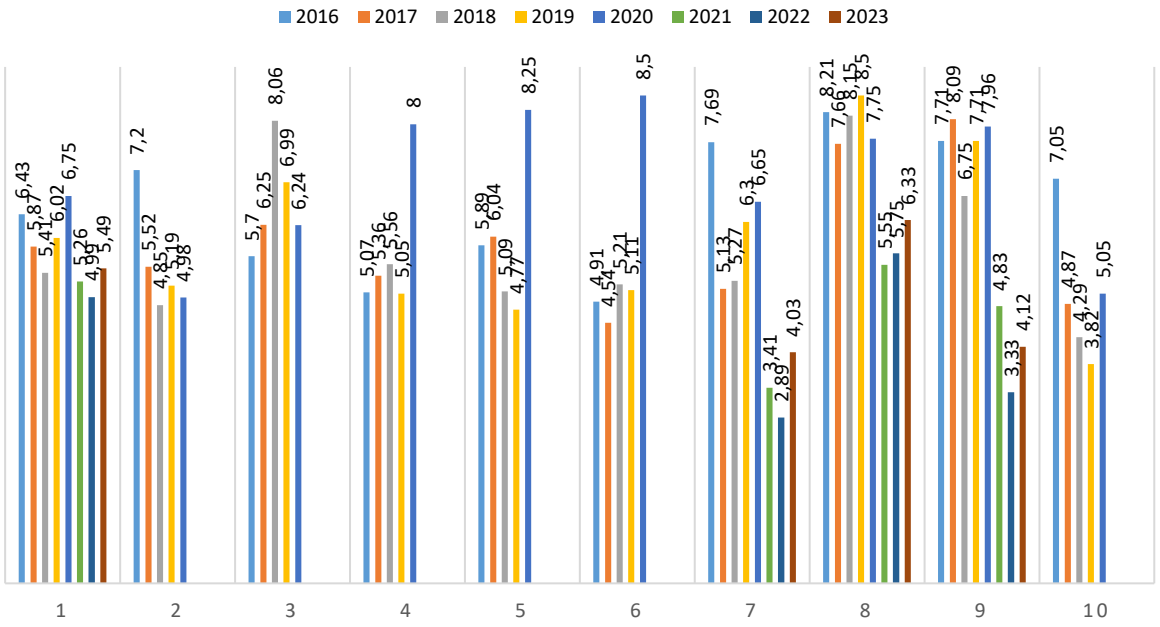


Рисунок 12. Динаміка викиду оксиду вуглецю у центральній частині м. Львова, 2016-2023 роки, мг/м^3: 1- перехрестя пр. Чорновола та вул. Городоцької; 2 – перехрестя пр. Свободи та вул. Дорошенка; 3 – перехрестя пр. Свободи та вул. Беринди; 4 – пр. Свободи – пл. Міцкевича; 5 – вул. Личаківська – вул. Винниченка – пл. Митна; 6 – вул. Листопадового Чину – вул. Університетська; 7 – вул. Січових Стрільців – вул. Гнатюка; 8 – пр. Чорновола – вул. Під. Дубом; 9 – пл. Осмомисла – вул. Гавришкевича – вул. Краківська; 10 - вул. Підвальна – вул. Руська.

Аналіз графічних даних свідчить, що концентрації СО на ряді транспортних перехресть у центральній частині Львова неодноразово перевищували встановлену ГДК, подекуди досягаючи критичних значень – до 10 мг/м^3. Один із таких пікових показників був зафіксований у 2020 році на перехресті проспекту Свободи та площі Міцкевича, де рівень СО суттєво перевищив нормативний ліміт.

Водночас, починаючи з 2020 року, відзначається позитивна динаміка щодо зменшення кількості випадків перевищення ГДК. Це може свідчити про поступове покращення якості атмосферного повітря у центральних районах міста. Така тенденція є обнадійливою в контексті зусиль, спрямованих на зниження впливу автотранспорту на довкілля.

Попри позитивну динаміку останніх років, систематичні перевищення гранично допустимих концентрацій CO продовжують свідчити про серйозність проблеми, пов'язаної з цим типом забруднення. Для збереження та посилення наявних поліпшень необхідне продовження безперервного моніторингу, а також впровадження ефективних заходів з контролю та зменшення викидів. До таких заходів належать: розвиток сталої мобільності, підвищення рівня екологічної обізнаності громадськості, посилення регуляторного нагляду за джерелами викидів.

Хронічний вплив підвищених концентрацій CO становить значну загрозу для здоров'я людини, зокрема може спричинити порушення функціонування дихальної системи та серцево-судинні захворювання.

Органи державної влади, місцевого самоврядування та інші зацікавлені сторони мають визначити зниження викидів CO як пріоритетну задачу. До ключових напрямів слід віднести підтримку відновлюваних джерел енергії, модернізацію промислових процесів, впровадження екологічно чистого транспорту. Регулярний контроль за дотриманням екологічних нормативів та забезпечення прозорості екологічного моніторингу мають вирішальне значення для ефективного реагування на цю екологічну загрозу.

4.3.2. Оксид азоту (NO)

Оксид азоту (NO) є простою газоподібною молекулою, що складається з одного атома азоту та одного атома кисню, з'єднаних подвійним зв'язком і має неспарений електрон. Унаслідок цього NO класифікується як вільний радикал, що надає йому високої хімічної реактивності. При кімнатній температурі це безбарвний газ із характерним різкуватим солодкуватим запахом.

На біологічному рівні оксид азоту виконує низку важливих фізіологічних функцій в організмі людини. Він синтезується окремими типами клітин і виступає як судинорозширювальний агент, сприяючи розслабленню гладкої мускулатури судин, що, у свою чергу, регулює артеріальний тиск і покращує системний кровотік.

З екологічної точки зору, оксид азоту належить до основних атмосферних забруднювачів. Його утворення переважно відбувається внаслідок процесів згоряння — зокрема, в двигунах внутрішнього згоряння, на електростанціях і на промислових підприємствах. NO відіграє ключову роль у формуванні вторинних забруднювачів — таких як фотохімічний смог, приземний озон і кислотні дощі, що справляють шкідливий вплив на здоров'я людини, стан повітряного середовища, рослинність та екосистеми загалом [623].

NO разом з іншими оксидами азоту (NO_x) класифікується як атмосферний забруднювач, що підлягає нормативному регулюванню через його негативний вплив на довкілля та здоров'я населення. Згідно з чинними нормативами, ГДК оксиду азоту встановлена на рівні 0,4 мг/м^3.

У межах екологічного моніторингу, проведеного на перехрестях центральної частини міста Львова, було здійснено аналіз рівнів викидів оксиду азоту за 2020 та 2023 роки. Вимірювання дали змогу оцінити просторово-часову динаміку цього показника у транспортно навантажених зонах. Відповідні дані, а також перелік перехресть, на яких проводилися спостереження, представлені в таблиці 7.

[623] Bosch S. Unerwartete Kohlenmonoxid-Gefahren. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2016. P. 114-117.

Таблиця 7

Результати вимірювань вмісту NO в атмосферному повітрі центральної частини м. Львова

№	Місцезнаходження об'єкта	Назва забруднюючої речовини	М.р. ГДК мг/м^3	2020 рік			2023 рік				
				I квартал	II квартал	III квартал	I квартал	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
1	Пр. Чорновола-вул. Городоцька	Азоту оксид	0.4	0.233	0.149	0.181	0.183	0.247	0.263	0.191	0.221
2	Пр. Свободи-вул. Дорошенка	Азоту оксид	0.4	0.155	0.143	0.170	0.189	-	-	-	-
3	Пр. Свободи - вул. П. Беринди	Азоту оксид	0.4	0.181	0.088	0.161	0.369	-	-	-	-
4	Пр. Свободи - пл. Міцкевича	Азоту оксид	0.4	0.288	0.121	0.178	0.163	-	-	-	-
5	Вул. Личаківська - вул. Винниченка - пл. Митна	Азоту оксид	0.4	0.281	0.140	0.178	0.201	-	-	-	-
6	Вул. Листопадового Чину - вул. Університетська	Азоту оксид	0.4	0.257	0.120	0.219	0.256	-	-	-	-
7	Вул. Січових Стрільців - вул.Гнатюка	Азоту оксид	0.4	0.212	0.169	0.201	0.173	0.144	0.156	0.137	0.154
8	Пр. Чорновола - вул. Під Дубом	Азоту оксид	0.4	0.251	0.165	0.246	0.251	0.287	0.252	0.201	0.261
9	Пл. Осмомисла - вул. Гавришкевича-вул. Краківська	Азоту оксид	0.4	0.256	0.188	0.238	0.211	0.145	0.189	0.149	0.177
10	Вул. Підвальна - вул. Руська	Азоту оксид	0.4	0.170	0.148	0.164	0.166	-	-	-	-

Узагальнений аналіз даних свідчить, що концентрації NO на всіх досліджених транспортних перехрестях центральної частини Львова протягом досліджуваного періоду залишалися нижчими за встановлену ГДК (0,4 мг/м³). Водночас результати деяких кварталів 2023 року демонструють підвищені рівні порівняно з аналогічними кварталами 2020 року, що може свідчити про тенденцію до поступового зростання рівня забруднення.

Інформація, надана Управлінням екології та природних ресурсів, базується на результатах моніторингових спостережень за вмістом NO у повітрі. Візуалізацію просторово-часового розподілу концентрацій оксиду азоту на транспортних вузлах центральної частини Львова у період з 2016 по 2023 роки представлено на рисунку 13.

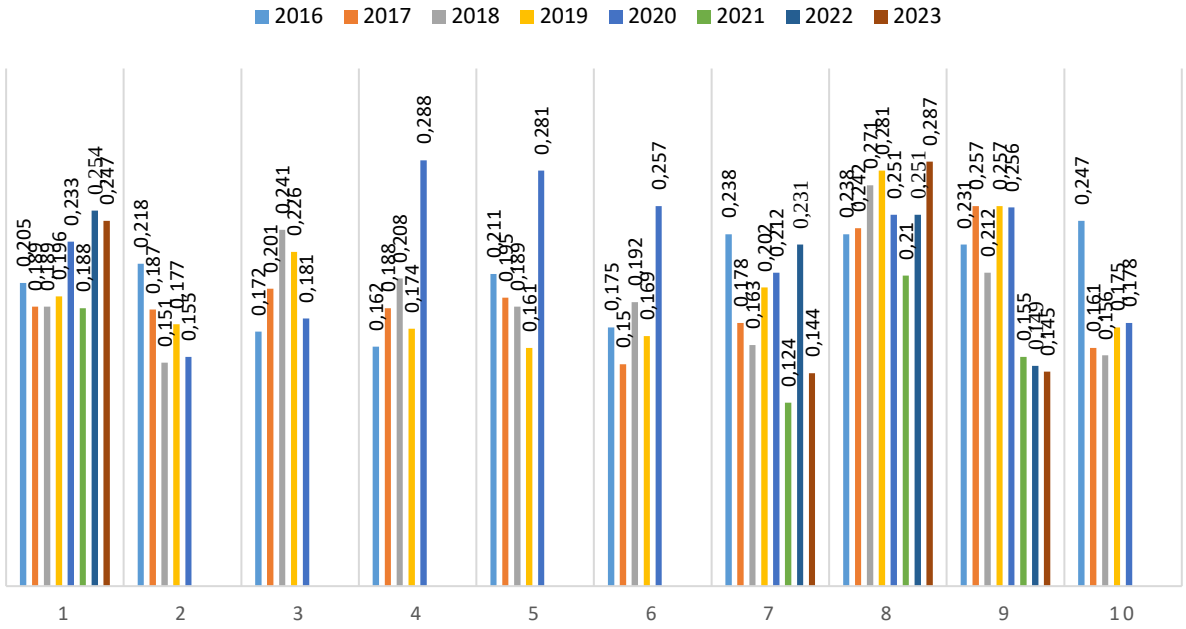


Рисунок 13. Динаміка викиду оксиду азоту у центральній частині м. Львова, 2016-2023 роки, мг/м^3: 1- перехрестя пр. Чорновола та вул. Городоцької; 2 – перехрестя пр. Свободи та вул. Дорошенка; 3 – перехрестя пр. Свободи та вул. Беринди; 4 – пр. Свободи – пл. Міцкевича; 5 – вул. Личаківська – вул. Винниченка – пл. Митна; 6 – вул. Листопадового Чину – вул. Університетська; 7 – вул. Січових Стрільців – вул. Гнатюка; 8 – пр. Чорновола – вул. Під. Дубом; 9 – пл. Осмомисла – вул. Гавришкевича – вул. Краківська; 10 - вул. Підвальна – вул. Руська.

З аналізу даних (рис. 13) випливає, що хоча концентрації NO протягом періоду моніторингу не перевищували ГДК, простежується тенденція до зростання його рівнів. Це викликає занепокоєння, оскільки може свідчити про збільшення впливу джерел емісій – зокрема зростання інтенсивності транспортного потоку у центральній частині міста, підвищення промислової активності або збільшення чисельності населення Львова.

Незважаючи на загальний прогрес у технологіях очищення вихлопних газів, особливо в легкових гібридних і електричних авто, загальний рівень викидів NO в атмосферу залишається високим. Це, ймовірно, пов'язано з технічним станом громадського транспорту. Проведений аналіз складу автопарку свідчить, що значна частина маршрутних автобусів і міських автобусів працює на застарілих дизельних двигунах внутрішнього згоряння, які не відповідають сучасним екологічним стандартам. Візуальні спостереження під час руху таких транспортних засобів підтверджують інтенсивне забруднення – викиди видно неозброєним оком.

Таким чином, старий громадський автопарк є одним із ключових джерел забруднення атмосферного повітря у місті. Відсутність системної модернізації транспорту та використання морально застарілих технологій призводить до підвищеного екологічного навантаження на міське середовище та створює ризики для здоров'я населення.

Для подолання цієї проблеми необхідно розробити й реалізувати комплексну програму оновлення громадського транспорту. Насамперед ідеться про поступовий перехід на екологічно чисті технології. Це дозволить суттєво скоротити обсяги викидів NO та інших забруднювачів.

Слід зауважити, що у 2023 році внаслідок повномасштабної війни та спричинених нею перебоїв в енергопостачанні було зафіксовано відсутність даних на ряді транспортних вузлів

Львова. Це значно ускладнило проведення комплексного просторово-часового аналізу концентрацій NO та обмежило достовірність висновків щодо динаміки забруднення.

Одним із чинників, що посилюють забруднення повітря, є зростання кількості дизельних транспортних засобів. Їхня експлуатація спричиняє викиди оксидів азоту та зважених частинок, наслідки яких мають суперечливий характер для здоров'я населення. Попри те, що результати моніторингу якості повітря у Львові здебільшого не перевищують встановлених гранично допустимих концентрацій, зберігається ризик негативного впливу довготривалого накопичення забруднювачів у міському середовищі.

Ця ситуація загострюється з огляду на структурні особливості країн, що розвиваються, таких як Україна. Зокрема, типові для урбанізованих регіонів тенденції – приріст населення, збільшення загального обсягу автотранспорту, популяризація великогабаритних дизельних автомобілів – ускладнюють підтримання стабільної якості повітря. Аналогічні процеси спостерігалися в низці країн Європи у 1980–1990-х роках, коли активна моторизація міських просторів призвела до значного зростання рівнів атмосферного забруднення [624].

У зв'язку з цим надзвичайно важливим залишається продовження систематичного моніторингу концентрацій оксиду азоту (NO) та впровадження ефективних заходів зі скорочення його викидів. Це є необхідною умовою для утримання рівнів забруднення в межах допустимих норм, адже тривалий вплив навіть помірно підвищених концентрацій може мати серйозні негативні наслідки як для здоров'я населення, так і для екологічного стану довкілля.

Оксид азоту є хімічною сполукою, що поєднує у собі як біологічну функціональність, так і потенційну токсичність. Він відіграє важливу роль у ряді фізіологічних процесів, включаючи судинну регуляцію, однак при надмірному надходженні в атмосферу виступає шкідливим агентом, що сприяє розвитку патологій та деградації екосистем.

Тому розуміння механізмів дії оксиду азоту, джерел його походження, а також як позитивних, так і негативних ефектів є критично важливим для розробки збалансованих стратегій, що дозволяють ефективно використовувати його корисні властивості, мінімізуючи при цьому загрозу для довкілля та здоров'я людей [625].

4.3.3. Діоксид азоту (NO_2)

Діоксид азоту (NO_2) належить до групи високореактивних сполук, відомих як оксиди азоту (NO_x). До цієї групи також входять, зокрема, NO та інші похідні, включно з азотною кислотою. У практиці екологічного моніторингу саме NO_2 часто використовується як індикатор загального рівня забруднення оксидами азоту.

З хімічної точки зору, діоксид азоту є сильним окисником, який активно взаємодіє з неметалами. У присутності води він вступає в реакцію з утворенням азотної кислоти, тоді як у лужному середовищі формує нітрати та нітрити. Завдяки високій щільності NO_2 є важчим за повітря, тому при охолодженні може осідати в нижні шари атмосфери, навіть якщо був викинутий на значній висоті (наприклад, з димових труб промислових підприємств).

Основним джерелом надходження діоксиду азоту в атмосферу є процеси спалювання палива. Найбільший внесок забезпечують автомобільний і вантажний транспорт, автобуси, а також викиди від електростанцій і промислових об'єктів.

[624] Petersen R. M. Stickoxid-Probleme: Kollateralschäden der Klimapolitik? *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*. 2017. 26(3). 225.
[625] Bosch S. Unerwartete Kohlenmonoxid-Gefahren. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2016. P. 114-117.

NO_2 чинить шкідливий вплив на біоту та довкілля. Зокрема, для рослин характерним є пожовтіння листя й хвої, спричинене окисленням хлорофілу, руйнуванням клітинних мембран і розвитком некрозів. Це супроводжується втратою забарвлення, в'яненням квіток, припиненням росту, зниженням життєздатності та репродуктивної здатності рослин [626] [627].

NO_2 є газом із вираженими токсичними властивостями, який чинить подразнювальну дію на слизові оболонки дихальних шляхів та органи зору. Як один із ключових прекурсорів озону та дрібнодисперсних твердих частинок ($PM_{2,5}$), NO_2 посідає важливе місце у сфері сучасної екологічної медицини. Встановлено, що тривалий вплив підвищених концентрацій цього забруднювача може призводити до серйозних хронічних порушень здоров'я.

В атмосфері діоксид азоту вступає в окиснювальні реакції з утворенням нітритів і нітратів, які взаємодіють із водяною парою та в результаті випадають у вигляді кислотних дощів. Такі атмосферні опади пошкоджують кутикулу листя, послаблюють захисні механізми рослин, роблячи їх більш вразливими до фітопатогенів і шкідників. Паралельно з цим підвищується кислотність ґрунту, що негативно впливає на мікробіологічну активність, зокрема на життєдіяльність азотфіксувальних бактерій і мікоризних грибів. Це, у свою чергу, сприяє вивільненню й міграції токсичних важких металів, таких як алюміній, свинець та ртуть.

Крім того, NO_2 відіграє важливу роль у фотохімічних процесах, що призводять до утворення тропосферного озону – вторинного забруднювача, який завдає шкоди рослинам. Ураження проявляються у вигляді некрозів, хлорозів, пригнічення росту, зниження генеративної активності, передчасного опадання листя й, у крайніх випадках, загибелі рослин.

Для оцінки рівнів NO_2 в атмосфері встановлено граничне значення 0,2 мг/м^3. Моніторинг дозволив провести аналіз викидів NO_2 , порівнюючи дані за 2020 та 2023 роки. Дані про викиди, а також назви перехресть, на яких проводився моніторинг, зареєстровані на кожному перехресті протягом двох досліджуваних років, 2020 та 2023 років представлені в таблиці 8.

Таблиця 8

Результати вимірювань вмісту NO_2 в атмосферному повітрі центральної частини м. Львова

№	Місцезнаходження об'єкта	Назва забруднюючої речовини	М.р. ГДК мг/м^3	2020 рік				2023 рік			
				I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
1	Пр. Чорновола-вул. Городоцька	Азоту діоксид	0.2	0.250	0.163	0.198	0.210	0.233	0.281	0.204	0.209
2	Пр. Свободи-вул. Дорошенка	Азоту діоксид	0.2	0.169	0.150	0.189	0.202	-	-	-	-
3	Пр. Свободи - вул. П. Беринди	Азоту діоксид	0.2	0.197	0.102	0.175	0.305	-	-	-	-
4	Пр. Свободи - пл. Міцкевича	Азоту діоксид	0.2	0.303	0.135	0.192	0.178	-	-	-	-
5	Вул. Личаківська - вул. Винниченка - пл. Митна	Азоту діоксид	0.2	0.305	0.156	0.199	0.268	-	-	-	-

[626] Grzegorek K. Wie gefährlich ist Stickstoffdioxid?. *Pneumo News*. 2017. 9(5). 56.

[627] Невидима шкода: вплив діоксиду азоту на навколишнє середовище та здоров'я людини. URL: *https://ezupilska-gromada.gov.ua/news/1706699533/*.

№	Місцезнаходження об'єкта	Назва забруднюючої речовини	М.р. ГДК мг/м^3	2020 рік				2023 рік			
				I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
6	Вул. Листопадового Чину - вул. Університетська	Азоту діоксид	0.2	0.271	0.132	0.237	0.270	-	-	-	-
7	Вул. Січових Стрільців - вул.Гнатюка	Азоту діоксид	0.2	0.233	0.182	0.218	0.197	0.125	0.137	0.118	0.131
8	Пр. Чорновола - вул. Під Дубом	Азоту діоксид	0.2	0.271	0.189	0.305	0.206	0.259	0.234	0.196	0.232
9	Пл. Осмомисла - вул. Гавришкевича- вул. Краківська	Азоту діоксид	0.2	0.269	0.207	0.257	0.226	0.129	0.167	0.133	0.160
10	Вул. Підвальна - вул. Руська	Азоту діоксид	0.2	0.187	0.162	0.183	0.185	-	-	-	-

Узагальнені дані, представлені в таблиці 8, свідчать про те, що на низці транспортних перехресть у центральній частині Львова концентрації діоксиду азоту (NO_2) часто перевищували встановлену гранично допустиму концентрацію, яка становить 0,2 мг/м³. Особливо критичним виявився період другого кварталу 2023 року, коли спостерігалися найбільш тривожні рівні забруднення.

Згідно з інформацією, наданою станціями моніторингу, найвищі концентрації NO_2 зафіксовано на таких перехрестях, як проспект Чорновола – вул. Городоцька, проспект Свободи – вул. Беринди, та проспект Чорновола – вул. Під Дубом. На цих ділянках перевищення ГДК носить майже системний характер, що свідчить про сталу екологічну проблему.

Водночас, на деяких інших перехрестях, навпаки, зафіксовано тенденцію до зниження рівнів забруднення. Зокрема, йдеться про ділянки вул. Січових Стрільців – вул. Гнатюка та пл. Осмомисла – вул. Гавришкевича, де концентрації NO_2 демонструють спад у порівнянні з попередніми роками.

Виявлення й усунення основних джерел викидів – таких як інтенсивний транспортний рух, локальні промислові об'єкти, а також урахування впливу несприятливих метеорологічних умов – є ключовим завданням для покращення якості повітря в місті та забезпечення належного рівня захисту здоров'я мешканців.

Графічну інтерпретацію просторово-часової динаміки концентрацій NO_2 на транспортних вузлах центральної частини Львова за період з 2016 по 2023 рік подано на рисунку 14.

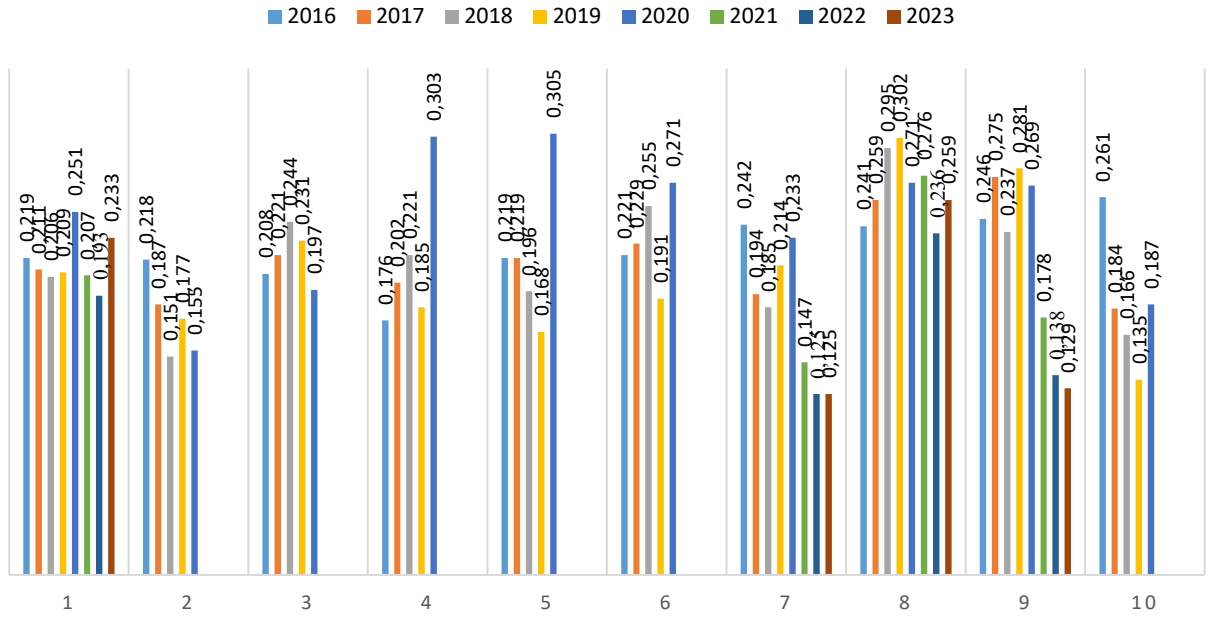


Рисунок 14. Динаміка викиду діоксиду азоту у центральній частині м. Львова, 2016-2023 роки, мг/м^3: 1 – перехрестя пр. Чорновола та вул. Городоцької; 2 – перехрестя пр. Свободи та вул. Дорошенка; 3 – перехрестя пр. Свободи та вул. Беринди; 4 – пр. Свободи – пл. Міцкевича; 5 – вул. Личаківська – вул. Винниченка – пл. Митна; 6 – вул. Листопадового Чину – вул. Університетська; 7 – вул. Січових Стрільців – вул. Гнатюка; 8 – пр. Чорновола – вул. Під. Дубом; 9 – пл. Осмомисла – вул. Гавришкевича – вул. Краківська; 10 - вул. Підвальна – вул. Руська

Результати аналізу графічних даних свідчать, що на більшості транспортних перехресть центральної частини Львова рівні NO_2 перевищували ГДК. Згідно з даними моніторингових станцій, на окремих ділянках такі перевищення мали систематичний характер, що викликає обґрунтоване занепокоєння щодо стану атмосферного повітря в цих зонах.

Разом з тим, на деяких перехрестях спостерігається позитивна динаміка – зниження концентрацій NO_2 у повітрі. Зокрема, це стосується перетину вул. Січових Стрільців і вул. Гнатюка, а також пл. Осмомисла та вул. Гавришкевича, де зафіксовано зменшення рівня забруднення порівняно з попередніми періодами.

Такий неоднорідний просторовий розподіл свідчить про необхідність застосування локалізованих заходів екологічного управління для ліквідації так званих «гарячих точок» – зон із хронічним перевищенням нормативів. Визначення першопричин підвищеного забруднення – таких як інтенсивність дорожнього руху, локальні джерела промислових викидів або несприятливі метеоумови – є критично важливим для формування ефективних стратегій з покращення якості повітря.

4.3.4. Сірчистий ангідрид (SO_2)

Сірчистий ангідрид (діоксид сірки, SO_2) є важким газом із високою щільністю, який при контакті з атмосферним повітрям утворює характерні видимі пари. За температури -10,1°C він переходить у рідкий стан, утворюючи безбарвну рідину, густішу за воду. SO_2 добре розчиняється у воді з утворенням сірчистої кислоти (H_2SO_3), а також має високу розчинність у багатьох органічних розчинниках – зокрема в спиртах, ефірах і бензолі.

Хоча сам діоксид сірки не є горючим, за певних умов його пари можуть утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. На промисловому рівні SO_2 широко використовується для синтезу сірчаної кислоти (H_2SO_4), сульфатів та інших сполук сірки. Він також застосовується у виробництві паперу, текстилю, як дезінфікуючий засіб у різних технологічних процесах.

Крім промислових цілей, діоксид сірки використовується як харчовий консервант, зокрема у виноробстві, а також для обробки фруктів та овочів, з метою запобігання їх псуванню. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям, рідкий SO_2 використовується як холодоагент і технічний розчинник [628].

SO_2 є небезпечним атмосферним забруднювачем, відомим своєю здатністю подразнювати слизові оболонки органів дихання, очей та інші біологічні тканини. Відповідно до чинних нормативів, ГДК SO_2 в атмосферному повітрі встановлена на рівні 0,5 мг/м^3.

У таблиці 9 подано результати щоквартальних вимірювань рівнів діоксиду сірки на визначених транспортних перехрестях центральної частини міста Львова. Спостереження охоплюють період з 2020 по 2023 рік.

Таблиця 9

Результати вимірювань вмісту SO_2 в атмосферному повітрі центральної частини м. Львова.

№	Місцезнаходження об'єкта	Назва забруднюючої речовини	М.р. ГДК мг/м^3	2020 рік				2023 рік			
				I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
1	Пр. Чорновола-вул. Городоцька	Ангідрид сірчистий	0.5	0.144	0.074	0.083	0.091	0.104	0.121	0.089	0.114
2	Пр. Свободи-вул. Дорошенка	Ангідрид сірчистий	0.5	0.101	0.069	0.079	0.089	-	-	-	-
3	Пр. Свободи - вул. П. Беринди	Ангідрид сірчистий	0.5	0.115	0.042	0.085	0.169	-	-	-	-
4	Пр. Свободи - пл. Міцкевича	Ангідрид сірчистий	0.5	0.176	0.057	0.090	0.092	-	-	-	-
5	Вул. Личаківська - вул. Винниченка - пл. Митна	Ангідрид сірчистий	0.5	0.156	0.070	0.091	0.175	-	-	-	-
6	Вул. Листопадового Чину - вул. Університетська	Ангідрид сірчистий	0.5	0.129	0.061	0.106	0.131	-	-	-	-
7	Вул. Січових Стрільців - вул.Гнатюка	Ангідрид сірчистий	0.5	0.126	0.093	0.099	0.103	0.066	0.071	0.062	0.079
8	Пр. Чорновола - вул. Під Дубом	Ангідрид сірчистий	0.5	0.136	0.102	0.127	0.132	0.102	0.107	0.102	0.111
9	Пл. Осмомисла - вул. Гавришкевича-вул. Краківська	Ангідрид сірчистий	0.5	0.141	0.098	0.122	0.160	0.065	0.058	0.051	0.091
10	Вул. Підвальна - вул. Руська	Ангідрид сірчистий	0.5	0.088	0.078	0.089	0.018	-	-	-	-

[628] Чим небезпечний сірчистий ангідрид. Уніан.юа. 2015. URL: *https://www.unian.ua/health/regnews/1118309-chim-nebezpechniy-sirchistiy-angidrid-riven-yakogo-v-kievi-znachno-perevischue-normu.html*.

Згідно з результатами щоквартального моніторингу атмосферного повітря за 2020 та 2023 роки, концентрації SO_2 на основних транспортних перехрестях у центральній частині Львова залишалися в межах допустимих значень, не перевищуючи встановлену ГДК 0,5 мг/м^3.

Найвищий зафіксований рівень SO_2 протягом аналізованого періоду становив 0,175 мг/м^3 на перетині вул. Личаківської, вул. Винниченка та площі Митної у IV кварталі 2020 року. Водночас, найнижча концентрація була зареєстрована на перехресті вул. Листопадового Чину та вул. Університетської у II кварталі того ж року та становила 0,061 мг/м^3.

Попри стабільність показників, що не перевищують норматив, підтримання належного рівня якості повітря потребує постійного моніторингу та впровадження профілактичних заходів. Контроль за джерелами викидів та регулярна оцінка екологічних умов дозволяють запобігати можливому накопиченню забруднювальних речовин і забезпечити збереження сприятливого стану атмосферного повітря в центральних районах Львова.

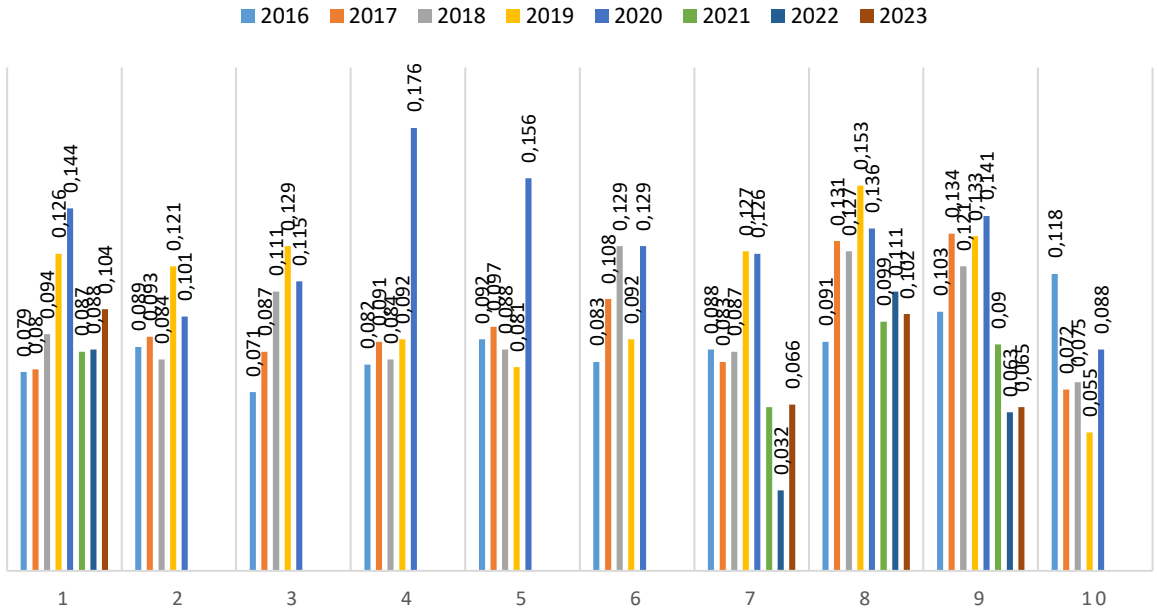


Рисунок 15. Динаміка викиду ангідриду сірчистого у центральній частині м. Львова, 2016-2023 роки, мг/м^3: 1- перехрестя пр. Чорновола та вул. Городоцької; 2 – перехрестя пр. Свободи та вул. Дорошенка; 3 – перехрестя пр. Свободи та вул. Беринди; 4 – пр. Свободи – пл. Міцкевича; 5 – вул. Личаківська – вул. Винниченка – пл. Митна; 6 – вул. Листопадового Чину – вул. Університетська; 7 – вул. Січових Стрільців – вул. Гнатюка; 8 – пр. Чорновола – вул. Під. Дубом; 9 – пл. Осмомисла – вул. Гавришкевича – вул. Краківська; 10 - вул. Підвальна – вул. Руська

Попри те, що рівні SO_2 у центральній частині Львова протягом усього періоду моніторингу залишалися в межах встановлених нормативів, забезпечення стабільної якості атмосферного повітря потребує подальшого посиленого нагляду. Вкрай важливо продовжувати регулярний моніторинг і впроваджувати додаткові заходи для підтримання високих стандартів чистоти повітря.

До таких заходів слід віднести: оптимізацію вже існуючих програм екологічного моніторингу, впровадження інноваційних технологій зниження викидів забруднювальних речовин, а також активну взаємодію органів влади з підприємствами і громадськістю для формування єдиної екологічної політики. Підтримання якісного стану повітря є критично важливим для захисту здоров'я населення та досягнення цілей сталого розвитку міського середовища.

Безперервний контроль за рівнем забруднення та своєчасне реагування на потенційні екологічні виклики дозволять Львову формувати здоровіше, безпечніше та екологічно стійке середовище – як для мешканців, так і для гостей міста. Досягнення цієї мети потребує скоординованих зусиль усіх зацікавлених сторін: органів місцевого самоврядування, промислового сектору та громадськості.

5. ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Проблема викидів від мобільних джерел не обмежується лише якістю пального. Одним із пріоритетів екологічної політики має стати зменшення транспортного навантаження, особливо в центральній частині Львова. Комплексне вирішення цього питання потребує багаторівневого підходу, що охоплює інфраструктурні, технологічні, регуляторні й освітні інструменти.

До ефективних заходів можна віднести:

• Модернізація громадського транспорту – стимулювання використання автобусів, трамваїв, тролейбусів і приміських поїздів дозволяє зменшити кількість приватних авто, що, у свою чергу, сприяє зниженню викидів шкідливих речовин.

• Розвиток активних видів пересування – інвестування в інфраструктуру для пішоходів і велосипедистів, а також запровадження політик на користь сталого пересування сприяє зниженню автозалежності.

• Оптимізація трафіку та просторове планування – запровадження платних зон, смуг для транспорту з високою пасажиронавантаженістю, реконфігурація дорожньої мережі та ефективне міське планування здатні зменшити час простою автотранспорту й загальну інтенсивність викидів.

• Стимулювання електротранспорту та гібридів – створення інфраструктури для зарядки та державна підтримка екологічно чистих авто є стратегічно важливими для скорочення викидів у міському середовищі.

• Контроль за технічним станом транспорту – запровадження сучасних стандартів викидів і обов'язкових перевірок дозволить ефективно виявляти й виводити з експлуатації транспорт із наднормативним рівнем забруднення.

• Екопросвіта та формування відповідальної поведінки – підвищення обізнаності населення щодо впливу автотранспорту на довкілля сприяє переходу до більш сталих моделей пересування.

Реалізація цих заходів має спиратися на тісну взаємодію між органами влади, промисловістю, науковцями та громадськістю. Важливо, щоб впровадження екологічно дружніх транспортних рішень супроводжувалося також вдосконаленням систем контролю – зокрема, застосуванням технологій очищення вихлопних газів (сажових фільтрів, SCR-систем), які дозволяють значно зменшити викиди ще на стадії їх формування.

Крім того, раціональне міське планування, спрямоване на зниження заторів і зменшення часу холостого ходу транспорту, також відіграє важливу роль у зниженні викидів. Усе це має сприяти створенню здоровішого, безпечнішого й екологічно стійкого міського середовища як для жителів, так і для гостей Львова.

6. ВИСНОВКИ

Львів – один із провідних культурних, історичних та економічних центрів західної України — водночас зіштовхується з серйозними викликами, пов'язаними зі станом атмосферного повітря, особливо в центральних районах міста. Низка досліджень, зокрема аналіз концентрацій основних забруднювальних речовин – CO, NO, NO_2, а також SO_2 – свідчать про наявність низки критичних екологічних проблем.

Зокрема, концентрації CO на багатьох транспортних вузлах центральної частини міста перевищують встановлені граничні значення, що становить безпосередню загрозу для здоров'я населення – особливо для пішоходів, пасажирів і працівників, які щоденно перебувають у зоні підвищеного навантаження. Аналогічно, хоча загальний рівень NO та NO_2 здебільшого залишається в межах нормативів, на окремих перехрестях виявлено ознаки поступового зростання цих показників. Це може свідчити про тенденцію до погіршення якості повітря за умов подальшого розвитку транспортної інфраструктури без екологічної корекції.

Що стосується SO_2, його концентрації протягом аналізованого періоду залишалися в межах допустимих значень. Однак, враховуючи потенційну токсичність цього газу та його здатність взаємодіяти з атмосферною вологою, необхідність у безперервному моніторингу та превентивних заходах залишається надзвичайно актуальною.

Таким чином, забезпечення чистого повітря в центральній частині Львова вимагає системного виявлення та усунення джерел викидів, перш за все – інтенсивного автотрафіку та локальних промислових процесів. Це є передумовою не лише для покращення якості довкілля, а й для збереження здоров'я населення.

Попри складну загальнонаціональну ситуацію, пов'язану з війною, екологічна безпека міст, включно зі станом атмосферного повітря, повинна залишатися одним із стратегічних напрямів розвитку. Своєчасне впровадження системних і науково обґрунтованих заходів може суттєво змінити якість міського середовища – зробити його безпечнішим, здоровішим і стійкішим у довгостроковій перспективі.

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ, ШКІДНИКИ ТА ХВОРОБИ ЛІСУ ЯК ЧИННИКИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛІСІВ

CLIMATE CHANGE, PESTS AND FOREST DISEASES AS FACTORS INCREASING THE FIRE RISK IN FORESTS

Андрій Кузик, доктор сільськогосподарських наук, професор, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: 0000-0003-0118-9493

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.20

Анотація. Пожежна небезпека лісів залежить від природних біотичних та абіотичних чинників, зокрема породного складу насаджень, їх просторової структури, віку, типів лісорослинних умов, а також погоди та клімату. Пожежну небезпеку в Україні поділяють на природну та за умовами погоди. Відповідно до такого поділу лісові пожежі одночасно залежать від погоди, зокрема температури та відносної вологості повітря, а також від типів лісових насаджень, їх віку та лісорослинних умов.

Процеси глобального потепління, спричинені антропогенною діяльністю, призводять до підвищення середньої температури, тривалої посухи, зміни кліматичних поясів. Дефіцит вологи спричиняє зростання небезпеки займання навіть від малопотужного джерела та виникнення лісових пожеж.

Зміна клімату внаслідок глобального потепління впливає і на лісову флору та фауну. Потепління у майбутньому або призведе до адаптації рослин і тварин, або процесів заміщення новими видами, пристосованими до більш теплих умов. Це буде супроводжуватися зменшенням життєздатності рослин, хворобами, ураженнями шкідниками та загибеллю рослин. Шкідники та хвороби лісу погіршують життєвість рослин, що виявляється у зменшенні забезпечення вологою та всиханню. Уражені ліси стають більш пожежонебезпечними. Шкідників поділяють на дефоліантів та стовбурових комах. Представники кожного з типів по різному ушкоджують дерева. Дефоліанти спричиняють ушкодження, всихання та опадання листя чи хвої, що окрім ослаблення дерева збільшує запас наземного горючого матеріалу. Стовбурові комахи, зазвичай розкладають фрагменти загиблих дерев. Проте вони можуть завдавати шкоди і ослабленим хворобами, а також і життєздатним рослинам. При цьому різним видам завдають уражень різні шкідники.

Ушкодження та загибель лісових насаджень впливає на зміни клімату, оскільки зменшується поглинання вуглекислого газу та регулювальна функція лісів. Лісові пожежі також призводять до таких наслідків, а також спричиняють викиди шкідливих продуктів горіння в атмосферу, загибель та міграцію тварин, знищення мікроорганізмів і грибів внаслідок високих температур.

Таким чином на збільшення рівня пожежної небезпеки в лісах в сучасних умовах одночасно та взаємопов’язано впливають два чинники – зміна клімату та ураження шкідниками і хворобами.

З урахуванням аналізу та з метою зменшення рівня пожежної небезпеки в лісах в умовах зміни клімату та ураження шкідниками і хворобами необхідно застосовувати комплексний підхід, який полягає у сповільненні кліматичних змін на глобальному рівні, плануванні та проведенні лісівничих заходів. зокрема заміщенні деревних порід більш пристосованими до змін клімату, а також боротьбу з хворобами та шкідниками лісу.

Ключові слова: зміни клімату, лісові насадження, пожежна небезпека лісів, лісові пожежі, лісовий горючий матеріал, шкідники, дефоліанти, стовбурові комахи, життєвість, життєздатність.

Abstract. Forest fire hazard depends on natural biotic and abiotic factors, including tree species composition, spatial structure, age, forest growing conditions, as well as weather and climate. Fire hazard in Ukraine is divided into natural and weather-related. According to this division, forest fires depend simultaneously on the weather, in particular temperature and relative humidity, as well as on the types of forest stands, their age, and forest growing conditions.

Global warming processes caused by human activity lead to higher average temperatures, prolonged droughts, and changes in climate zones. Moisture deficiency increases the risk of ignition even from low-power sources and the occurrence of forest fires.

Climate change due to global warming also affects forest flora and fauna. Warming in the future will either lead to the adaptation of plants and animals or to their replacement by new species adapted to warmer conditions. This will be accompanied by a decrease in plant viability, diseases, pest damage, and plant death. Forest pests and diseases reduce plant vitality, resulting in reduced moisture supply and drying out. Affected forests become more prone to fire. Pests are divided into defoliants and stem insects. Representatives of each type damage trees in different ways. Defoliants cause damage, drying out, and falling of leaves or needles, which, in addition to weakening the tree, increases the supply of combustible material on the ground. Bark beetles usually decompose fragments of dead trees. However, they can also damage trees weakened by disease, as well as viable plants. Different pests cause damage to different species.

Damage and death of forest stands affects climate change by reducing carbon dioxide absorption and the regulatory function of forests. Forest fires also lead to such consequences, as well as causing emissions of harmful combustion products into the atmosphere, the death and migration of animals, and the destruction of microorganisms and fungi due to high temperatures.

Thus, two factors simultaneously and interdependently influence the increase in the level of fire hazard in forests in modern conditions: climate change and damage by pests and diseases.

Taking into account the analysis and in order to reduce the level of fire hazard in forests in the context of climate change and pest and disease damage, it is necessary to apply a comprehensive approach, which consists of slowing down climate change at the global level, planning and implementing forestry measures. In particular, this involves replacing tree species with those that are more adapted to climate change, as well as combating forest diseases and pests.

Keywords: climate change, forest plantations, forest fire risk, forest fires, forest combustible material, pests, defoliants, trunk insects, vitality, viability.

1. ВСТУП

Пожежа у лісах є небезпечним явищем, яке призводить до забруднення довкілля, ушкодження та знищення флори і фауни. У лісових насадженнях небезпека виникнення пожеж залежить від природних та антропогенних чинників. Природні чинники є біотичними та абіотичними. До них належать порідний склад лісонасаджень, їх просторове розміщення, вік, типи лісорослинних умов, а також погодні та кліматичні умови.

В Україні пожежну небезпеку класифікують за двома аспектами — природним та погодним. Ймовірність виникнення лісових пожеж зумовлюється сукупним впливом кліматичних умов, зокрема температури та вологості повітря, а також характеристиками самих насаджень: їхнім віком, складом і умовами зростання.

Глобальне потепління, спричинене людською діяльністю, провокує підвищення середньорічної температури, виникнення тривалих посух та зміни кліматичних зон. Брак вологи значно підвищує ризик займання лісів навіть від незначного джерела вогню – незагашеного сірника, недопалка цигарки іскор з вихлопних труб двигунів та ін.

Значної шкоди лісам завдають воєнні дії, які призводять до механічних ушкоджень рослин, лісових пожеж та хімічних і біологічних забруднень територій.

Зміни клімату також впливають на флору і фауну лісів: у перспективі це може призвести або до адаптації існуючих видів, або до їх витіснення новими, краще пристосованими до тепліших умов. Одночасно погіршується життєздатність рослин: вони стають вразливішими до хвороб, шкідників і всихання.

Лісові шкідники поділяються на дефоліаторів і стовбурових комах. Перші пошкоджують листя та хвою, спричиняючи їх передчасне опадання, що не лише послаблює дерево, а й збільшує кількість сухої біомаси, здатної легко займатися. Стовбурові комахи переважно розкладають мертву деревину, але також можуть шкодити ослабленим, а окремі види і здоровим деревам. При цьому різні види шкідників уражають різні рослини.

Пошкодження та загибель лісів мають зворотний вплив на клімат: знижується здатність лісів поглинати вуглекислий газ і регулювати мікроклімат, що за ушкоджень на значних територіях призведе до глобальних змін клімату. Лісові пожежі спричиняють викиди шкідливих речовин в атмосферу, загибель або міграцію тварин, знищення мікроорганізмів і грибів, що відбувається під впливом високих температур. Території лісів, уражені пожежами, є більш пожежонебезпечними та потребують відновлень.

Для зменшення ризику лісових пожеж в умовах змін клімату та збільшення біологічного навантаження необхідне комплексне вирішення проблеми. Воно включає як глобальні зусилля щодо уповільнення змін клімату, так і локальні лісогосподарські заходи: заміну вразливих деревних порід на більш стійкі до нових кліматичних умов, а також ефективну боротьбу з хворобами та шкідниками.

Отже, зростання пожежної небезпеки в лісах зумовлюється комплексною дією двох взаємопов'язаних факторів — кліматичних змін і поширенням шкідників і хвороб. Тому дослідження таких процесів формування високого рівня пожежної небезпеки, їх взаємозв'язку та впливу на глобальні процеси, а також шляхи вирішення цієї проблеми є актуальними і є метою цієї праці.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для досліджень застосовувалися методи аналізу різних джерел, які дотичні до проблеми зміни клімату, лісових пожеж, видів та стану лісових насаджень, їх уражень хворобами та шкідниками. Аналіз числових даних проводили статистичними методами.

3. РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. Пожежна небезпека лісів в Україні та її оцінювання

Природна пожежна небезпека лісів в Україні визначається шкалою, побудованою на основі породного складу деревостанів і типів лісорослинних умов[629]. Найбільш небезпечними та оцінюються І класом природної пожежної небезпеки насадження хвойних порід до 40 років, які мають значну густоту, низько розташовані гілки над рівнем поверхні землі. Проте до цього класу небезпеки відносять також загиблі і ушкоджені насадження, для яких характерне всихання, внаслідок чого відбувається зменшення вологості хвої та деревини і полегшується займання. До зменшення вмісту вологи лісових горючих матеріалів призводить також і тривала посуха, жарка погода, яка в останні роки триває все частіше та пов'язана із зміною клімату.

[629] Про затвердження Порядку організації охорони і захисту лісів. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 травня 2022 р. № 612. *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/612-2022-%D0%BF*

Іншим важливим показником пожежної небезпеки лісів є пожежна небезпека за умовами погоди, яка базується на обчисленні комплексного показника пожежної небезпеки за умовами погоди та встановленні відповідно до отриманого значення класу пожежної небезпеки за умовами погоди. Розрахунок комплексного показника та визначення класу пожежної небезпеки за умовами погоди здійснює Український гідрометеорологічний центр.

За кордоном для визначення небезпеки за умовами погоди використовують канадський Погодний індекс лісових пожеж (Fire Weather Index – FWI). Цей показник може бути удосконалений та адаптований до регіональних умов. Проведені дослідження із застосуванням даних радіаційного впливу та прогнозу за період 1850-2100 років, аналізом чутливості та пропозиціями удосконалення[630]. Оскільки у країнах ЄС застосовують цей індекс, зокрема у Європейській системі інформування про лісові пожежі (EFFIS)[631], то з урахуванням майбутнього членства України у співтоваристві доцільним є використання цього показника і для нашої країни.

3.2. Кліматичні зміни і лісові пожежі

Глобальна зміна клімату має значний вплив на геосфери: атмосферу, гідросферу та кругообіг води, кріосферу та біосферу[632]. Наслідки цих змін відображаються різних сферах діяльності людини, потребують адаптації та послаблення негативного впливу[633]. В аграрному виробництві[634], лісовому господарстві[635] та інших дотичних галузях, пов'язаних з рослинами, кліматичні зміни відчуваються найбільш гостро.

Кліматичні зміни призводять до погодних аномалій, які сприяють виникненню лісових пожеж. У 21 столітті за довготривалими прогнозами очікується більш сувора пожеженебезпечна погода, що спричинятиме зростання кількості займань та площ пожеж, а також тривалішого пожежонебезпечного періоду[636]. За таких умов та настання V класу пожежної небезпеки за умовами погоди пожежі можуть виникати у лісах, що належать до всіх п'яти класів природної пожежної небезпеки. Зміни клімату спричиняють зростання числа лісових пожеж у Середземномор'ї, що призводить до порушення гідрологічного режиму, порушення поверхневого стоку та виникнення повеней[637].

У США, зокрема у Каліфорнії відзначається збільшення тривалості пожежонебезпечного сезону, а внаслідок екстремального пожежного навантаження після гасіння попередніх пожеж збільшують ризики виникнення нових екстремальних пожеж[638].

[630] Quilcaille, Y., Batibeniz, F., Ribeiro, A. F., Padrón, R. S., & Seneviratne, S. I. (2022). Fire weather index data under historical and SSP projections in CMIP6 from 1850 to 2100. Earth System Science Data Discussions, 2022, 1-31.
[631] European Forest Fire Information System (EFFIS). URL: https://effis.emergency.copernicus.eu/
[632] Cook, K. H. (2013). Climate dynamics. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA
[633] Abbass, K., Qasim, M.Z., Song, H. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. Environ Sci Pollut Res 29, 42539–42559 (2022). https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6
[634] Balabukh, V., Tarariko, O., Ilienko, T., & Velychko, V. (2021). Influence of changes in air temperature on crop productivity formation in Ukraine at the turn of XX–XXI centuries (1981–2010). Agricultural Science and Practice, 8(3), 71-87. https://doi.org/10.15407/agrisp8.03.071
[635] Vacek, Z., Vacek, S., & Cukor, J. (2023). European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. Journal of Environmental Management, 332, 117353.
[636] Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K.A. et al. Forest Fires and Climate Change in the 21ST Century. Mitig Adapt Strat Glob Change 11, 847–859 (2006). https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7
[637] Versini, PA., Velasco, M., Cabello, A. et al. Hydrological impact of forest fires and climate change in a Mediterranean basin. Nat Hazards 66, 609–628 (2013). https://doi.org/10.1007/s11069-012-0503-z
[638] Cisneros, R., Schweizer, D., (Lee) Tarnay, L., Navarro, K., Veloz, D., Procter, C.T. (2018). Climate Change, Forest Fires, and Health in California. In: Akhtar, R., Palagiano, C. (eds) Climate Change and Air Pollution. Springer Climate. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61346-8_8

У Канаді площа територій, які постраждали від лісових пожеж, збільшилася за останні чотири десятиліття, одночасно з підвищенням температури в літній сезон, що матиме істотні наслідки для наземних викидів вуглекислого газу та для лісових екосистем[639].

В Індонезії періодично виникають сильні лісові пожежі у посушливий сезон. Їх причиною є вирубування лісів для формування площ під аграрні культури. У природному стані вологі ліси цих регіонів не горять легко, але масштабні вирубки висушили та деградували великі площі лісів, тим самим збільшуючи їх вразливість до пожеж. Вирубування лісів і пожежі спричиняють негативний вплив на клімат[640].

В Австралії у найспекотніший за всю історію спостережень 2019 рік внаслідок надзвичайно сухого горючого матеріалу виникла значна кількість лісових пожеж, охопивши великі площі. Цьому сприяло поєднання мінливості клімату та довгострокових кліматичних тенденцій, яке спричинило кліматичні екстремуми, що спостерігалися у 2019 році, а сукупний вплив двох або більше режимів мінливості клімату в їхніх фазах, що сприяють виникненню пожеж, історично збільшував ймовірність виникнення великих лісових пожеж на південному сході Австралії[641].

Вплив кліматичних змін на виникнення лісових пожеж спостерігається і на інших територіях Землі, вкритих лісовою рослинністю. Саме кліматичні зміни, а не антропогенна діяльність, є основними чинниками впливу на глобальну пожежну активність в широкому просторово-часовому масштабі, зокрема стан горючих матеріалів та кількість опадів. Проте на регіональному масштабі, причини виникнення лісових пожеж є більш різноманітними, і в деяких регіонах діяльність людини може бути основним фактором. Враховуючи тісний зв'язок між пожежами та кліматом, очікується, що зміна клімату внаслідок збільшення викидів парникових газів змінить просторовий розподіл пожежної активності. Деякі дослідження вказують на збільшення тривалості пожежонебезпечного сезону та потенціалу виникнення лісових пожеж, а також на поступовий перехід до глобального пожежонебезпечного стану, у якому домінує температура[642].

Лісові пожежі формують зворотний зв'язок зі зміною клімату, зумовлений їхнім впливом на депонування вуглецю. Вони також впливають на концентрацію відбивних та поглинаючих аерозолів в атмосфері та змінюють альбедо поверхні через зміни рослинного покриву. Було підраховано, що зворотні зв'язки між кліматом і вуглецевим циклом, пов'язані з пожежами, спричиняють збільшення концентрації CO_2 в атмосфері на 6 ppm на кожен градус глобального потепління середньорічної температури поверхні, і цей позитивний зворотний зв'язок лише частково компенсується негативним зворотним зв'язком, пов'язаним зі збільшенням альбедо поверхні та зниженням температури зі зменшенням лісового покриву[643].

Пов’язані з пожежною безпекою лісів і кліматопи, які характеризуються такими показниками, як сума додатних середньомісячних температур за рік, термовологісним показником та показником континентальності (різниця між найбільшою та найменшою середньомісячними температурами протягом року). Встановлено кореляційні зв’язки між цими показниками та питомою кількістю

[639] Gillett, N. P., Weaver, A. J., Zwiers, F. W., & Flannigan, M. D. (2004). Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. Geophysical Research Letters, 31(18), L18211, doi:10.1029/2004GL020876

[640] Alisjahbana, A. S., & Busch, J. M. (2017). Forestry, Forest Fires, and Climate Change in Indonesia. Bulletin of Indonesian Economic Studies, 53(2), 111–136. https://doi.org/10.1080/00074918.2017.1365404

[641] Abram, N.J., Henley, B.J., Sen Gupta, A. et al. Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. Commun Earth Environ 2, 8 (2021). https://doi.org/10.1038/s43247-020-00065-8

[642] Senande-Rivera, M., Insua-Costa, D. & Miguez-Macho, G. Spatial and temporal expansion of global wildland fire activity in response to climate change. Nat Commun 13, 1208 (2022). https://doi.org/10.1038/s41467-022-28835-2.

[643] Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., ... & Le Quéré, C. (2022). Global and regional trends and drivers of fire under climate change. Reviews of Geophysics, 60(3), e2020RG000726.

пожеж (кількість пожеж, поділена на площу земель лісового фонду) для п'яти областей України, а також регресійні залежності, за якими можна прогнозувати питому кількість пожеж[644].

Внаслідок кліматичних змін, аномальних температур та посухи створюються сприятливі умови для ксерофілізації лісового середовища. Дослідження метеорологічних показників у серпні 2007 року, коли виникли масштабні лісові пожежі в Херсонській області, виявили збільшення різниці між температурою повітря та температурою точки роси, що характеризує висушування підстилки та опаду, а також швидкості зміни температури та відносної вологості повітря. Ці зміни показників швидше, ніж комплексний показник пожежної небезпеки, інформували про настання екстремальних пожежонебезпечних умов[645].

Для оцінювання впливу кліматичних змін в Україні проаналізуємо залежність статистичних даних про лісові пожежі від кліматичних показників. Таким кліматичним показником є середня річна температура яка має тенденцію до зростання (рис. 1)[646].

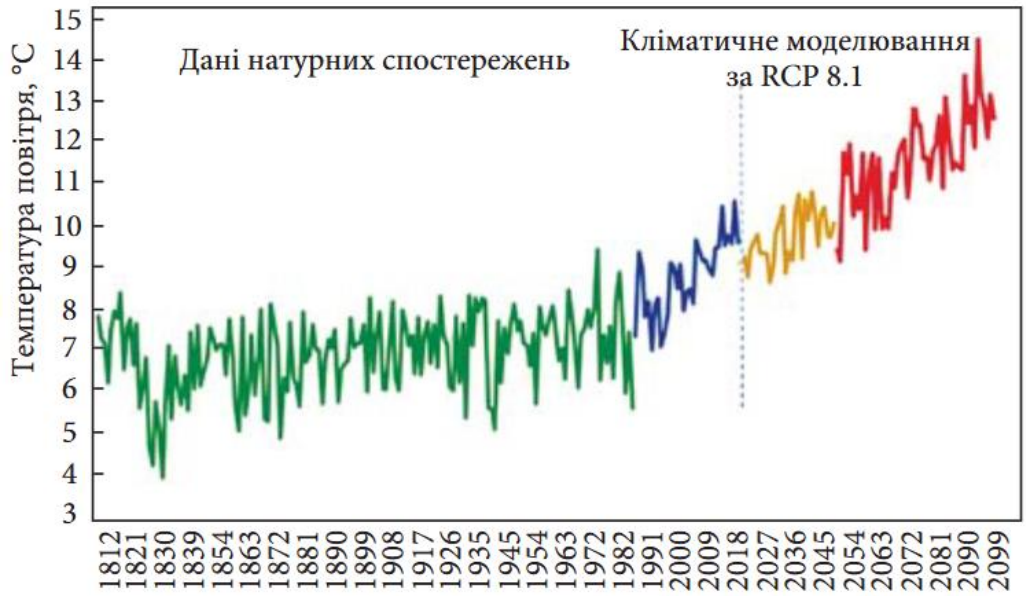


Рисунок 1. Динаміка зміни температури приземного шару повітря у м. Київ[16]

Статистика лісових пожеж в Україні з 2017 по 2022 роки за даними Державного агентства лісових ресурсів України[647] зображена на рис. 2 та 3. Разом з кількостями зафіксованих пожеж та їх площами наведено значення середньої річної температури за даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України[648].

[644] Кузик А.Д. (2019). Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малого Полісся : монографія. Львів: Сполом. 493 с.
[645] Кузик, А. Д., & Кучерявий, В. П. (2009). Вплив метеорологічних чинників на ксерофілізацію лісового середовища та виникнення пожеж. Лісівництво та агролісомеліорація, 116, 238-244. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/38345104.pdf
[646] Осадчий, В. І. (2021). Кліматична програма України як основа цілісної екологічної політики держави в умовах зміни клімату. Вісник Національної академії наук України, (6), 81–84. https://doi.org/10.15407/visn2021.06.081
[647] Охорона лісів від пожеж. Державне агентство лісових ресурсів України. Офіційний сайт. URL: https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/ohorona-lisiv-vid-pozhezh
[648] Кліматичні дані по Україні. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського ДСНС України. Офіційний сайт. URL: http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatolohichna/klimatychni-danni-po-ukraini

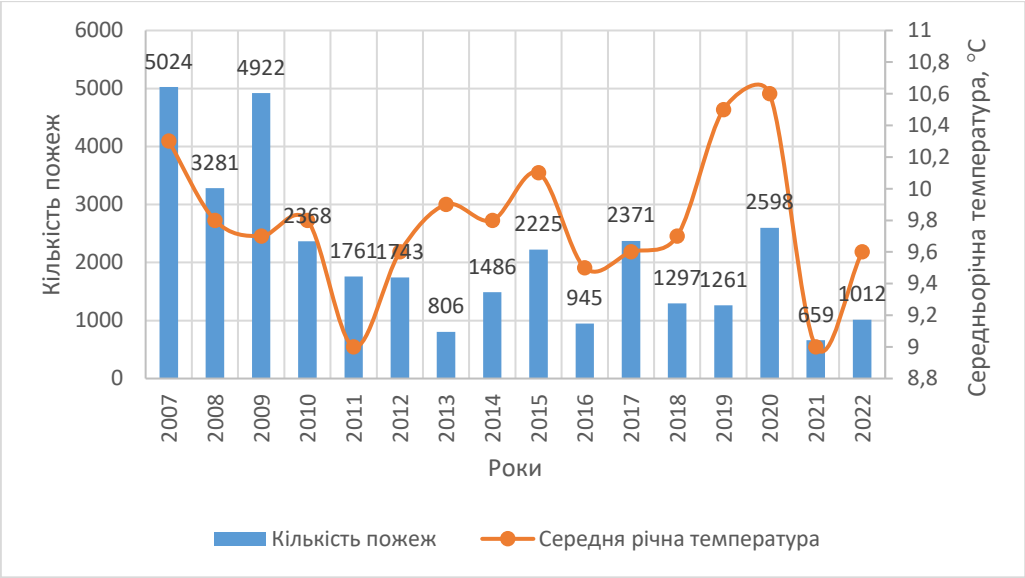


Рисунок 2. Кількість лісових пожеж та середня річна температура в Україні з 2007 по 2022 роки



Рисунок 3. Площі лісових пожеж та середня річна температура в Україні з 2007 по 2022 роки

Як видно з рисунків, температурні зміни більше впливають на площі пожеж, оскільки із збільшенням температур погіршується вологозабезпечення, горючий матеріал швидко висушується, а вогонь поширюються швидше і таку пожежу складніше ліквідувати. Кількості пожеж залежать від антропогенного чинника, а тому середня річна температура менше пов’язана із цим показником. Коефіцієнт кореляції між кількостями пожеж та середніми річними температурами становить 0,34 і є помірним, а між площами пожеж та середніми річними температурами є більшим та дорівнює 0,54 і характеризується як середній зв’язок. Дещо меншим, проте також середнім є коефіцієнт кореляції між середніми площами пожеж та середніми річними температурами і становить 0.50. Перевірка на значущість коефіцієнтів кореляції за t-критерієм Стьюдента з рівнем значимості 0,05 та 14 ступенями свободи показала, що значущими є кореляційні зв'язки між площами пожеж і середніми річними температурами та між середніми площами пожеж і середніми річними температурами.

Окремо розглянемо дані про лісові пожежі під час повномасштабної війни, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Кількості та площі лісових пожеж в Україні у 2022-2024 роках
(за даними Державного агентства лісових ресурсів України)

Роки	**2022**	**2023**	**2024**
Кількість пожеж	1012	593	1994
Площа пожеж, га	15690	906,8	24000

Проте залежність пожеж від кліматичних показників за цей період складно аналізувати, оскільки безпекова ситуація не дає змоги проводити дослідження та обліковувати пожежі, які виникають на тимчасово окупованих територіях.

Тому проблема лісових пожеж та їх залежність від кліматичних змін є актуальною не лише в Україні, але й в інших країнах.

3.3. Зміни клімату та їх вплив на лісове середовище

Негативний вплив зміни клімату виявляється не лише у збільшенні тривалості пожежонебезпечного періоду та ризиків виникнення лісових пожеж. Зростання температур та зменшення кількості опадів призводять до порушення екологічних умов у лісових фітоценозах. Це призводить до порушень життєвості рослин. В таких умовах більшість видів рослин не можуть природним чином змінити свій географічний ареал досить швидко, щоб встигати за темпами зміни клімату, до якого вони можуть не мати змоги адаптуватися. Також захист та біобезпека рослин, що включають усі стратегії оцінки та управління ризиками, які виникають через інфекційні захворювання, карантинних регульованих шкідників, інвазивні чужорідні види та живі модифіковані організми в природних та керованих екосистемах, також зазнають негативного впливу зміни клімату[649].

Лісові екосистеми поділяються на три основні групи з урахуванням кліматичних умов, розташування (рівнинні, гірські) та навіть геологічного субстрату: бореальні хвойні ліси, ліси помірної зони та тропічні ліси. Зміна клімату по-різному впливає на кожен тип лісової екосистеми. Як свідчать дослідження, вона інтенсивніше впливає на помірні ліси в регіонах із середземноморським кліматом, які розташовані на кількох континентах, із значним впливом підвищення температури влітку та зменшення кількості опадів взимку[650].

В Україні кількість днів з максимальними температурами понад 35°C та 40°C за останні роки зросла майже вдвічі, що негативно відобразилося на насадженнях сосни звичайної, які зазнавали водного стресу, ураження шкідниками та загальної деградації. Це підтверджено дендрологічними дослідженнями, під час яких вимірювалися радіальні прирости за допомогою кернів. Встановлено, що ріст сосни звичайної залежить від вологості в ґрунті та опадів, проте високі температури негативно впливають на цей процес навіть за достатньої кількості вологи[651].

[649] Secretariat, I. P. P. C., Gullino, M. L., Albajes, R., Al-Jboory, I., Angelotti, F., Chakraborty, S., ... & Stephenson, T. (2021). Scientific review of the impact of climate change on plant pests. FAO on behalf of the IPPC Secretariat. URL: https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/149380/2/Full%20reportcb4769en.pdf

[650] Nunes, L. J. R., Meireles, C. I. R., Gomes, C. J. P., & Ribeiro, N. M. C. A. (2022). The Impact of Climate Change on Forest Development: A Sustainable Approach to Management Models Applied to Mediterranean-Type Climate Regions. Plants, 11(1), 69. https://doi.org/10.3390/plants11010069

[651] Romanenko, V. (2021). Impact of climate change on scots pine plantations: State, problems, challenges. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 12(3), 87-94. https://doi.org/10.31548/forest2021.03.008

Зміни клімату призводять до змін кліматичних поясів, що зумовлює поступову зміну рослинного та тваринного складу територій. Це спричиняє появу не характерних для цієї території тварин і шкідників[652]. Зміна клімату впливає на комах-шкідників по різному. Існують вагомі докази того, що деякі нещодавні спалахи короїдів та дефоліантів зазнають впливу зміни клімату та мають великий вплив на екосистеми, а також на угруповання лісових комах. Короїди, наприклад, можуть спричиняти загибель дерев після сильної посухи, пов'язаної з теплими температурами, завдяки позитивному зворотному зв'язку для їхніх популяцій від наявності сприйнятливих господарів та сприятливих температур, що посилюється в просторових та часових масштабах. Прогнози спалахів комах свідчать про зміни в просторово-часових моделях поширення дефоліаторів та короїдів. Поїдання листя дерев пов’язане з ростом насаджень та розповсюдженням бруньок. Дослідження[653] параметрів розвитку трьох дефоліаторів та їхніх уподобань щодо п'яти рослин-господарів за температур від 16 до 31 °C виявили, що зі збільшенням температури час розвитку скорочувався, а швидкість виживання та пристосованість зростали. Також відбулася зміна уподобань у харчуванні рослин-господарів, що призвело до збільшення травоїдності певними рослинами та потенційної зміни лісових угруповань. Іншим видом шкідників є короїди та деревні пильщики. Їх поширенню у північні широти сприяють м’які зими[654]. Розширення міжнародних торгівельних відносин сприяє швидкому поширенню численних комах та патогенів у нові регіони. Багато з таких інвазій завдають значної шкоди лісам, економічних збитків та втрати екосистемних властивостей дерев. Зміна клімату вже сьогодні впливає на географічний розподіл дерев-господарів та пов'язаних з ними комах і патогенів, з очікуваним збільшенням впливу як місцевих, так і інвазійних шкідників. Хоча зміна клімату принесе користь багатьом лісовим комахам, зміни теплових умов можуть порушити еволюційні ознаки життєвого циклу та спричинити фенологічні невідповідності. Загрози, які становлять для лісових екосистем інвазивні шкідники та зміни клімату, є серйозними та потребують вирішення[655].

Ризик зараження шкідниками прогнозується бути більш виразним наприкінці 21 століття за існуючих тенденцій до зміни температури, оскільки прогнозується підвищення глобальної температури на 1, 2 та 3°C на початку, всередині та наприкінці нинішнього століття. Це призведе до зростання як абіотичних, так і біотичних чинників, які призводять до підвищення небезпеки виникнення лісових пожеж[656].

Для оцінювання загроз негативного впливу кліматичних змін на лісове середовище проаналізуємо дані про площі всихання лісів в Україні[657], наведені на рис. 4 разом з середньою річною температурою за період 2013-2022 років. Як видно з рисунка, з 2013 по 2018 рік площа всихання зростає, а у наступні роки має тенденцію до зниження. Кореляційний зв'язок обидвох показників практично відсутній (коефіцієнт кореляції становить –0,13). Проте оцінити реальний

[652] Pureswaran, D.S., Roques, A. & Battisti, A. Forest Insects and Climate Change. Curr Forestry Rep 4, 35–50 (2018). *https://doi.org/10.1007/s40725-018-0075-6*

[653] Jing, J., Xia, L. & Li, K. Development of defoliating insects and their preferences for host plants under varying temperatures in a subtropical evergreen forest in eastern China. Front. Earth Sci. 11, 321–331 (2017). https://doi.org/10.1007/s11707-016-0582-3

[654] Ungerer, M.J.; Ayres, M.P.; Lombardero, M.J. 1999. Climate and the northern distribution limits of Dendroctonus frontalis Zimmerman (Coleoptera: Scolytidae). Journal of Biogeography 26:1133-1145

[655] T.D. Ramsfield, B.J. Bentz, M. Faccoli, H. Jactel, E.G. Brockerhoff, Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts, Forestry: An International Journal of Forest Research, Volume 89, Issue 3, July 2016, Pages 245–252, *https://doi.org/10.1093/forestry/cpw018*

[656] Gullino, M. L., Albajes, R., Al-Jboory, I., Angelotti, F., Chakraborty, S., Garrett, K. A., ... & Stephenson, T. (2022). Climate Change and Pathways Used by Pests as Challenges to Plant Health in Agriculture and Forestry Sustainability 2022, 14(19), 12421; https://doi.org/10.3390/su141912421

[657] Захист лісів від шкідників та хвороб. Державне агентство лісових ресурсів України. Офіційний сайт. URL: *https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/zahist-lisiv-vid-shkidnikiv-ta-hvorob*

вплив кліматичних змін є складно, оскільки ведуться санітарні рубки у всихаючих насадженнях, які впливають на такий показник як площа всихання.

Дослідження в глобальному масштабі цієї проблеми не виявили чіткого зв'язку між особливостями ушкодження лісів комахами-шкідниками та впливом інших чинників. Проте прогнозується, що вплив спалахів комах-шкідників зростатиме з посиленням глобальних змін. Треба водночас враховувати, що пристосованість та поширення видів комах сильно залежать від клімату. Крім того, спалахи комах-шкідників можуть взаємодіяти із забрудненням та змінами у землекористуванні, а інвазії видів комах зростають в результаті глобальної торгівлі. Розуміння потенціалу взаємодій між комахами-шкідниками та іншими порушеннями у лісовому середовища, а також поява нових взаємовпливів є основними викликами в дослідженнях динаміки лісів[658].



Рисунок 4 – Динаміка всихання лісів України та середня річна температура за даними Державного агентства лісових ресурсів України

4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Кліматичні зміни, які спостерігаються та виникають внаслідок антропогенної діяльності, призводять до підвищення середньої річної температури повітря, кількості днів з високою температурою повітря влітку та зменшення кількості опадів. Кліматичні зміни погіршують екологічні умови лісових рослин, зокрема зменшує запас води, що призводить до їх всихання, появи хвороб і шкідників. Одночасно рослини та їх рештки у формі опаду та підстилки стають більш пожежонебезпечними, а за наявності джерел займання виникають лісові пожежі.

Лісові пожежі спричиняють загибель або ураження лісових насаджень, які внаслідок цього стають більш вразливими до хвороб і шкідників. Це призводить до того, що у лісах після пожеж небезпека їх повторного виникнення зростає, а ослаблені рослини ще більше ослаблюються або гинуть. У таких лісах проводять санітарні рубки. Це призводить до зменшення поглинання вуглекислого газу та депонування вуглецю і, як наслідок, посилення кліматичних змін.

Лісові пожежі спричиняють викиди продуктів горіння в атмосферу, зокрема парникових газів, зокрема CO_2 та окиси азоту. Внаслідок високотемпературного висушування в умовах пожежі в

[658] Canelles, Q., Aquilué, N., James, P.M.A. et al. Global review on interactions between insect pests and other forest disturbances. Landscape Ecol 36, 945–972 (2021). https://doi.org/10.1007/s10980-021-01209-7

атмосферу потрапляє і водяна пара. Значний вплив на процеси в атмосфері мають викиди димі та сажі, оскільки аерозольні частки спричиняють появу хмар. Існує припущення, що відповідний ефект аерозолю втричі сильніший, ніж прямий кліматичний ефект, пов'язаний із взаємодією частинок і сонячного випромінювання, під час якого воно ослаблюється та спричиняє потепління клімату[659]. Окрім цього, внаслідок горіння виділяється значна кількість теплоти, яка поширюється в навколишньому середовищі та призводить до зростання температури повітря.

Зростання пожежної небезпеки в Україні внаслідок кліматичних змін підтверджують кореляційні зв'язки між статистичними даними про пожежі та середніми річними температурами.

В Україні у зв'язку з підвищенням середньої річної температури повітря та іншими кліматичними змінами описані проблеми стосуються насамперед соснових лісів, оскільки в умовах зростання температури сосна звичайна опиниться в несприятливих умовах. Для нормального розвитку пилку сосни потрібна температура 5-18°С, у більшості випадків комфортна температура не перевищує 25°С, але існують випадки, коли сосна витримує на скелях температуру понад 40°С. Тому увага до таких лісів щодо догляду, охорони від шкідників і пожеж має бути посиленою в умовах кліматичних змін.

Процеси у навколишньому середовищі, пов'язані з кліматичними змінами, хворобами та шкідниками лісу і лісовими пожежами можна зобразити у вигляді схеми (рис. 5).

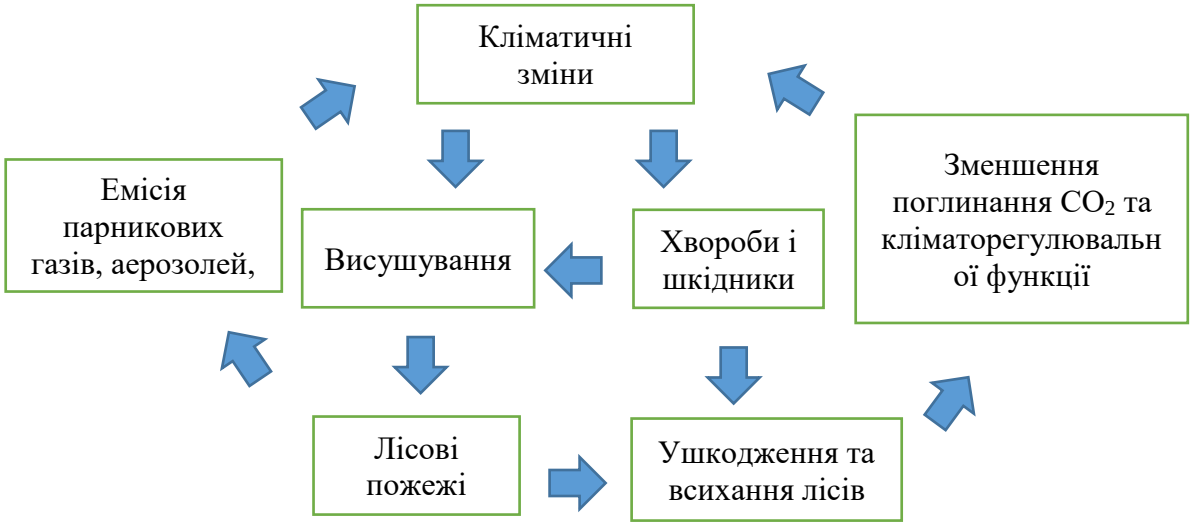


Рисунок 5. Схема взаємозвязків між кліматичними змінами, лісовими пожежами, хворобами та шкідниками

Як видно з рисунку, кліматичні зміни призводять до негативного впливу на лісове середовище, появу хвороб, шкідників та виникнення лісових пожеж. Ці процеси посилюють негативний вплив на клімат. І лише відповідні лісівеничі заходи, спрямовані на врахування кліматичних змін для вибору порід дерев, боротьбу зі шкідниками і хворобами та лісовими пожежами зможуть зупинити чи сповільнити негативний вплив на зміну клімату та незворотні процеси в довкіллі.

[659] Нестеренко О.В., Клєвцова Л.Г., Чернишенко Г.О. (2019). Вплив степових та лісових пожеж на навколишнє середовище в Україні. Науковий вісник будівництва, 95(1), 240-245. https://doi.org/10.29295/2311–7257–2019–95–1–240–24

5. ВИСНОВКИ

На основі аналізу проблеми, лісу, лісових пожеж та змін клімату встановлено:

1. Зміни клімату спричиняють зміну екологічних умов для лісових рослин, які зумовлюють висихання та ураження хворобами і шкідниками. На відміну від тварин, рослини не можуть швидко мігрувати, а різні шкідники швидко поширюються та вражають ліси, ослаблені внаслідок кліматичних змін.

2. Ослаблення лісів внаслідок недостатнього зволоження, хвороб та шкідників підвищує пожежну небезпеку лісового середовища внаслідок ксерофілізації горючих матеріалів. Такі ліси можуть легко займатися, а пожежа буде швидко поширюватися.

3. Горіння лісів спричиняє викиди в атмосферу парникових газів та аерозолей, що посилює кліматичні зміни, що може спричинити незворотні процеси у навколишньому середовищі.

4. Для України встановлено кореляційні зв’язки між кількостями та площами пожеж і середньою річною температурою. Між підвищенням середньої річної температури та усиханням лісів не виявлено взаємозв’язку, проте такий вплив існує, як показують численні дослідження. Для детальніших аналізів потрібні дані, які враховують санітарні рубки в таких лісах.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ПІДХОДИ ЕКОЛОГІЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ВІДВАЛІВ

GEOINFORMATION APPROACHES TO ECOLOGICAL ASSESSMENT OF COAL DUMPS

Олег Мандрик, д. т. н., професор кафедри екології, e-mail: Mandryk68@gmail.com, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ORCID: 0000-0002-2689-7165.

Катерина Барабан, аспірантка кафедри екології, e-mail: beemveshka@gmail.com, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ORCID: 0009-0001-7429-4051.

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.21

Анотація. У монографії висвітлено сучасні підходи до екологічного оцінювання техногенно трансформованих територій, зокрема вугільних відвалів, із використанням геоінформаційних технологій. Запропоновано методику картографічного моделювання просторового поширення забруднювальних чинників на територіях, порушених вугільною промисловістю.

Використання геоінформаційних систем дало змогу сформувати серію аналітичних карт, що відображають рівні забруднення, стан фітомеліоративного покриву та динаміку змін екологічного стану досліджуваних екосистем.

Проведено екологічне оцінювання із залученням результатів польових спостережень і лабораторних вимірів, що дозволило підвищити достовірність просторових моделей і забезпечити наукове обґрунтування заходів рекультивації. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності систем моніторингу, планування відновлення деградованих ландшафтів і забезпечення екологічної безпеки в регіонах інтенсивної гірничої діяльності.

Ключові слова: екологічне оцінювання, вугільні відвали, геоінформаційні системи, картографічне моделювання, фітомеліоративна ефективність, рекультиваційні заходи, екологічна безпека, деградовані території вугільною діяльністю.

Abstract. The monograph presents modern approaches to the ecological assessment of technogenically transformed areas, particularly coal waste heaps, using geoinformation technologies. A methodology for cartographic modeling of the spatial distribution of pollutants in coal-mining-affected territories is proposed. The application of geographic information systems enabled the development of a series of analytical maps reflecting pollution levels, the state of phytomeliorative cover, and the dynamics of ecological changes in the studied ecosystems.

An analysis of environmental monitoring was conducted using the results of field observations and laboratory measurements, which allowed for increased accuracy of spatial models and provided a scientific basis for reclamation measures. The research results can be used to enhance the effectiveness of monitoring systems, support the planning of landscape restoration, and ensure environmental safety in regions impacted by intensive mining activity.

Keywords: ecological assessment, geographic information systems, coal waste heaps, cartographic modeling, phytomeliorative efficiency, degraded landscapes, reclamation, environmental safety.

ВСТУП

В умовах зростання техногенного навантаження на довкілля та посилення наслідків кліматичних змін особливої актуальності набуває вдосконалення підходів до екологічного оцінювання порушених територій. Одним із найбільш екологічно вразливих об'єктів є вугільні відвали, які суттєво впливають на стан ґрунтів, водних ресурсів і біорізноманіття, формуючи осередки локального та регіонального забруднення[660,661].

Систематичне накопичення гірничих порід без належного екологічного контролю призводить до ускладнення просторової структури забруднення, що ускладнює планування ефективних заходів реабілітації. У цьому контексті необхідним є застосування інтегрованих геоінформаційних підходів, здатних забезпечити об’єктивну оцінку стану довкілля, просторовий аналіз ризиків та обґрунтування природоохоронних рішень[662,663].

Актуальність дослідження зумовлена потребою у використанні геоінформаційних систем (ГІС) як інструменту картографічного моделювання для виявлення, аналізування й прогнозування екологічно небезпечних чинників на територіях, порушених вугледобувною діяльністю. Особливе значення має оцінювання фітомеліоративної ефективності покриву на породних відвалах, що дозволяє не лише оцінити поточний стан техногенного ландшафту, але й розробити науково обґрунтовані рекомендації для його відновлення.

Отримані результати мають прикладне значення для вдосконалення систем моніторингу, моделювання екологічних змін та підвищення рівня екологічної безпеки в зонах впливу вугільної промисловості.

МЕТОДОЛОГІЯ

У межах даного дослідження реалізовано комплексну методику екологічного оцінювання вугільних відвалів із використанням геоінформаційних технологій. Основу підходу становить інтеграція просторового аналізу, цифрового картографування та методів екологічного моделювання.

Для проведення просторового аналізу використовувалися мультиспектральні супутникові знімки Landsat-TM, що забезпечили деталізацію покриття територій та виявлення деградованих ділянок (рис. 1). Аналіз даних здійснювався в середовищах MapInfo та ArcGIS, а також із використанням графічного пакету Surfer для побудови поелементних еколого-техногенних карт із інтерполяцією даних.

[660] Malets I., et. al., Interactive computer simulators in rescuer training and research of their optimal use indicator, *EEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP)*, Lviv, Ukraine, 2018. pp. 558–562. *https://doi.org/10.1109/DSMP.2018.8478486*
[661] Popovych V., et. al., Monitoring of ground forest fire impact on heavy metals content in edafic horizons. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 2021. pp. 96–103. *https://doi.org/10.12911/22998993/135872*
[662] Popovych V.V., et. al., Environmental impact of devastated landscapes of Volhynian Upland and Male Polisya (Ukraine). *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(3), 2019. pp. 33–45. *https://doi.org/10.5755/j01.erem.75.3.23323*
[663] Skrobala V., et. al., Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv-Volyn coal basin. Mining of Mineral Deposits, 14(2), 2020. 119–127. *https://doi.org/10.33271/mining14.02.119*

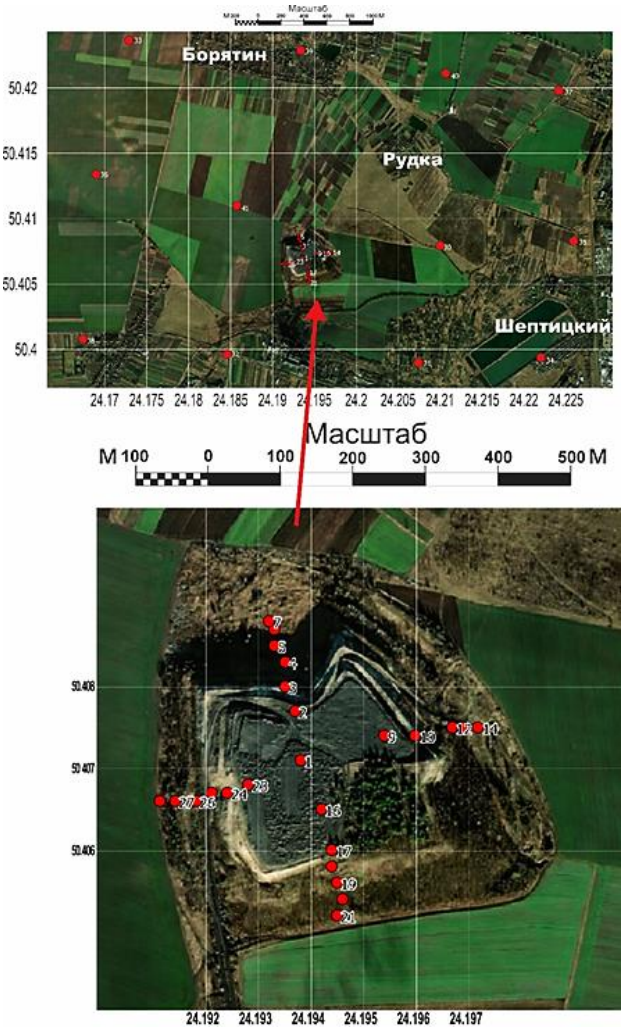


Рисунок 1. Карта фактичного матеріалу

Методика оцінювання базувалась на поетапному картографуванні компонентів ландшафту в межах буферних зон навколо териконів (радіусом до 500 м). Було сформовано серію тематичних карт.

Дані з тематичних карт інтегрувалися у єдину ГІС-модель, що забезпечило можливість проведення багатошарового аналізу.

Для визначення рівнів забруднення застосовувався метод електронного накладання поелементних карт з розрахунком сумарного техногенного пресингу. За допомогою функцій кореляції і класифікації у ГІС-середовищі ідентифіковано:

- зони аномального забруднення, де концентрації токсичних елементів перевищують фон у декілька разів;
- ділянки з перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК) — як критичні зони впливу на біоту та людину;
- просторову кореляцію між осередками забруднення та техногенними джерелами (вугільні відвали, промислові об'єкти, транспортні коридори).

Для аналітичної візуалізації застосовувались функції ізолінійного моделювання у програмі Surfer, що дозволило побудувати карти концентрацій забруднювальних речовин із точним геопросторовим позиціонуванням.

Запропонована методика дозволила забезпечити високу просторову деталізацію екологічного оцінювання та заклала підґрунтя для розробки адаптивних фіторекультиваційних заходів.

Комплексне поєднання даних польових спостережень, лабораторних аналізів та геоінформаційного моделювання дозволило сформувати багаторівневу систему оцінювання екологічного стану техногенно трансформованих територій. Застосування ГІС-платформ забезпечило точне позиціонування зон забруднення, виявлення просторових аномалій, а також інтеграцію результатів у цифрові картографічні моделі. Такий підхід не лише підвищує об'єктивність екологічної діагностики, а й відкриває можливості для формування науково обґрунтованих заходів екологічної реабілітації на регіональному рівні[664,665,666,667].

РЕЗУЛЬТАТИ

Просторове моделювання забруднення ґрунтів

У зонах формування та експлуатації вугільних відвалів ґрунтове середовище зазнає значного техногенного навантаження, що супроводжується накопиченням потенційно токсичних елементів, зокрема важких металів. Висока міграційна здатність цих речовин, їх стійкість у навколишньому середовищі та здатність до участі в біохімічних процесах обумовлюють небезпеку для екосистем і здоров'я людини.

У цьому контексті важливим науковим завданням є проведення екотоксикологічного аналізу вмісту важких металів у ґрунтах та породах, розташованих у безпосередній близькості до техногенних об'єктів, із метою виявлення рівнів забруднення, просторової структуризації навантаження та формування обґрунтованих підходів до екологічної реабілітації порушених територій.

У межах дослідження проведено лабораторний аналіз вмісту важких металів у зразках ґрунту, відібраних із ділянок в межах досліджуваного терикону шахти. Дослідження мало на меті визначити рівень техногенного забруднення, виявити зони підвищеної концентрації потенційно токсичних елементів та оцінити екологічний ризик для довкілля як основу для подальших фіторекультиваційних заходів.

Дослідження проводилися на базі акредитованої лабораторії Дністровського БУВРу відповідно до європейських стандартів, із використанням методик моніторингу стану ґрунтового покриву[668].

Дослідження охоплювало визначення концентрацій найпоширеніших і найбільш токсикологічно значущих елементів — свинцю (Pb), кадмію (Cd), міді (Cu), цинку (Zn), марганцю (Mn) та заліза (Fe). Ці елементи характеризуються здатністю до біоакумуляції, тривалим збереженням у ґрунтовому середовищі та істотним впливом на структурно-функціональні властивості ґрунтових екосистем.

Аналіз проб ґрунту, відібраних у межах буферної зони терикону, засвідчив присутність типових техногенних забруднювачів — важких металів, зокрема свинцю (Pb), кадмію (Cd), міді (Cu), цинку (Zn), марганцю (Mn) та заліза (Fe). Основними джерелами надходження цих елементів до ґрунтового середовища є атмосферне осідання пилу з поверхні терикону, вилуговування мінералів відвальних мас, а також дренажні потоки, збагачені розчинними формами металів.

З метою забезпечення методичної узгодженості, для всіх досліджуваних елементів, було застосовано єдину схему просторового аналізу та побудови відповідних картографічних моделей.

---

664 Зорін Д. О. Географічні інформаційні системи екологічної безпеки. Навчальний посібник. Івано-Франківськ : Супрун В. П., 2016. 181 с.

665 Павличенко А.В. Дослідження екологічних наслідків розміщення вугледобувних підприємств у навколишньому середовищі / А.В. Павличенко, А.А. Коваленко. [Електронний ресурс] - *http://rr.nmu.org.ua/pdf/2014/20140926-68.pdf*

666 Кучерявий В. П., Геник Я. В., Дида А. П., Колодко М. М. Рекультивація та фітомеліорація : навчально-методичний посібник. Львів : ГАФСА, 2006. 116 с.

667 Триснюк В. М., Зорін Д. О., Волинець Т. В. Інформаційні системи мобільного екологічного моніторину Дністровського каньйону. Телекомунікаційні та інформаційні технології.2024.No 2(83). с. 60-67. *DOI: 10.31673/2412-4338.2024.027280*

668 Skrobala V., Popovych V., Pinder V. Ecological patterns for vegetation cover formation in the mining waste dumps of the Lviv-Volyn coal basin. Mining of Mineral Deposits. 2020. Vol. 14, no. 2. P. 119–127. *https://doi.org/10.33271/mining14.02.119*

Просторова модель розподілу кобальту (Co) демонструє виражену зональність із локальним максимумом концентрації в центральній частині досліджуваної ділянки, безпосередньо поблизу терикону (рис. 2). Зафіксовані значення суттєво перевищують як фонові рівні, так і встановлені гранично допустимі концентрації, що дозволяє ідентифікувати зону як екологічну аномалію[669].

Концентрація кобальту знижується у міру віддалення від джерела забруднення, що свідчить про його здатність до міграції у ґрунтовому середовищі. Причиною такого процесу є фізико-хімічне вивітрювання мінералів відвальних мас та вилуговування металів унаслідок атмосферних впливів. Подібна структура забруднення характерна для зон із постійним техногенним пресингом, зумовленим тривалою експлуатацією гірничих підприємств[670].

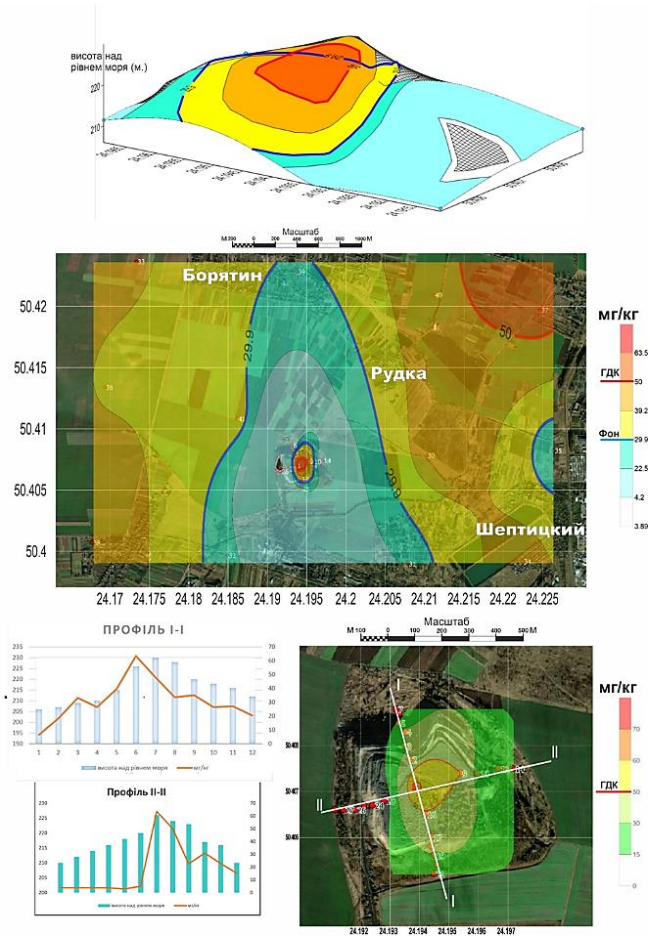


Рисунок 2. Просторовий розподіл кобальту (Co) у ґрунтах досліджуваної території

Просторове моделювання засвідчило наявність локальних осередків підвищеного вмісту важких металів, що вказує на переважно точковий характер техногенного впливу в межах досліджуваної території. Такий розподіл зумовлює необхідність подальшої деталізації забруднення з урахуванням особливостей міграції токсичних елементів у межах гірничопромислових ландшафтів.

Наступним об’єктом просторового аналізу є залізо (Fe) — природний компонент гірських порід, присутній у складі багатьох мінералів, що входять до структури відвальних мас. У результаті інтенсивного окиснення й вивітрювання залізовмісних мінералів відбувається його вивільнення у

[669] Zorin, D. (2024). Assessment of the ecological status of soil cover and design of environmental monitoring in the Ivano-Frankivsk urban community. Ecological Safety and Balanced Use of Resources, 15(1), 39-52. *https://doi.org/10.69628/esbur/1.2024.39*

[670] Босак П. В., Попович В. В. Екологічна небезпека підтериконових стічних вод Нововолинського гірничопромислового району EcoLab.Том 1: моногр. Львів: ЛДУБЖД, 2022. 231 с.

ґрунтове середовище, що може істотно змінювати хімічні характеристики ґрунтів і впливати на біотичні компоненти екосистем[671].

Побудована картографічна модель вмісту Fe дозволила виявити просторову диференціацію забруднення та локалізувати ділянки з підвищеним його накопиченням (рис. 3).

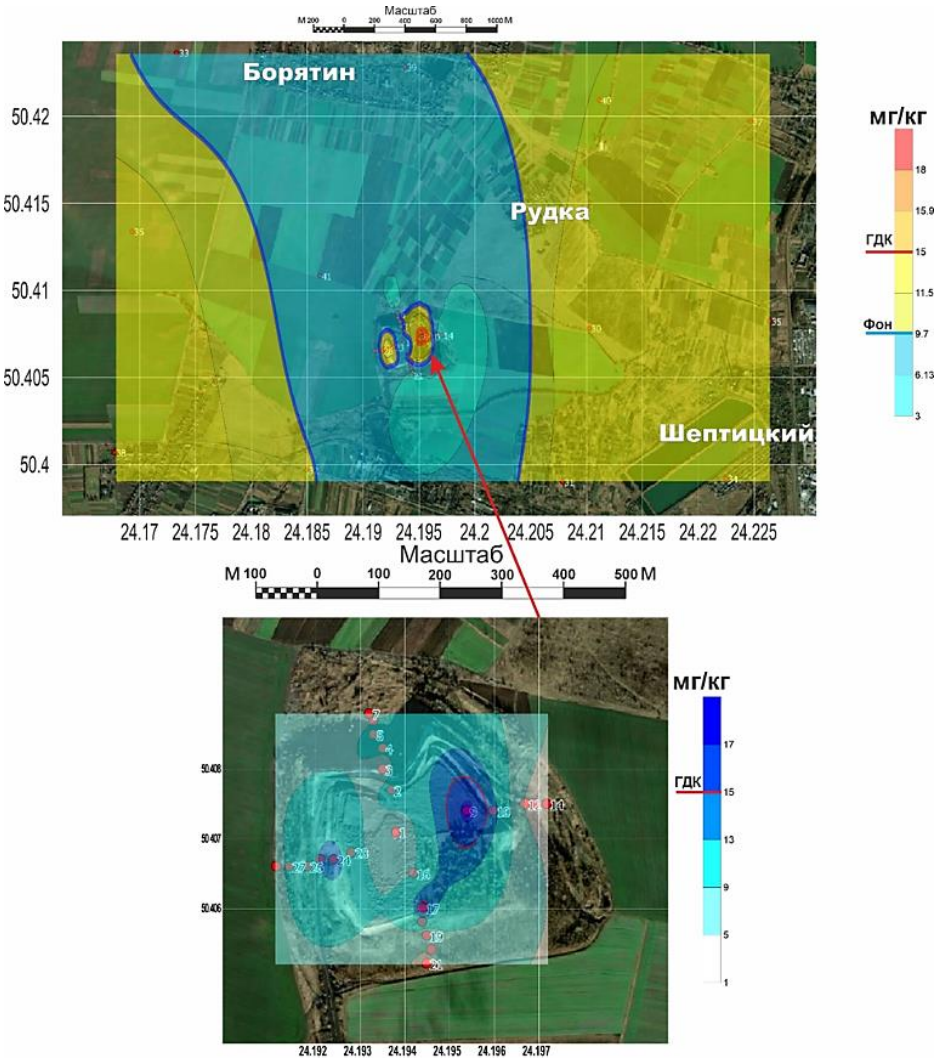


Рисунок 3. Просторовий розподіл заліза (Fe) у ґрунтах досліджуваної території

Просторовий аналіз вмісту заліза (Fe) у ґрунтах досліджуваної ділянки виявив локалізовані зони його підвищеної концентрації, переважно в межах центральної частини терикону та прилеглих схилів. Такий розподіл може бути зумовлений мінералогічними особливостями відвальних порід та тривалим впливом атмосферних факторів, що сприяють вивільненню й переміщенню залізовмісних сполук у ґрунтове середовище.

Наступним об’єктом просторового аналізу став кадмій (Cd) — один із найбільш токсичних важких металів, здатний спричиняти значну екологічну шкоду навіть за мінімальних концентрацій. Його потрапляння у ґрунтове середовище створює ризики для біоти через можливість включення в трофічні ланцюги. Основними джерелами забруднення є техногенні породи з вмістом промислових

[671] Босак П. В., Стокалюк О. В., Корольова О. Г., Попович В. В. Управління екологічною безпекою у проектах розвитку гірничопромислових комплексів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2020, № 22. С. 5–11. *https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.01*

домішок та сполук кольорових металів. Просторова модель розподілу Cd дозволила ідентифікувати локалізовані ділянки з підвищеним вмістом елементу, що вказує на точковий характер забруднення (рис. 4).

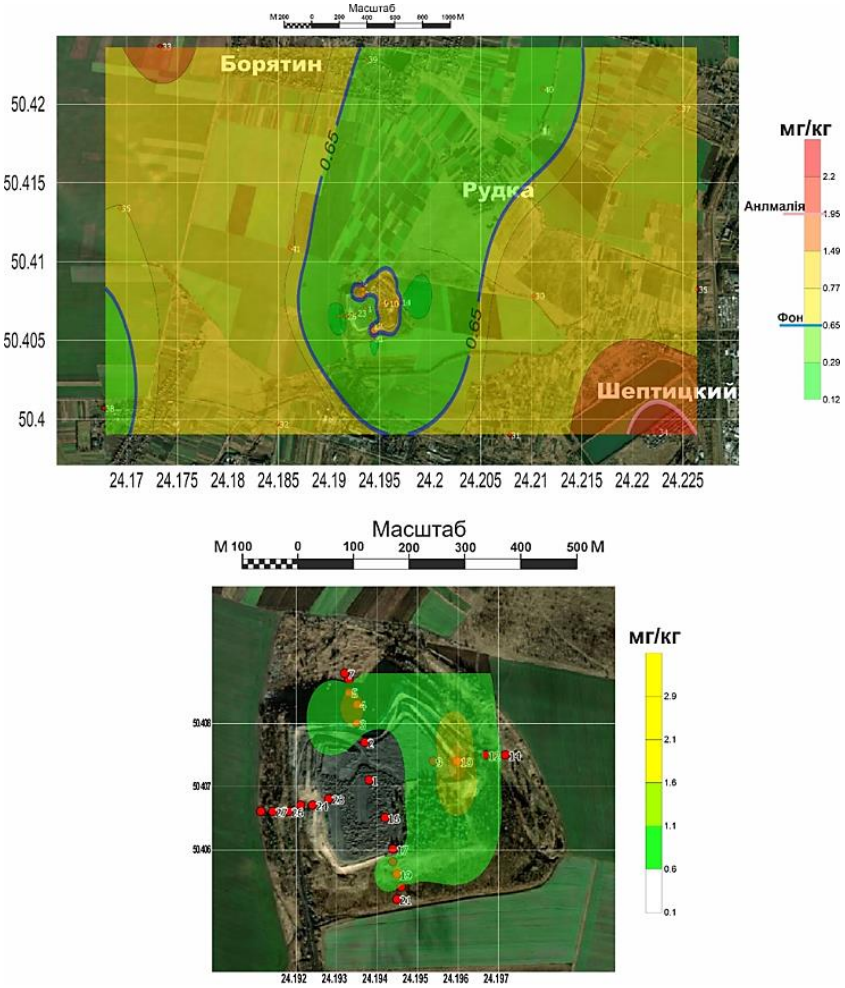


Рисунок 4. Просторовий розподіл кадмію (Cd) у ґрунтах досліджуваної території

Просторовий розподіл кадмію (Cd) засвідчує локалізацію його підвищених концентрацій у центральній частині терикону, з акцентом на східні та південні схили.

Незважаючи на те, що зафіксовані значення не перевищують гранично допустимих концентрацій, вони істотно перевищують фонові рівні, що свідчить про наявність техногенного навантаження. Такий характер розподілу зумовлений вертикальною і горизонтальною міграцією елементу, обумовленою поверхневим стоком і вітровою ерозією порід[672].

Аналіз просторового розподілу свинцю (Pb), оскільки він демонструє чітко локалізовану зону підвищених концентрацій, обмежену територією терикону та прилеглими схилами (рис. 5).

[672] Кучерявий В. П. Фітогенне поле і фітомеліорація: питання теорії та практики. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. Т. 26, № 7. С. 15–24. *https://doi.org/10.15421/40260714*

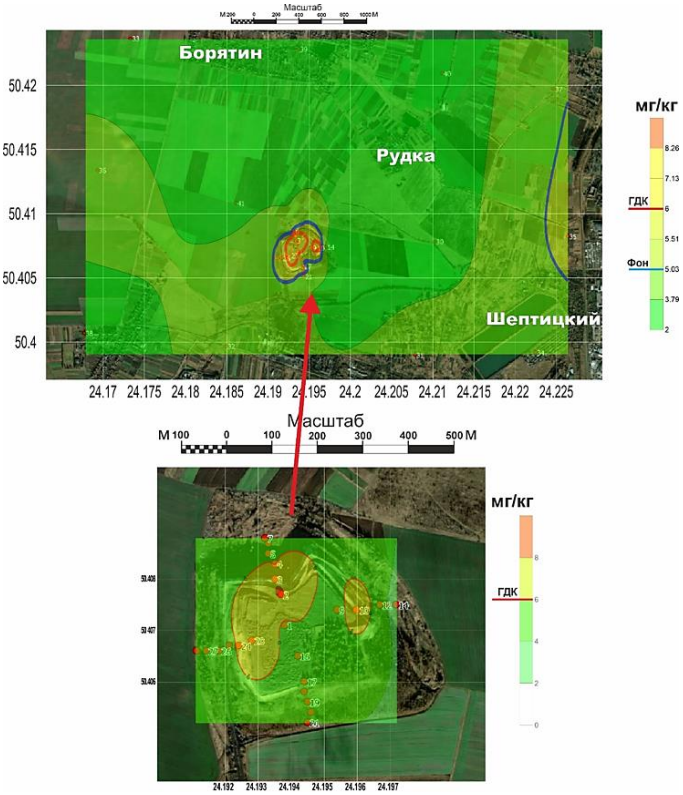


Рисунок 5. Просторовий розподіл свинцю (Pb) у ґрунтах досліджуваної території

Найінтенсивніше накопичення спостерігається на південно-західному схилі, де концентрації перевищують як фонові показники, так і встановлену гранично допустиму концентрацію. Такий розподіл, імовірно, зумовлений поєднанням історичних факторів техногенного навантаження та природних процесів сорбції металів у ґрунтовому профілі. З огляду на високу токсичність і здатність свинцю до біоакумуляції, виявлені значення потребують подальшого моніторингу в рамках програм фіторекультивації[673,674].

На основі отриманих значень сумарного показника забруднення (Zc) було побудовано картосхему просторового розподілу інтегрального забруднення ґрунтів, що дозволяє візуалізувати екологічну ситуацію в межах досліджуваної території (рис. 6).

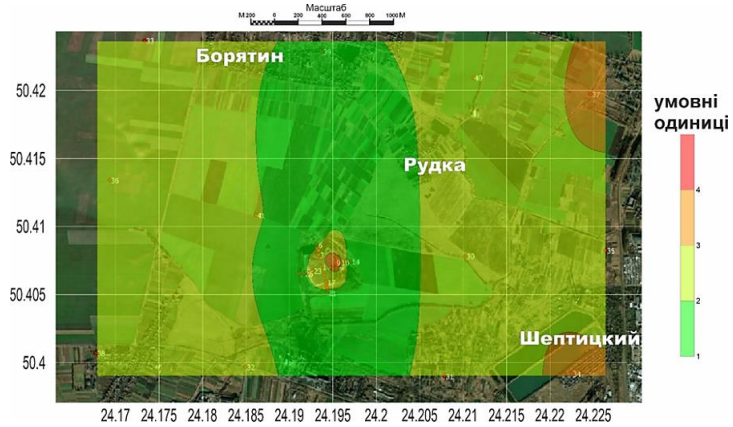


Рисунок 6. Сумарний показник забруднення ґрунтів терикону

[673] Піндер В. Ф., Попович В. В., Босак П. В. Рекультиваційні заходи зниження техногенного впливу породних відвалів вугільних шахт на довкілля EcoLab. Том 2 : монографія. Львів : ЛДУБЖД, 2023. 245 с.

[674] Попович В. В., Волощишин А. І. Екологічні особливості формування фітомеліоративного вкриття на териконах вугільних шахт. Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України : Зб. матеріалів І Всеукр. наук. конф. Миколаїв : Видавець Торубара В.В., 2018. С. 86–87

На основі результатів просторового аналізу встановлено, що ґрунти в зоні впливу терикону належать до категорії допустимого забруднення. Хоча концентрації окремих елементів перевищують фонові значення, більшість із них залишаються в межах гранично допустимих концентрацій. Це свідчить про збереження екологічної функціональності ґрунту та можливість проведення контрольованих фітомеліоративних заходів.

Підвищені концентрації свинцю та кобальту, зафіксовані в окремих точках, вказують на екологічну небезпеку локального рівня та необхідність пріоритетного моніторингу в цих ділянках. Отримані дані формують основу для подальшого оцінювання фітотоксичності та планування заходів з екологічної реабілітації порушених ландшафтів.

Просторовий аналіз гідрохімічного складу стічних вод породного відвалу

Формування техногенних ландшафтів у межах вугільнодобувних регіонів супроводжується появою поверхневих і фільтраційних вод, що контактують із відвальними масами. У результаті інфільтрації атмосферних опадів та фільтрації крізь породи відбувається вилуговування хімічних елементів, передусім потенційно токсичних металів, що змінює гідрохімічний склад дренажних вод[675].

Актуальність моніторингу таких процесів зумовлена нестачею ефективних стратегій управління якістю водного середовища у гірничопромислових районах. Екологічний аналіз гідрохімічних показників дає змогу не лише оцінити ступінь забруднення, а й виявити джерела токсичних компонентів та обґрунтувати необхідні заходи з мінімізації їхнього впливу.

У межах дослідження було проаналізовано фізико-хімічні показники стічних вод, сформованих на поверхні досліджуваного породного відвалу. Визначення вмісту основних хімічних елементів якімали максимальні показники (Fe, Mn, Ca, Mg, K) здійснювалось за стандартними методиками на базі лабораторії БУВРу.

Екологічне оцінювання якості стічних вод здійснювалась шляхом відбору проб на визначених геоекологічних полігонах (рис. 7), а також з урахуванням аналітичних даних, наданих іншими установами та організаціями.

Проби води відбирались у чотирьох основних точках (північна, південна, західна та східна частини терикону), що дозволило оцінити вплив морфології об’єкта на інтенсивність забруднення. Просторове картографування гідрохімічних параметрів дало змогу ідентифікувати осередки найбільшого навантаження, встановити напрямки міграції токсичних компонентів та визначити зони потенційного екологічного ризику для прилеглих екосистем.

Результати дослідження свідчать про активні геохімічні процеси, зумовлені вивітрюванням, окисненням мінералів та вилуговуванням порід, що призводить до утворення характерного гідрохімічного профілю з ознаками техногенного впливу.

Для візуалізації просторового розподілу концентрацій забруднюючих речовин у стічних водах було створено серію тематичних карт, які відображають поширення окремих хімічних елементів у межах досліджуваних ділянок.

[675] Попович В.В. Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період, *Науковий вісник НЛТУ України*, 19.3, 2009. С. 37–42.



Рисунок 7. Карта локалізації точок відбору проб стічних вод у межах досліджуваної території

Побудова карт просторового розподілу хімічних елементів у стічних водах здійснювалась за тією ж методикою, що й для ґрунтів, із використанням системи ГІС-аналізу.

Візуалізація просторового розподілу марганцю (Mn) у складі стічних вод проводилась з урахуванням фонового рівня та граничних значень, що визначають межі аномального накопичення. Побудовані ізолінії демонструють чітку градацію концентрацій — від фонового навантаження до критичних значень. Просторовий розподіл свідчить про активну міграцію металу з масиву терикону в поверхневе водне середовище, що створює потенційну загрозу для екосистем і потребує подальшого контролю в межах екологічного моніторингу (рис. 8).

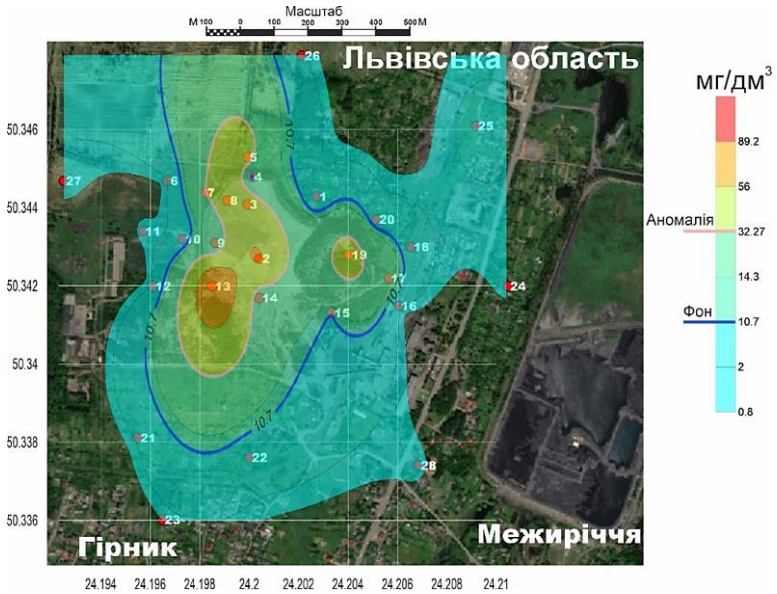


Рисунок 8. Просторовий розподіл марганцю (Mn) у стічних водах досліджуваного терикону

Наступним елементом, вміст якого було досліджено у стічних водах території впливу терикону, є калій (K). Просторова модель розподілу концентрацій калію дозволяє виявити рівень його накопичення на території впливу терикону, а також визначити потенційні напрямки міграції зони забруднення (рис. 9).

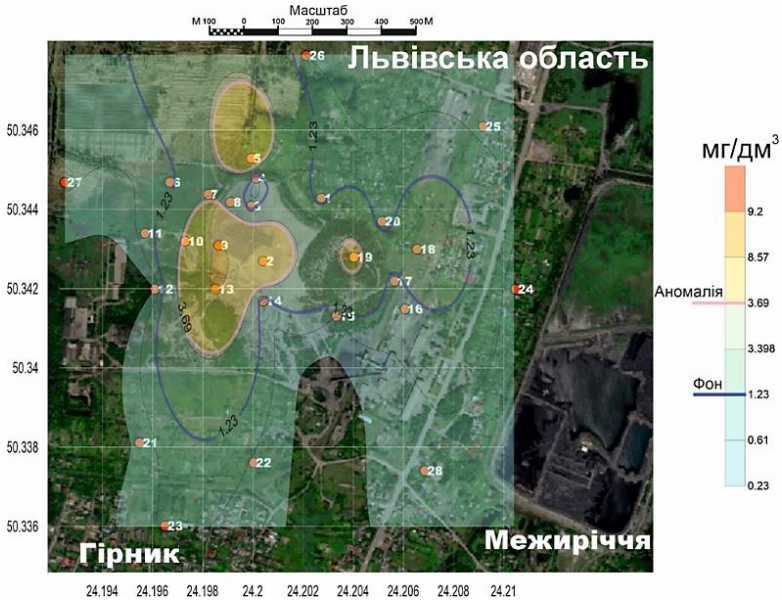


Рисунок 9. Просторовий розподіл калію (K) у стічних водах досліджуваного терикону

Картографічна модель концентрацій калію (K) дозволила виокремити зони з локальними перевищеннями над регіональним фоном, що вказує на наявність техногенних аномалій. Просторове накладання результатів на супутникові знімки забезпечило точну ідентифікацію географічного положення забруднених ділянок і дало змогу визначити потенційні напрямки міграції елементу в межах гідрологічної структури території.

Наступним елементом оцінювання у складі стічних вод, є магній (Mg). Просторовий розподіл магнію (Mg) у складі стічних вод демонструє виражену нерівномірність із локальними зонами концентрації, що суттєво перевищують фонові значення (рис. 10).

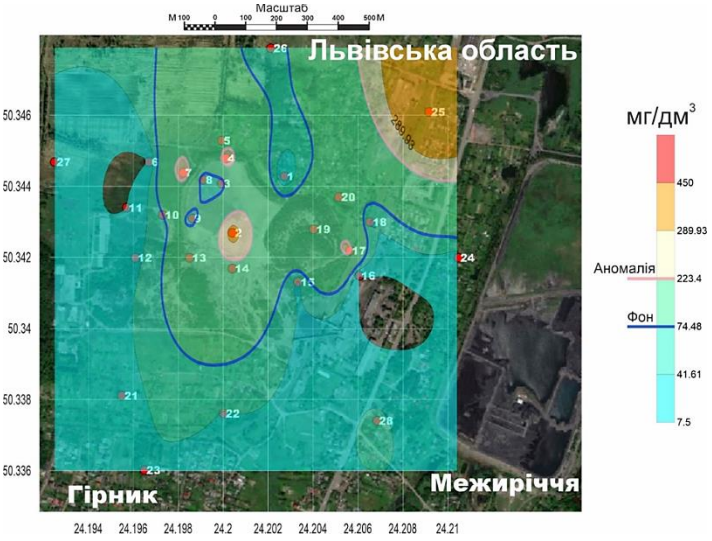


Рисунок 10. Просторовий розподіл магнію (Mg) у стічних водах досліджуваного терикону

Найбільш інтенсивне накопичення зафіксовано в центральній та північно-східній частинах відвалу, що свідчить про техногенне походження елементу внаслідок гідродинамічної міграції розчинених форм. У південних секторах території вміст магнію є відносно стабільним і наближається до природного фону. Виявлені аномалії, імовірно, пов’язані з фільтраційними потоками, які спрямовують забруднювачі в напрямку прилеглих територій.

Просторовий розподіл кальцію (Ca) у стічних водах демонструє концентрацію підвищених значень у центральній частині території, що межує з тілом терикону (рис. 11). Поступове зниження вмісту елементу в напрямку периферії вказує на характерне для техногенних ландшафтів розсіювання забруднення. Джерелом надходження кальцію, ймовірно, є вилуговування легкорозчинних карбонатних і сульфатних сполук з порід відвалу, що активізується під впливом атмосферної вологи та інфільтраційних процесів. Надмірна концентрація кальцію у водному середовищі може порушувати кислотно-лужну рівновагу, що негативно впливає на життєдіяльність водних організмів. У разі потрапляння таких вод на поверхню ґрунту можливе виникнення процесів луговіння, зміна структури ґрунтового профілю та зниження його агровиробничої якості[676].

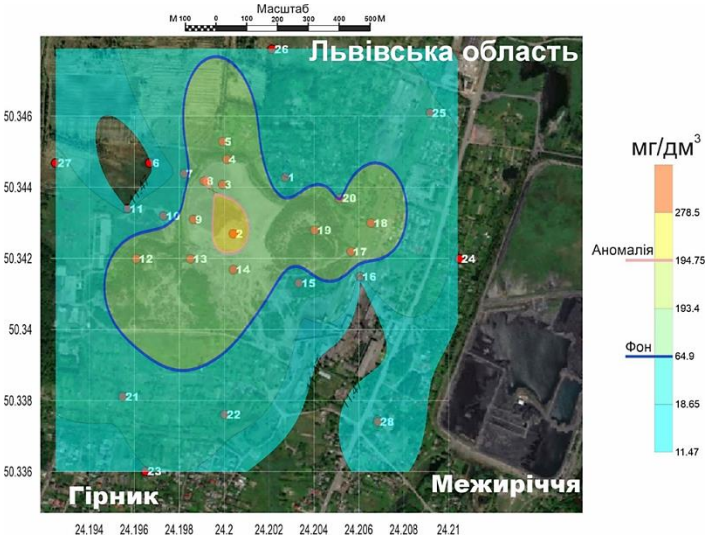


Рисунок 11. Просторовий розподіл кальцію (Ca) у стічних водах досліджуваного терикону

Аналогічно для проб стічних вод також був здійснений розрахунок сумарного показника забруднення (Zc), та побудованого сумарну карту поширення забруднення, що дозволяє оцінити загальне техногенне навантаження за сукупністю вмісту кількох пріоритетних хімічних елементів (рис. 12).

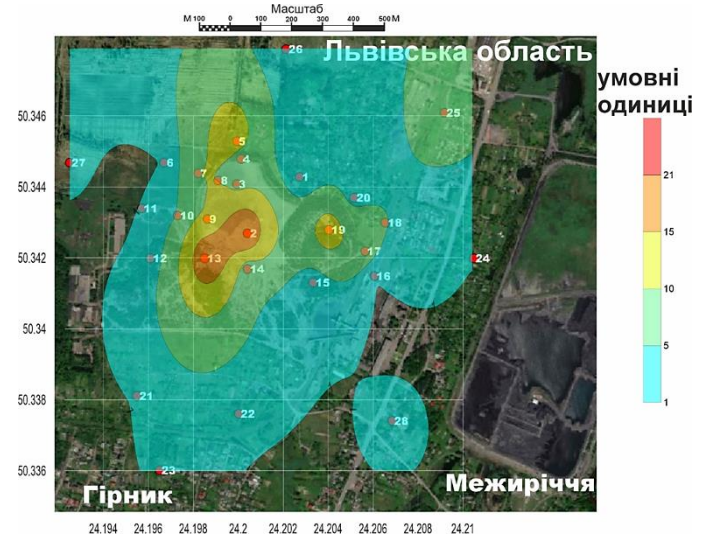


Рисунок 12. Сумарний показник забруднення стічних вод досліджуваного об’єкту

[676] Попович В.В. Полігони твердих побутових відходів у вироблених кар'єрах, ярах, траншеях і особливості їх фітомеліорації, *Науковий вісник НЛТУ України*, 22.11, 2012. С. 119–128.

Результати дослідження стічних вод, сформованих у зоні впливу породного відвалу, засвідчили суттєву просторову варіабельність вмісту хімічних елементів, що відображає неоднорідність джерел забруднення та складну геохімічну динаміку процесів. Найбільші відхилення від фонових значень виявлено для марганцю, магнію, кальцію та калію, що, ймовірно, пов'язано з процесами вилуговування елементів із відвальних мас і їх подальшою гідродинамічною міграцією.

Аналіз інтегрального показника забруднення (Zc) дозволив ідентифікувати ділянки з найбільш інтенсивним техногенним впливом. Просторові моделі розподілу елементів підтверджують наявність прямої залежності між рівнем забруднення водного середовища та морфологічними особливостями техногенних об'єктів. Отримані результати становлять наукову основу для визначення пріоритетних територій, що потребують природоохоронного втручання та планування рекультиваційних заходів.

Просторовий аналіз радіаційного фону в межах території впливу терикону

Одним із чинників техногенного навантаження, пов'язаного з вуглевидобувною діяльністю, є зміна природного радіаційного фону.

Під впливом вивітрювання, ерозійних і окисних процесів активізується міграція радіоактивних елементів, що зумовлює підвищення рівня радіаційного навантаження на прилеглі екосистеми. Сукупність геоморфологічних та гідрометеорологічних чинників формує умови для можливого локального перевищення природного γ-фону[677].

У межах дослідження здійснено вимірювання потужності еквівалентної дози γ-випромінювання на різних ділянках поверхні породного відвалу шахти та в зоні його впливу. Основна мета - виявити просторові закономірності поширення іонізуючого випромінювання та оцінити потенційні ризики для довкілля й населення прилеглих територій.

Для візуалізації просторового розподілу потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання у зоні впливу терикону побудовано картографічну модель на основі даних проведених вимірювань (рис. 13).



Рисунок 13. Просторовий розподіл потужності еквівалентної дози γ-випромінювання на території впливу породного відвалу

[677] Попович В.В., 'Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну': монографія. Львів: ЛДУБЖД, 2014. 173 с.

Картографічна модель потужності еквівалентної дози γ-випромінювання виявила локальні зони підвищеної радіаційної активності, переважно в центральній частині відвалу, що свідчить про техногенне навантаження. Водночас більшість виміряних значень залишаються в межах нормативів радіаційної безпеки. Зафіксовані перевищення носять локальний характер і не мають тенденції до просторового поширення. Порівняння з природним фоном сусідніх територій підтверджує відносну стабільність радіаційної ситуації на більшості ділянок.

Проективне покриття та фітоценотична характеристика поверхні породного відвалу

З метою комплексної екологічної оцінки стану деградованих техногенних ландшафтів, важливим етапом дослідження є аналіз рослинного покриву, який слугує біоіндикатором стабільності екосистеми. Оцінювання проективного покриття поверхні породного відвалу дозволяє визначити ступінь природного самовідновлення, типи угруповань та рівень фітомеліоративного потенціалу території. Дослідження проводилось на різних експозиціях схилів терикону, що дало змогу порівняти фітоценотичну структуру залежно від орографічних та мікрокліматичних умов.

З метою візуалізації особливостей розподілу рослинного покриву на досліджуваному териконі, було побудовано карту просторового розподілу проективного покриття, що дозволяє оцінити рівень фіторозвитку в межах техногенно порушеної території (рис. 14).

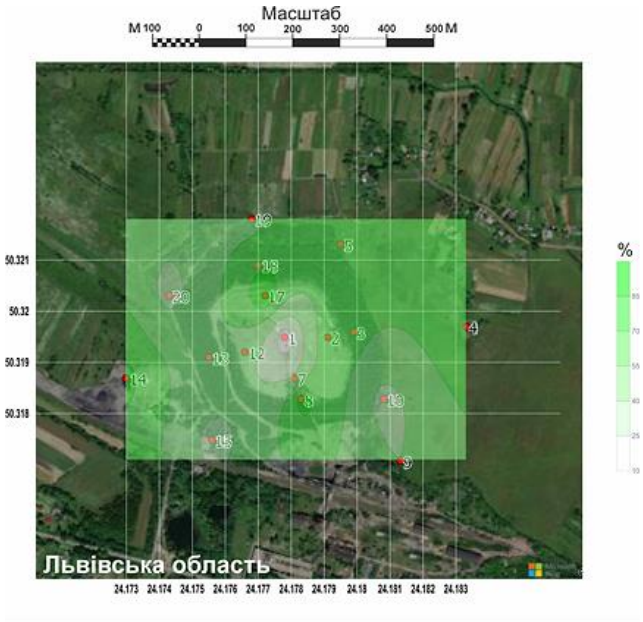


Рисунок 14. Просторовий розподіл проективного покриття рослинності на території досліджуваного породного відвалу

На карті зображено просторовий розподіл проективного покриття рослинності (%) з диференціацією за кольоровою шкалою — від низьких значень (<25 %) до високих (>85 %). Найвищі показники зосереджені в центральній частині породного відвалу, що свідчить про більш сприятливі умови для формування рослинного покриву. Периферійні ділянки, де зафіксовано мінімальні значення, ймовірно зазнають впливу ерозійних процесів, ущільнення субстрату чи підвищеної мінералізації.

Застосування картографічного підходу дозволяє виявити локальні зони з високим фітомеліоративним потенціалом, а також ділянки ризику подальшої деградації. Така візуалізація є ефективним інструментом оцінювання екологічного стану території та планування заходів з фіторекультивації.

Коефіцієнт фітомеліоративної ефективності як інтегральний показник стану рослинного покриву

З метою кількісної оцінки екологічної ролі рослинного покриву на поверхні породного відвалу використано показник коефіцієнта фітомеліоративної ефективності (КФЕ). Цей індикатор дозволяє інтегрально відобразити фітореакцію біоценозу на умови субстрату та рівень техногенного навантаження, поєднуючи морфометричні характеристики рослин, щільність покриття й екологічну стійкість фітоценозу. Застосування КФЕ дає змогу порівняти фітомеліоративний потенціал різних ділянок відвалу та виявити пріоритетні зони для проведення реабілітаційних заходів.

Візуалізація результатів у вигляді тематичної карти дозволяє просторово інтерпретувати рівень фітосукцесійних процесів і визначити ділянки з найменшою екологічною стійкістю, які потребують першочергового втручання.

На основі отриманих результатів польових досліджень було створено картографічну модель просторового розподілу коефіцієнта фітомеліоративної ефективності (КФЕ) у межах зони впливу терикону (рис. 15).



Рисунок 15. Картографічна модель просторового розподілу коефіцієнта фітомеліоративної ефективності (КФЕ) рослинного покриву на території терикону

Отримана картографічна модель розподілу значень КФЕ дала змогу виокремити зони з найнижчими показниками, які становлять екологічний пріоритет у контексті фіторекультиваційних заходів. Водночас виявлені ділянки з підвищеним КФЕ демонструють потенціал до ренатуралізації без залучення значних ресурсів.

Результати проведеного оцінювання фітомеліоративної ефективності рослинного покриву на поверхні породного відвалу засвідчили виражену просторову варіабельність рівня фітосукцесійних процесів. Максимальні значення КФЕ зафіксовані на контрольних ділянках за межами техногенного об’єкта, що свідчить про сприятливі природні умови для розвитку рослинності. Високі показники також відзначено на західних і північних схилах, де фіторозвиток відбувається інтенсивніше.

Натомість на вершинах терикону та його південному схилі КФЕ знижується, що пов’язано з несприятливими умовами для проростання: ущільненням субстрату, низькою аерацією та обмеженою водопроникністю.

Встановлений вплив морфологічних характеристик рельєфу, а також фізико-хімічних властивостей порід, підтверджує необхідність диференційованого підходу до рекультивації.

Розроблення рекомендацій щодо підвищення рівня екологічної безпеки

На основі узагальнення результатів екологічного оцінювання території впливу породного відвалу було здійснено просторове зонування з урахуванням рівня деградації ландшафтів, інтенсивності техногенного навантаження.

Результатом стала картографічна модель, яка дозволяє виокремити ділянки з різним ступенем придатності до впровадження фіторекультиваційних заходів (рис. 16). Такий підхід є основою для формування диференційованих рекомендацій щодо реабілітації порушених екосистем і підвищення рівня екологічної безпеки у межах гірничопромислового району.

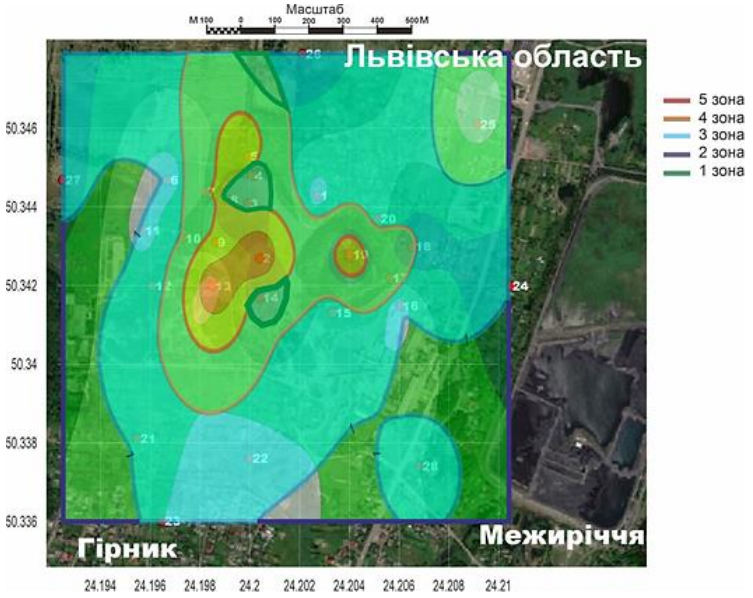


Рисунок 16. Картографічна модель зонування території за доцільністю впровадження фіторекультиваційних заходів у межах зони впливу терикону

На основі просторового аналізу та значень КФЕ виділено п’ять функціональних зон, кожна з яких потребує різного підходу до рекультивації.

Зона 5 (червона) охоплює найбільш деградовані ділянки з критично низькими значеннями КФЕ. У цій зоні спостерігається найвищий рівень техногенного навантаження, що вимагає впровадження інтенсивних фітомеліоративних заходів. Доцільним є використання адаптованих до екстремальних умов видів рослин з високою стійкістю до забруднення.

Зона 4 (помаранчева) характеризується значним екологічним порушенням, однак має ознаки часткової самовідновлюваності. Для цієї зони рекомендовано реалізацію комбінованого підходу — технічне вирівнювання мікрорельєфу, локальне вапнування, збереження вологи та покращення структури субстрату.

Зона 3 (жовто-зелена) є перехідною, з помірним рівнем порушення, де можливе застосування малозатратних методів рекультивації. Доцільно впроваджувати екстенсивні агротехнічні заходи, зокрема посів сидератів, застосування мульчі та стимуляцію природної фітосукцесії з мінімальним людським втручанням.

Зона 2 (блакитна) демонструє ознаки екологічної стабілізації та має високий потенціал до самовідновлення. Основним завданням є підтримка існуючого стану шляхом довгострокового

моніторингу. Доцільно формувати експериментальні ділянки для вивчення природних механізмів регенерації та збереження біорізноманіття.

Зона 1 (темно-зелена) представлена ділянками з високими значеннями КФЕ, які перебувають у задовільному екологічному стані. Тут фіксується активна природна сукцесія рослинності. Ці території доцільно зберігати у статусі контрольних еталонних ділянок, що можуть використовуватись для наукового супроводу та екологічного спостереження.

Таким чином, інтеграція результатів екологічного моніторингу, картографічного моделювання та фітоіндикаторного аналізу дозволила сформувати просторово диференційовану стратегію реабілітації території, порушеної діяльністю вугільної промисловості. Виділення функціональних зон відповідно до рівня деградації та показників КФЕ є ефективним інструментом для прийняття обґрунтованих рішень щодо типу та інтенсивності фіторекультиваційних заходів. Запропонована модель може бути адаптована для інших гірничопромислових регіонів України, що підвищує її прикладне значення в контексті екологічного управління деградованими ландшафтами.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження, обґрунтовано інтегральний підхід до екологічного оцінювання вугільних відвалів з урахуванням фізико-хімічних, біоіндикаційних, геоінформаційних та фітомеліоративних параметрів. Запропоновані методологічні підходи дозволили комплексно охарактеризувати екологічний стан територій, трансформованих вугільною промисловістю, та надати практичні рекомендації щодо їх відновлення.

Оцінювання рівня природної ренатуралізації з використанням коефіцієнта фітомеліоративної ефективності (КФЕ) дозволило визначити просторові закономірності фітоценотичного покриття та встановити ділянки з високим, середнім і низьким фіторекультиваційним потенціалом. Інтеграція результатів у геоінформаційну систему забезпечила побудову серії тематичних карт, які візуалізують рівень екологічної загрози, ступінь фітосукцесії та функціональне зонування території.

Розроблена картографічна модель пріоритетного впровадження фіторекультиваційних заходів має важливе практичне значення для формування регіональних програм з екологічної реабілітації техногенно порушених ландшафтів. Запропоноване зонування сприяє ефективному плануванню природоохоронних дій відповідно до ступеня деградації території та її потенціалу до відновлення.

Отримані результати є науковим підґрунтям для вдосконалення екосистемного підходу в управлінні посттехногенними ландшафтами та можуть бути використані органами місцевого самоврядування, екологічними службами й землекористувачами під час розробки планів рекультивації, оцінювання ризиків та моніторингу стану довкілля у гірничопромислових регіонах.

АСПЕКТИ МОНІТОРИНГУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТА РАДІОНУКЛІДІВ В ГІДРОБІОНТАХ ТА АБІОТИЧНИХ КОМПОНЕНТАХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПРИДНІПРОВ'Я ЯК ЕЛЕМЕНТ БІОБЕЗПЕКИ

ASPECTS OF MONITORING OF HEAVY METALS AND RADIONUCLIDES IN HYDROBIONTS AND ABIOTIC COMPONENTS OF AQUATIC ECOSYSTEMS AS AN ELEMENT OF BIOSAFETY

Роман Новіцький, завідувач кафедри водних біоресурсів та аквакультури, e-mail: novitskyi.r.o@dsau.dp.ua, Дніпровський державний аграрно-економічний університет,

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9373-5759

Валентина Сапронова, доцент кафедри клінічної діагностики та внутрішніх хвороб тварин, e-mail: sapronova.v.o.@dsau.dp.ua, Дніпровський державний аграрно-економічний університет,

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0063-5773

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.22

Анотація. Дослідження вмісту важких металів у воді, донних відкладах та гідробіонтах (рибі) проводили на водних об'єктах (гідротехнічний канал Дніпро-Донбас) та рибогосподарських водоймах, водосховищах комплексного призначення (Дніпровське водосховище, Шолохівське водосховище) в 2015–2023 рр. Визначення концентрації важких металів (Pb, Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn, Hg), а також радіонуклідів (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) проводили на базі лабораторії НДЦ біобезпеки і екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського державного аграрно-економічного університету (ДДАЕУ), а також на базі Української лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України та Дніпропетровської регіональної державної лабораторії Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. Вміст металів досліджували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Вміст важких металів та радіонуклідів вимірювали у 7 видах риб. Відбір проб, камеральну та статистичну обробку матеріалу проводили за стандартними гідрохімічними, гідробіологічними та іхтіологічними методиками. Вміст важких металів визначали у м'язах риб. Якість води оцінювали згідно із загальними вимогами та нормами для водойм рибогосподарського призначення.

Вода у гідротехнічному каналі Дніпро-Донбас характеризується підвищеними показниками вмісту важких металів. Із 6 досліджених важких металів не перевищена ГДК тільки для плюмбуму (0,40 мг/дм^3). Встановлено, що гідротехнічні заходи впливають на рівень мінералізації у водоймі: у воді відбуваються процеси міграції солей, значно знижується рівень сульфатів і хлоридів. Проведення гідротехнічних заходів впливає на рівень сапробності у водоймах, призводить до значного збільшення рівню кисню у воді. У воді канала до прокачування спостерігається підвищений вміст ^{90}Sr, хоча у організмі риб (карась сріблястий *Carassius gibelio*, товстолобик білий *Hypophthalmichthys molitrix*, амур білий *Ctenopharyngodon idella*, короп *Cyprinus caprio*, лящ *Abramis brama*) вміст радіонуклідів (^{137}Cs, ^{90}Sr) залишається в межах допустимих норм. Після прокачування води вміст радіонуклідів зменшується в 9,7 раз. Рибна продукція у каналі «Дніпро-Донбас» за радіоекологічними показниками є безпечною.

Для риб Дніпровського водосховища вміст більшості важких металів був підвищеним. У м'ясі пелагічної плітки R. rutilus тільки вміст купруму був у межах норми (1,56 мг/кг), всі інші 6 важких металів перевищували нормативи ГДК. У м'ясі бентофага C. gibelio підвищені рівні накопичення ВМ відзначалися для Mn, Fe, Pb, Ni, а для Zn, Cu, Cd показники їх вмісту знаходилися у межах

нормативу. У м'ясі окуня річкового P. fluviatilis найбільший вміст ВМ відзначений для Fe (80,54 мг/кг), підвищені показники – для Mn, Zn, Pb, Ni.

Отримані результати свідчать, що гідроекосистема Дніпровського водосховища, на відміну від інших водних об'єктів регіону, є значно забрудненою важкими металами. Це адекватно відобразилося на рівнях накопичення ВМ в організмі риб різних екологічних груп – пелагічних рослиноїдних, придонних бентофагів, хижаків.

Ключові слова: Придніпров'я, важкі метали, радіонукліди, рибогосподарські водойми, Дніпровське водосховище, канал Дніпро-Донбас, Шолохівське водосховище, вода, мул, риба, накопичення полютантів.

Abstract. Research on the content of heavy metals in water, bottom sediments, and hydrobionts (fish) was conducted at various water bodies (Dnipro-Donbas hydraulic canal), fishery ponds and multipurpose reservoirs (Dnieper reservoir, Sholokhivske reservoir) from 2015 to 2023. The determination of heavy metal concentrations (Pb, Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn, Hg) and radionuclides (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) was carried out at the laboratory of the Research Center for Biosafety and Environmental Monitoring of Agricultural Resources of Dniprovskiy State Agricultural and Economic University (DSAEU), as well as on the basis of the Ukrainian Laboratory of Quality and Safety of Agricultural Products of the NUBiP of Ukraine and the Dnipropetrovsk Regional State Laboratory of the State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection.

The metal content was analyzed using atomic absorption spectrophotometry. The content of heavy metals and radionuclides was measured in 6 fish species. Sample collection, data processing, and statistical analysis were conducted according to standard hydrochemical, hydrobiological, and ichthyological methods. The heavy metal content was determined in the muscles of fish. Water quality was assessed according to general requirements and standards for fishery water bodies.

The water in the Dnipro-Donbas hydrotechnical canal is characterized by high levels of heavy metals. Of the 6 investigated heavy metals, the MPC was not exceeded only for lead (0.40 mg/dm^3). It was established that hydrotechnical arrangements affect the level of mineralization in the reservoir: there are processes of salts migration in the water, the level of sulfates and chlorides significantly decreases. The carrying out of hydrotechnical arrangements affects the level of saprobity in the reservoirs, which leads to a significant increase of the oxygen level in water.

In the channel water before pumping a high content of ^{90}Sr is observed, although in the organisms of fish (Prussian carp *Carassius gibelio*, silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*, grass carp *Ctenopharyngodon idella*, carp *Cyprinus carpio*, common bream *Abramis brama*) the content of radionuclides (^{137}Cs, ^{90}Sr) remains within permissible levels. After pumping water, the content of radionuclides decreases by 9.7 times. Fish products in the «Dnipro-Donbas» channel are safe by radioecological indicators.

For fish from the Dniprovske reservoir, the content of most heavy metals was elevated. In the meat of pelagic roach (R. rutilus), only copper content was within the norm (1.56 mg/kg), while all other 6 heavy metals exceeded the MPC. In the meat of benthophagous Prussian carp (C. gibelio), elevated levels of accumulation of heavy metals were observed for manganese, iron, lead, and nickel, while zinc, copper, and cadmium content were within the standards. In the meat of European perch (P. fluviatilis), the highest content of heavy metals was observed for iron (80.54 mg/kg), with elevated levels observed for manganese, zinc, lead, and nickel.

The obtained results indicate that the hydroecosystem of the Dniprovske reservoir, unlike other water bodies in the region, is significantly polluted with heavy metals. This is adequately reflected in the levels of heavy metal accumulation in the organisms of fish from different ecological groups - pelagic herbivores, benthophagous bottom-feeders, and predators.

Keywords: Dnipropetrovsk region, heavy metals, radionuclides, fishery reservoirs, Dniprovske Reservoir, Dnipro-Donbas Canal, Sholokhivske Reservoir, water, sediment, fish, accumulation of pollutants.

1. ВСТУП

Загально відомо, що на сучасний стан довкілля велике навантаження спричиняє діяльність людини. Одним з аспектів цієї діяльності, а часто і наслідками її, є забруднення довкілля різними хімічними сполуками – важкими металами, пестицидами, фенолами, синтетичними поверхнево активними речовинами (СПАР) тощо. Хімічне забруднення довкілля представляє собою зміну природних хімічних властивостей води за рахунок збільшення вмісту шкідливих речовин або домішок як неорганічної (важкі метали, мінеральні солі, кислоти, луги та інші шкідливі речовини), так і органічної природи (нафта та нафтопродукти, органічні розчинники, синтетичні поверхнево активні речовини, пестициди, феноли)[678]. Часто використовується міжнародний термін для визначення токсикантів: «*потенційно небезпечні токсичні хімічні речовини* (ПНТХР)». Внаслідок появи токсичних речовин вода набуває негативних властивостей – стає отруйним для живого середовищем. Процес поширюється на донні відклади, прибережні ґрунти, завісі та гідробіонтів, що накопичують токсичні речовини в своїх органах та тканинах[679].

Важкі метали (ВМ) – хімічні елементи, що мають властивості металів, з атомними номерами від 22 по 92. Вони займають особливе місце у низці токсичних сполук, бо практично не вилучаються з екосистеми, одного разу потрапивши в неї. Особливістю важких металів є те, що вони не підлягають радіоактивному розпаду, як радіонукліди; не розпадаються і не деградують з часом як хімічні забрудники органічної природи, а лише змінюють форму існування, перерозподіляються та поступово накопичуються в різних абіотичних і біотичних компонентах гідроекосистеми. Однак необхідно зауважити, що у мікрокількостях важкі метали є природною і навіть необхідною складовою частиною живої клітини, за винятком ртуті, плюмбуму та кадмію[680].

Відомо, що рівні накопичення мікроелементів (як і взагалі металів) у органах та тканинах риб залежать від геохімічного складу середовища, типу водойми, функціонального стану організму та характеру харчових взаємовідносин. Концентруючи метали, гідробіонти синтезують життєво необхідні речовини у вигляді метало- та металоїдоорганічних сполук, таких як ферменти, вітаміни, гормони та ін. Синтез біологічно-активних сполук можливий тільки в певних межах концентрацій та співвідношень мікроелементів у організмі та середовищі. При підвищенні концентрацій металів у середовищі та харчових об’єктах ріст та розвиток спочатку зростають, а потім сповільнюються, знижується синтез біологічно-активних сполук, здатність до розмноження та імунобіологічні реакції організму. Завдяки своїй великій біологічній активності метали (мікроелементи) суттєво впливають на якість водного середовища та біоти, оскільки порушення балансу хімічних елементів у тканинах може в певній мірі служити одним із чинників, що стимулюють чи сповільнюють ріст та розвиток водних мешканців, і зокрема риби.

Значне підвищення концентрації ВМ у довкіллі, і, як наслідок, в тканинах водяних тварин і рослин, може досить негативно впливати на стабільність екосистеми водойми, так як багато мікроелементів при певних концентраціях діють як токсичні речовини. При концентраціях, що

[678] Reza R., Singh G. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2010. Vol. 7 (4). P. 785–792. DOI: 10.1007/BF03326187

[679] Брагінський Л.П. Теоретичні передумови (Загальні концепції токсикологічної гідроекології) / Гідроекологічна токсикометрія та біоіндикація забруднень: теорія, методика, практика використання. За ред. І. Т. Олексіва, Л. П. Брагінського. Львів: Світ, 1995. С. 7–40.

[680] Грициняк І. І., Колесник Н. Л. Біологічне значення та токсичність важких металів для біоти прісноводних водойм (огляд). *Рибогосподарська наука України*. 2014. № 2. С. 31–45. DOI:10.15407/fsu2014.02.03

перевищують нормальний вміст металів в органах та тканинах, зникає межа між їх «фізіологічною» та «нефізіологічною» дією. По мірі зростання концентрацій у водному середовищі та відповідно в живих організмах кожен елемент починає діяти як токсична речовина[681].

Великим та об'ємним джерелом постачання важких металів служать неочищені стоки промислових підприємств (гірничорудних та гірничо-збагачувальних, металургійних, хімічних та інших). В них знайдені і визначені досить значні кількості (десятки та сотні міліграмів на дм^3) нікола, хрому, плюмбуму, кадмію, цинку, купруму та інших металів. Ще більш високий їх вміст характерний для стічних вод і їх осадів. У водоймах важкі метали зазвичай сорбуються завислими часточками органічної та неорганічної природи і з ними та на них осідають иа дно, де можуть накопичуватись протягом десятків років[682].

Максимальною здатністю концентрувати ВМ характеризуються завислі часточки та донні відклади водойм, а потім організми планктону, бентосу та риба. Накопичення важких металів звичайно зростає в ряду: риби - ракоподібні - одноклітинні -водорості - бактерії. Гідробіонти переводять розчинні форми металів у завислі, використовують для побудови панцирів та скелетів, накопичують для формування м'яких тканин, переводять у різні метал-органічні сполуки. При відмиранні організмів частина тканин розкладається (природна деструкція), виділяючи у воді органічні та мінеральні сполуки, в тому числі і важкі метали.

Риби є важливою ланкою в неперервному колообігу мікро- та макроелементів – металів водойми, які належать до групи незамінних для нормальної життєдіяльності живих організмів. Ці елементи (купрум, цинк, ферум, магній, манган, кобальт, хром та інші) відіграють важливу роль у фізіологічних та біохімічних процесах в організмах[683][684][685].

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

В 2015–2023 роках здійснювали дослідження вмісту важких металів та радіонуклідів у воді, донних відкладах та гідробіонтах (рибі) на водних об'єктах (гідротехнічний канал Дніпро – Донбас), рибогосподарських водоймах Придніпров'я, а також водосховищах комплексного призначення (Дніпровське водосховище, Шолохівське водосховище) (рис. 1). Також відбір зразків води здійснювали на Кам'янському водосховищі поблизу аванкамери каналу «Дніпро-Донбас»; на Головній водозабірній споруді (ГВС), до та після 12 насосних станцій по трасі каналу (всього 24 зразка), на Краснопавлівському водосховищі. Після прокачування води по всій трасі каналу у липні 2018 року здійснили повторний відбір зразків на вищезазначених станціях. Всього відібрано і досліджено 50 проб води.

На всіх досліджених водоймах відбирали іхтіологічний матеріал (плітка звичайна *Rutilus rutilus*, окунь річковий *Perca fluviatilis*, карась сріблястий *Carassius gibelio*, плоскирка *Blicca bjoerkna*, товстолобик білий *Hypophthalmichthys molitrix*, амур білий *Ctenopharyngodon idella*, короп *Cyprinus caprio*, лящ *Abramis brama*).

Гідробіонтів вилучали із ставних сіток з вічком 40–70 мм, а також під час контрольно-біологічних обловів з використанням дрібновічкової (малькової) волокуші довжиною 15 м, із вічком у крилах 7 мм, в кулі – 3 мм. Для відлову використовували також дозволені любительські знаряддя лову: сіткопідйомник-«малявочниця» розміром 1×1 м, поплавочну (болонську снасть), донну вудку (фідер), спінінг.

---

[681] Nriagu J. O. Global metal pollution. *Environment*. 1990. Vol. 32. P. 6–21.
[682] Rabajczyk A. The relationship between metal forms found in river bottom sediments and land development (review). *Water pollution* / ed. Balkis N. Rijeka : InTech, 2012. P. 189–202.
[683] Linnik P. N. Heavy metals in surface waters of Ukraine: Their content and forms of migration. *Hydrobiological Journal.* 2000. Vol. 36, № 3. P. 31–54.
[684] Global mercury assessment. Issued by UNEP Chemicals. Switzerland: Geneva, 2002. 270 p.
[685] Sfakianakis D. G. Effect of heavy metals on fish larvae deformities: A review. *Environmental Research*. 2015. Vol. 137. P. 246–255. DOI: 10.1016/j.envres.2014.12.014

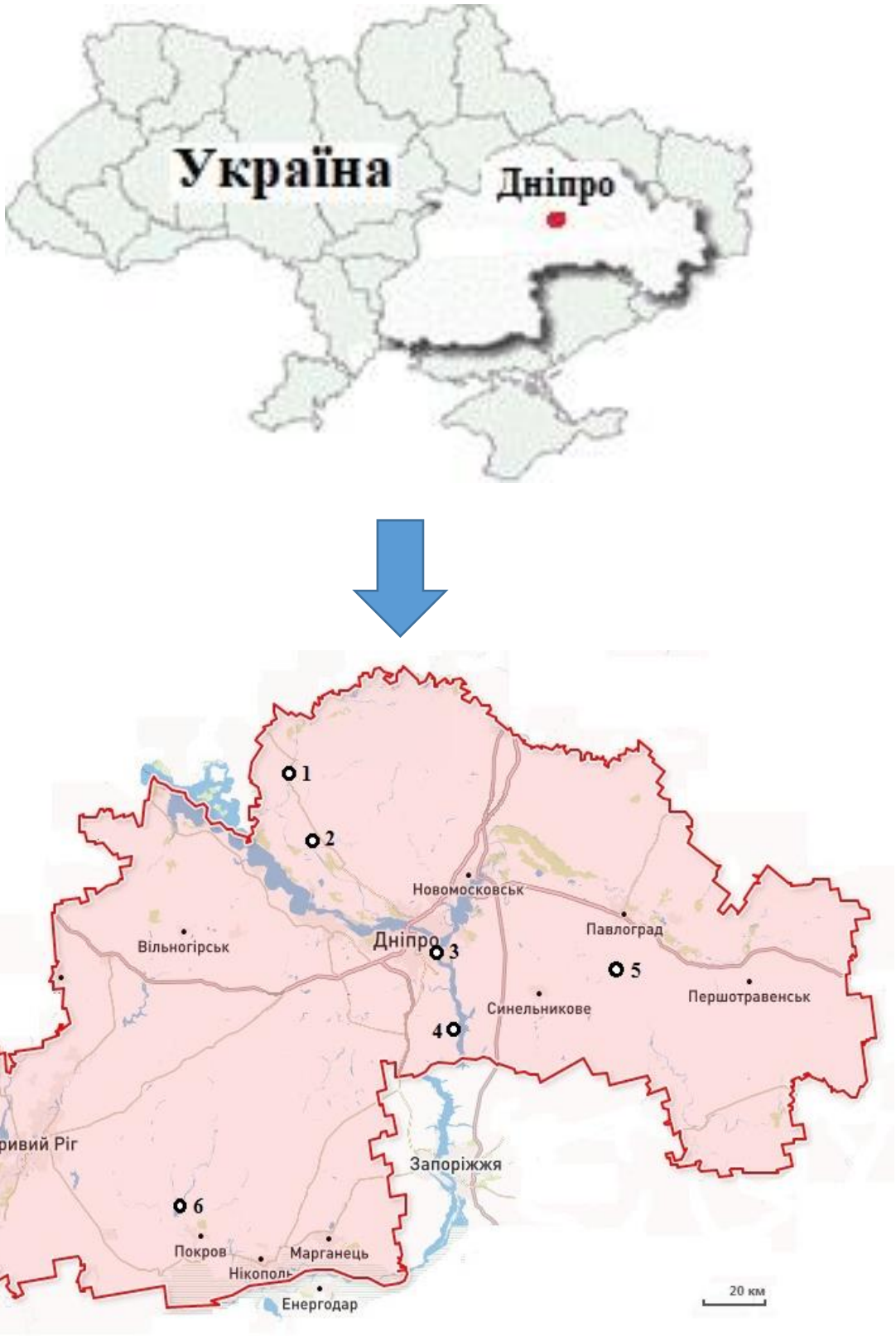


Рисунок 1. Місця відбору проб на водоймах Дніпропетровської області для визначення концентрацій важких металів: 1 – гідротехнічний канал Дніпро-Донбас; 2 – ставок ПрАТ «Петриківський рибгосп»; 3 – верхня ділянка Дніпровського водосховища (район о. Монастирський); 4 – середня ділянка Дніпровського водосховища (балка Башмачка); 5 – ставок ПрАТ «АгроСоюз»; 6 – Шолохівське водосховище (гирло р. Базавлучок).

Відбір проб проводили за стандартними методиками[686][687][688], камеральну та статистичну обробку матеріалу виконували відповідно до загальноприйнятих гідрохімічних, гідробіологічних та іхтіологічних методик[689] [690][691].

Для радіоекологічного аналізу відібрано по 5 екз. риб кожного виду (у середньому не менше 2,0 кг ваги). Визначали рівні вмісту радіонуклідів природного (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) і штучного (^{137}Cs, ^{90}Sr) походження у тканинах риб. Підготовку проб риби до спектрометричного аналізу проводили згідно загальноприйнятих методик[692]. Визначення радіоактивності риби проводили за допомогою сцінстіляційного спектрометру «Сег-001 «АКП-С», для обробки спектрів користувалися пакетом програмного забезпечення АК-1. Діапазон вимірювання спектрометру – 50–3000 кеВ (що дозволяє забезпечити радіоекологічний контроль в об'єктах навколишнього середовища згідно з нормативами ДР-2006).

Визначення концентрації важких металів (Pb, Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn) у воді, донних відкладах, м'язах риб проводили на базі лабораторії Науково-дослідного центру біобезпеки і екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Вміст металів досліджували методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Для цього попередньо проводили відповідну пробопідготовку: зразки води, донних відкладень і м'яких тканин (м'язів) риби, відібраних з декількох її частин, висушували до сухого залишку при температурі +95 ± 5 °С. Після цього проводили суху мінералізацію наважок у муфельній печі при температурі 450 ± 5°С впродовж 10–12 год з подальшим розчиненням зольного залишку в розчині азотної кислоти. Ступінь поглинання світла проводили при характерних спектрах поглинання для кожного металу: *Mg* – 285,2 нм; *Fe* – 248,3 нм; *Zn* – 213,9 нм; *Cu* – 324,7 нм; *Pb* – 283,3 нм; *Mn* – 279,5 нм і *Cd* – 228,8 нм. Розрахунок вели за калібрувальним графіком, побудованим із використанням стандартних державних зразків складу розчинів.

Отриманий матеріал аналізували і піддавали статистичній обробці[693]. Якість води оцінювали згідно із загальними вимогами та нормами для водойм рибогосподарського призначення[694] [695].

[686] Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів із метою визначення лімітів промислового вилучення риб із великих водосховищ і лиманів України. Київ : ІРГ УААН, 1998. 47 с.
[687] Методика проведення визначення важких металів у рибі / За ред. С. М. Рижука, М. В. Лісового, Д. М. Бенцаровського. Київ: 2003. 64 с.
[688] Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / ред. В. Д. Романенко. Київ, 2006. 628 с.
[689] Bonar S. A., Hubert W. A., Willis D. W. Standard methods for sampling North American freshwater fishes. Bethesda, Maryland : American Fisheries Society. 2009. P. 335. https://doi. org/10.47886/9781934874103
[690] ДСТУ ISO 5667-4-2001. Якість води. Відбирання проб. Ч. 4. Настанови щодо відбирання проб із озер, штучних і природних водойм. К. : Держспоживстандарт України, 2004. 10 с.
[691] Інструкція з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу гідрометеорологічними станціями і постами // Затверджена Наказом Державної служби України з надзвичайних ситуацій України 19.01.2016 № 30, зі змінами, внесеними згідно з Наказом ДСНС України № 126 від 16.03.2016.
[692] ДСТУ ISO 10703-2001. Захист від радіації. Визначення об'ємної активності радіонуклідів методом гамма-спектрометрії з високою роздільною здатністю К. : Держспоживстандарт України, 2003. 15 с.
[693] Zar J. H. Biostatistical Analysis. 5th edn. NJ : Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2010. 960 p.
[694] ДСТУ 2284 : 2010. Риба жива. Загальні технічні вимоги. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 12 с. (Національний стандарт України).
[695] СОУ 05.01-37-385 : 2006. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми // Зміна № 1, затверджена Мінагрополітики України 10.06.2013 р.). Київ, 2013. 21 с.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Радіонукліди і важкі метали в екосистемі каналу Дніпро-Донбас. Гідротехнічний канал Дніпро-Донбас розпочав свою діяльність на початку 1980-х років в заплаві р. Оріль. Водогосподарський комплекс каналу, який підпорядкований Держводагентству України, здійснює перекидання частини водних ресурсів р. Дніпро для забезпечення маловодних районів Дніпропетровщини та Харківщини, а також промислових підприємств Донбасу дніпровською водою. Канал виконує також важливу функцію здійснення санітарно-компенсаційних попусків в р. Сіверський Донець і підтримання у нормі еколого-гідрологічного режиму (рис. 2).



Рисунок 2. Гідротехнічний канал Дніпро-Донбас: A) ділянка після ГВС; B) Краснопавлівське водосховище на трасі каналу; C) відбір іхтіологічних проб (притонення); D) іхтіологічна проба. *Фото Р. Новіцького*

З моменту побудови каналу і пуску його першої черги (1982 р.) відбулися негативні зміни у цій штучній гідроекосистемі: погіршення гідрологічного режиму, якості і санітарних характеристик води, замулення, заростання водною рослинністю тощо. В окремі роки влітку і взимку

спостерігалися явища задухи, періодично виникає «цвітіння» води[696]. Багаторічні дослідження каналів України свідчать про те, що процеси продукування надлишкової біомаси створюють серйозні біологічні перешкоди експлуатації каналів[697].

Гідрохімічний режим каналу Дніпро-Донбас визначається гідрохімічними показниками водних ресурсів Кам'янського водосховища у районі ГВС (головної водозабірної споруди), формуванням якості води по трасі каналу та режимом його прокачування.

Формування якості води у каналі обумовлено надходженням забруднюючих речовин ззовні, внутрішньоводоймищними процесами і біологічним забрудненням у результаті масового розвитку гідробіонтів. Відомо, що такі процеси самозабруднення і трансформації автохтонних і алохтонних забруднюючих речовин залежать від характеру екосистем та мають чітко виражену специфіку, яка обумовлена типом водного об'єкту[698].

Був оцінений вміст у воді каналу Дніпро-Донбас заліза, свинцю, кадмію, міді, цинку, стронцію, арсену та меркурію. Концентрації арсену, меркурію та свинцю незначні, відповідають за екологічною оцінкою першій категорії (табл. 1).

Вміст заліза не відрізняється до та після прокачування, цей мікроелемент розподілено рівномірно по трасі каналу і за його вмістом вода належить до другої категорії.

До найгіршої, сьомої, категорії можна віднести воду за вмістом кадмію, цинку та стронцію. Загалом за блоком специфічних елементів вода належить до п'ятої категорії, що характеризує якість води як «посередню, помірно забруднену» (див. табл. 1).

Зважаючи на значний вміст стронцію у воді каналу «Дніпро-Донбас» як до прокачування, так і після нього, були перевірені рівні накопичення радіонуклідів у рибній продукції каналу. Отримані результати свідчать, що вміст радіонуклідів у дослідних зразках риби не перевищує допустимих рівнів (табл. 2).

Зазначимо, що нормативи по основним дозоутворюючим радіонуклідам складають для ^{137}Cs – 150 Бк/кг, ^{90}Sr – 35 Бк/кг.

Насамперед відбувається розбавлення високомінералізованої води каналу, внаслідок чого загальна мінералізація зменшується удвічі, а вміст хлоридів – у три рази.

Завдяки розбавленню зменшується динаміка процесів евтрофікації, відбувається аерація водних мас при перемішуванні, що, безперечно, позитивно впливає на стан гідроекосистеми каналу Дніпро-Донбас.

У підсумку якість води за середніми значеннями показників *до* прокачування та *після* нього (див. табл. 1) належить до другого класу якості і може оцінюватися як «добра» та «чиста». Але зазначимо, що порівняльна екологічна оцінка якості води дозволяє відстежити тенденції змін: відповідно до характеристик субкатегорій вода *до* прокачування має тенденцію переходу до гіршого класу: з «доброї» у «задовільну» та «слабко забруднену».

[696] Гидробиология каналов Украинской ССР / О. П. Оксиюк, Г. Н. Олейник, Л. В. Шевцова и др. Киев: Наукова думка, 1990. 240 с.
[697] Васенко А. Г., Старко Н. В., Верниченко-Цветков Д. Ю., Пристинская А. С. Современное экологическое состояние канала Днепр-Донбасс в условиях его нерегулярной эксплуатации // Екологія промислового регіону: доповіді Міжнар. екол. форум «Довкілля для України». Донецьк: 2011. С. 183–185.
[698] Васильєва О. М., Новіцький Р. О., Губанова Н. Л., Горчанок А. В., Сапронова В. О. Динаміка якісних показників стану риби в каналі «Дніпро–Донбас» унаслідок сезонного прокачування. *Agrology*. 2019. 2 (2). С. 106–111. DOI: 10.32819/019015.

Таблиця 1

Екологічна оцінка якості води каналу Дніпро–Донбас за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії (літо 2018 р.) (за Васильєвою та ін., 2019)

Показники	Показники якості води															
	Fe, мкг/ дм^3		**Hg,** мкг/ дм^3		**Cd,** мкг/ дм^3		**Cu,** мкг/ дм^3		**Zn,** мкг/ дм^3		**Pb,** мкг/ дм^3		**As,** мкг/ дм^3		**^{90}Sr,** Ku/дм^3	
	величина	категорія	величина	категорія	величина	категорія	величина	категорія	величина	категорія	величина	категорія	величина	категорія	величина	категорія
Середнє значення до прокачування	57	2	<0,02	1	1,0	5	107	7	194	6	0,4	1	<0,02	1	30,5	5
Max 1 (максимальне значення до прокачування)	*142*	*4*	<0,02	1	*1,2*	*5*	*150*	*7*	*470*	*7*	*0,6*	*1*	<0,02	1	*165,2*	*7*
Середнє значення після прокачування	45	2	<0,02	1	–	–	–	–	–	–	–	–	<0,02	1	8,1	5
Max 2 (максимальне значення після прокачування)	*158*	*4*	<0,02	1	–	–	–	–	–	–	–	–	<0,02	1	*17,0*	*5*

Показники	**Екологічна оцінка якості води за специфічними показниками токсичної та радіаційної дії (I_3)**					
	підсумкові розрахунки			I_3		клас якості
	n_1	$\sum$	$X_{ср}$	категорія	субкатегорія	
Середнє значення до прокачування	8	28	3,5	4	3–4	II
Max 1 (максимальне значення до прокачування)	8	33	4,1	4	4	III
Середнє значення після прокачування	4	9	2,3	2	2(3)	II
Max 2 (максимальне значення після прокачування)	4	11	2,8	3	3(2)	II

Таблиця 2

Показники вмісту радіонуклідів у дослідних зразках риби з різних ділянок каналу Дніпро-Донбас (за Васильєвою та ін., 2019)

№ з/п	Вид риби	Місце відбору: ділянки каналу Дніпро-Донбас	Рівні накопичення радіонуклідів, Бк/кг				
			^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr
1.	Товстолобик білий *Hypophthalmichthys molitrix*	ділянка № 1б (Могильовська, осінь 2018 р.)	23,2	16,1	74,3	3,0	1,7
2.	Лящ *Abramis brama*		25,8	10,8	115,0	3,1	1,6
3.	Карась сріблястий *Carassius auratus gibelio*	ділянка насосної станції № 7 (вище сел. Перещепине, осінь 2016 р.)	22,8	48,4	70,5	3,1	1,2
4.	Товстолобик білий *Hypophthalmichthys molitrix*		67,8	75,4	71,9	1,9	<0,07
5.	Амур білий *Ctenopharyngodon idella*		57,5	66,1	80,0	1,6	0,12
6.	Короп *Cyprinus caprio*	ділянка вище НС № 10 (Орільків-ське водосховище, осінь 2018 р.)	46,4	14,6	100,0	2,5	1,0

Аналізуючи показники рівнів вмісту радіонуклідів у воді каналу і в організмі риб, необхідно зазначити, що вони залежать від концентрації у воді, кормових організмів, віку риб та періоду їх виведення з водної екосистеми.

Зазначимо, що після прокачування води на трасі каналу вміст радіонуклідів зменшується в 9,7 раз (з 165,2 до 17,0 Ku/дм^3). Найменші показники накопичення ^{137}Cs, і ^{90}Sr відзначаються для макрофітофага амура білого *Ctenopharyngodon idella* і мікрофітофага товстолобика білого *Hypophthalmichthys molitrix*, які з 2010 р. активно застосовуються як біомеліоранти на різних ділянках канала[699][700]. Отже, рибна продукція у каналі Дніпро-Донбас за радіоекологічними показниками є цілком безпечною.

Однак, особливу увагу потрібно звернути на максимальні значення показників, які у всіх трьох блоках переводять воду до гіршої категорії, а *до* прокачування – навіть до третього класу якості. Найгірші значення найчастіше трапляються у другій половині траси каналу (після сел. Перещепине).

Моніторинг радіонуклідів в екосистемі Дніпровського водосховища. Завдяки існуванню на теренах Придніпров'я дніпропетровської гідробіологічної наукової школи[701] систематичне вивчення рівнів радіоактивності води у водосховищах Дніпровського каскаду, в їх притоках, ставках та інших водоймах почались у 1961 р[702]. Саме у цей час було закладено основи нового наукового напрямку в Україні – прісноводної радіоекології, що вивчає закономірності міграції і біологічної дії радіонуклідів у водному середовищі. В Дніпропетровській області вже понад шістдесят років триває моніторинг природних та штучних радіонуклідів, у тому числі у водоймах регіону. Наприклад, щорічні моніторингові дослідження відбуваються на Дніпровському (Запорізькому) водосховищі.

За результатами досліджень 2018–2019 рр. встановлено, що у воді Дніпровського (Запорізького) водосховища триває процес міграції природних та штучних радіонуклідів, що впливає на стан водних біоресурсів. Максимальні рівні спостерігаються за β-активністю та накопиченням Cs-137, максимальна кількість Sr-90 накопичується у ляща звичайного *A. brama* (табл. 3).

Таблиця 3

Рівні накопичення радіонуклідів в рибах Дніпровського водосховища[703]
(Bq kg^{-1}, M ± m)

Види риб	Загальна ß-активність	Радіонукліди	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Плітка звичайна (*Rutilus rutilus*)	79.05 ± 2.66	0.39 ± 0.05	0.24 ± 0.02
Лящ звичайний (*Abramis brama*)	138.84 ± 4.20	15.10 ± 6.50	1.70 ± 0.27
Плоскирка (*Blicca bjoerkna*)	92.62 ± 3.60	2.54 ± 0.63	8.30 ± 1.20
Білий товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*)	101.22 ± 2.72	0.20 ± 0.01	37.50 ± 4.11
Короп (*Cyprinus carpio*)	58.08 ± 2.03	0.48 ± 0.12	0.60 ± 0.27
Судак звичайний *(Sander lucioperca)*	110.20 ± 6.10	5.22 ± 1.40	2.80 ± 0.23
Карась сріблястий (*Carassius gibelio*)	66.60 ± 1.20	0.12 ± 0.02	0.24 ± 0.01

[699] Новіцький Р. О., Кочет В. М., Христов О. О., Кузора В. Є. (2015). Сучасна характеристика іхтіофауни каналу «Дніпро-Донбас». *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.* Сер. Біологія. Вып. 25. С. 191–195. http://seriesbiology.univer.kharkov.ua/ukr/25(2015)/pdf/191.pdf

[700] Новіцький Р. О., Христов О. О., Кузора В. Є., Шевченко П. Г., Кобяков Д. О. (2023). Рибне населення і його значення в екосистемі каналу Дніпро-Донбас: Монографія. Дніпро: Ліра, 220 с.

[701] Байдак Л. А., Дворецький А. І. (2019). Техногенно трансформовані прісноводні екосистеми Придніпров'я: Монографія. Д.: Ліра. 228 с.

[702] Дворецький А. І., Байдак Л. А. (2015). Роль Дніпропетровської гідробіологічної школи у дослідженні водойм Придніпров'я. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 3–4. С. 178–181

[703] Hubanova N., Horchanok A., Novitskii R., Sapronova V., Kuzmenko O., Grynevych N., Prisjazhnjuk N., Lieshchova M., Slobodeniuk O., Demyanyuk O. (2019). Accumulation of radionuclides in Dnipro reservoir fish. *Ukrainian Journal of Ecology.* 9(2). 227–231.

Моніторинг важких металів у водних об'єктах та рибогосподарських водоймах Придніпров'я. Також здійснювали визначення вмісту важких металів у воді, донних відкладах та м'язах риб водних об'єктів різного призначення Дніпропетровської області за ряд років (табл. 4).

Відзначаємо, що у донних відкладах рибогосподарських ставів вміст важких металів був значно вищим, ніж у пробах поверхневої води чи організмі риб: мангану – в межах 41,24–68,43 мг/кг, кадмію – 0,32 мг/кг, плюмбуму – 1,50–4,90 мг/кг (для ставу ПрАТ «АгроСоюз»). Високими показниками вмісту важких металів відзначені донні відклади нагульного ставу ПрАТ «Петриківський рибгосп»: мангану – 29,73 мг/кг, кадмію – 0,54 мг/кг, плюмбуму – 5,72 мг/ кг. Для води цих ставів, яка використовується для рибогосподарських цілей, фіксувалося перевищення вмісту деяких важких металів – перш за все, Mn, Zn, Cd, а для ставу ПрАТ «АгроСоюз» – ще й Cu.

Акумуляція важких металів у донних відкладах, зазвичай, зумовлена низькою розчинністю у воді, тенденцією металів адсорбуватися на твердих фазах та вступати у реакції комплексоутворення. Мулові частинки донних відкладів, гумінові речовини, гідроксиди полівалентних металів (таких як Mn), внаслідок наявності поверхневого електричного заряду, можуть притягувати іони та дипольні молекули. Доведено, що такі реакції насамперед залежать від окиснювального потенціалу, pH середовища, вмісту органічних речовин та інших чинників. Відомо, що основна частина полютантів в екосистемах мігрує з води до донних відкладів.

Саме тому в ґрунтах спостерігаються високі рівні забруднювальних речовин, в той час, коли їх концентрація у водному середовищі може бути не підвищеною[704]. Вміст важких металів у м'язах *C. carpio* та *H. molitrix* в нагульному ставку ПрАТ «Петриківський рибгосп» впродовж трьох років досліджень (2011, 2015, 2016 рр.) відповідав рибогосподарським нормативам.

Таблиця 4

Вміст важких металів у воді, мулі і організмі риб (в м'язах) в різних водоймах Придніпров'я, мг/кг сирої ваги (при природній вологості)[705]

	Heavy metals							
	Mn	**Zn**	**Cu**	**Fe**	**Cd**	**Pb**	**Ni**	**Hg**
Норма, мг/кг	2.0	40.0	10.0	30.0	0.2	1.0	0.5	–
Ставок № 1 ПрАТ «АгроСоюз» (весна, літо 2015)								
Мул, 12.04.2015 р.	**41.24**	15.61	4.20	4.12	**0.32**	**4.90**	–	–
Мул, 10.12.2015 р.	**68.43**	7.42	1.52	6.52	<0.001	**1.50**	–	–
Вода, 10.12.2015 р., мг/дм^3	0.050	0.035	0.034	0.091	0.005	0.058	–	–
Ставок ПрАТ «Петриківський рибгосп» (літо 2011*, літо 2015, 2016)								
Цьоголітки коропа *Cyprinus carpio* + білого товстоло-бика *Hypopthalmichtys molitrix*, літо 2011 р.*****.	–	8.0	0.7	10.0	0.008	0.3	0.3	–
Мул, літо 2015 р.	**29.73**	14.40	4.07	1.26	**0.54**	**5.72**	–	–
Короп *Cyprinus carpio*, літо 2015 р.	0.37	3.20	0.260	3.87	0.02	0.70	–	–
Вода, літо 2016 р., мг/дм^3	0.055	0.031	0.010	0.096	0.032	<0.0001	–	–

[704] Linnik P. N., Zhezherya V. A. (2011). Peculiarities of metals migration in the «bottom sediments – water» system with decreasing pH and increasing the concentration of fulvic acids. *Hydrobiological Journal*. Vol. 47 (5). P. 86–101.

[705] Новіцький Р. О., Сапронова В. О., Коломійцева О. М., Булейко А. А. (2024). Вміст важких металів у воді, донних відкладах та рибі водних об'єктів різного призначення Дніпропетровської області. *Рибогосподарська наука України*. 2(68). С. 22–38. DOI:10.61976/fsu2024.02.022

Продовження таблиці 4

Дніпровське водосховище, літо (2015, 2019, 2023***)**								
Плітка (*Rutilus rutilus*), балка Башмачка, середня ділянка, 1.08.2015	**4.33**	**54.9**	1.56	**69.22**	**0.28**	**1.94**	**2.97**	–
Карась сріблястий (*Carassius gibelio*), верхня ділянка, 22.07.2015	**3.93**	23.4	3.05	**60.25**	0.15	**1.29**	**4.23**	–
Окунь річковий (*Perca fluviatilis*), верхня ділянка, 22.07.2015	**4.93**	**40.4**	3.05	**80.54**	0.12	**1.52**	**3.62**	–
Вода (верхня ділянка), літо 2016, мг/дм^3	<0.01	<0.005	<0.01	0.11	–	–	<0.05	–
Вода (нижня ділянка), літо 2019**, мг/дм^3	0.041	0.064	0.011	0.190	0.0014	0.016	0.014	–
Вода (нижня ділянка), літо 2023***, мг/дм^3	0.017	0.01	0.021	0.058	0.001	0.014	0.0071	–
Гідротехнічний канал Дніпро-Донбас, літо 2018								
Вода, мг/дм^3	–	**194.0**	**107.0**	**57.0**	**1.20**	0.40	–	**<0.02**
Шолохівське водосховище (р. Базавлук), 30.10.2023								
Карась сріблястий (*Carassius gibelio*)	–	**46.5**	1.92	–	–	0.027	–	–

Примітка. * – за даними Т. С. Шарамок і О. В. Федоненко[706]; ** – за даними Т. С. Шарамок та співавторів[707]; *** – за даними Н. Б. Єсипової[708]. Напівжирним шрифтом позначаються показники перевищення нормативних значень.

У Шолохівському водосховищі (комплексного призначення – рис. 3) досліджені особини карася сріблястого *C. gibelio* віком 4+ (п'ятилітки). У м'язах карася сріблястого вміст цинку становив 46,50 мг/кг, що незначно перевищує ГДК. Перевищення показників вмісту Cu та Pb не відмічено.





Рисунок 3. Шолохівське водосховище (на р. Базавлук). *Фото Р. Новіцького*

[706] Шарамок Т. С., Федоненко О. В. (2012). Розподіл важких металів в екосистемі петриківських ставів. *Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону*. № 1 (12). С. 173–178.
[707] Шарамок Т. С. та ін. Гідроекологічна оцінка Запорізького водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. 2019. Вип. 24, № 2. С. 137–149.
[708] Єсіпова Н. Б. та ін. (2023). Гідроекологічна характеристика сучасного стану Запорізького (Дніпровського) водосховища та його приток. *Рибогосподарська наука України*. 4 (66). С. 35–48.

Для риб Дніпровського водосховища вміст більшості важких металів був підвищеним. У м'ясі пелагічного, рослиноїдного виду – плітки *R. rutilus* тільки вміст купруму був у межах норми (1,56 мг/кг), всі інші 6 важких металів перевищували нормативи ГДК щодо вмісту ВМ. У м'ясі бентофага – карася сріблястого *C. gibelio* підвищені рівні накопичення ВМ відзначалися для Mn, Fe, Pb, Ni, а для Zn, Cu, Cd показники їх вмісту знаходилися у межах нормативу. У м'ясі окуня річкового *P. fluviatilis* Дніпровського водосховища найбільший вміст ВМ відзначений для Fe (80,54 мг/кг), підвищені показники – для Mn, Zn, Pb, Ni.

Отримані результати дають змогу стверджувати, що гідроекосистема Дніпровського водосховища на сучасному етапі, на відміну від інших водних об'єктів регіону, є значно забрудненою важкими металами. Це адекватно відобразилося на рівнях накопичення ВМ в організмі риб різних екологічних груп – пелагічних рослиноїдних, придонних бентофагів, хижаків. Велика кількість заліза (Fe) у організмі досліджених видів риб свідчить про хронічне забруднення водного середовища токсичними речовинами різного походження (як органічними, так і неорганічними) та постійну потребу синтезу гемоглобіну. Полютанти, і важкі метали зокрема, перетворюють гемоглобін у метгемоглобін, який не бере участі у транспорті кисню, що відображається на погіршенні фізіологічного стану гідробіонтів.

Вплив антропогенних чинників на структуру іхтіофауни в малих річках. Різні антропогенні чинники найбільше впливають на функціональну і промислову структуру іхтіофауни в малих річках. Це обумовлено незначними розмірами водної екосистеми, в якій відбувається уповільнений процес розчинення забруднених стічних вод від різних промислових підприємств і змивів отрутохімікатів та хімічних добрив з агроценозів. Крім того, відбувається безконтрольний і несанкціонований забір води з малих річок для поливу, розорювання берегової зони, спорудження гаток, різних гребель та безконтрольний вилов риби аматорами та браконьєрами. Залежно від ступеня трансформації екосистем різко змінюється функціональна і промислова структура іхтіофауни.

У малих річках майже не збереглися вихідні природні умови, а в більшості їх не спостерігаються навіть слабко трансформовані ділянки. Фактично малі річки сьогодні мають лише середньотрансформовані (до 60–70% території), дуже трансформовані (25–35%) та деструктивні (2–5%) ділянки.

За ступенем трансформації можна виділити такі екосистеми: *середньотрансформовані*, де спостерігається частково порушений режим функціонування, але ще збереглися деякі ознаки вихідної системи; *дуже трансформовані*, де річкова система зарегульована, втратила властивості вихідних місцеперебувань біоти з порушенням біоценотичних і популяційних зв'язків, та *деструктивні*, де водні та навколоводні наземні екосистеми порушені прямим впливом цілого ряду чинників, особливо техногенних (забруднення, зміна русел при утворенні кар'єрів тощо) і повернення до вихідного стану у яких неможливе без застосування спеціальних робіт[709].

В умовах, що створилися на водних екосистемах Придніпров'я, відносно нормальні структурно-функціональні показники зберігаються лише в середньотрансформованих екосистемах. Тут формуються функціональні групи риб, які найбільше відповідають нормі малих річок. Основу тут складають зоофаги (69,4%) при помітній ролі хижаків (15,4%) і фітофагів (11,7%). При значному посиленні трансформування екосистем (дуже трансформовані) значення зоофагів зростає на 1,2%, деструктивних – в 1,3 раза. В той же час значення хижаків зменшується в першому випадку в 3,3 раза, в другому – вони зовсім зникають. Значення фітофагів і поліфагів знижується більш повільно.

[709] Новіцький Р. О. (2021). Інвазії чужорідних видів риб у дніпровські водосховища: монографія. Дніпро: ЛІРА, 280 с.

Зростання кількості зоофагів пояснюється утворенням значної біомаси зообентосу – особливо олігохет, розвиток яких у забруднених ділянках зберігається.

Різке зниження і випадання риб-хижаків можна обґрунтувати тим, що вони більш оксифільні і тим, що у бентофагів і фітофагів накопичується значна кількість важких металів. Реофільні угруповання в середньотрансформованих системах зберігаються на дуже низькому рівні (вони всі відносяться до дуже оксифільних екологічних комплексів риб) – всього 6,7%, в той час як в малих річках з мало трансформованою екосистемою – в межах 30–40%. В дуже трансформованих і деструктивних екосистемах вони повністю випадають. У таких екосистемах залишаються лише лімнофільні угруповання, більш пристосовані до незначної кількості кисню в воді.

Зміни в структурній організації функціональних угруповань дуже позначаються на формуванні промислової іхтіофауни. Якщо в середньо трансформованих екосистемах цінні промислові та середньоцінні промислові види складають 88,3%, то в дуже трансформованих – лише 32,5%, тобто промислове значення таких ділянок знижується в 2,7 раза, а в деструктивних – в 4,42 раза (0,2%). В цей же час основні зміни відбуваються за рахунок так званих малоцінних промислових або непромислових («смітних») видів, частка яких у дуже трансформованих системах складає 67,1%, а деструктивних – 99,8%.

Отже, антропогенна трансформація малих річок призводить до порушення структури і цілісності іхтіоценозів. Угруповання риб збіднюються, трофофункціональна структура порушується, схиляючись у бік до монодомінантності зоофагів та абсолютної монодомінантності лімнофілів. Зростає питома вага, а в подальшому і повністю домінують малоцінні та «смітні» види, і в таких ділянках річка втрачає своє промислове та риболовне любительське значення. Очевидно, після різкого деструктивного «стрибка» техногенезу в 1950–1960 роки, що спричинив спрощену фауністичну і функціональну структуру іхтіоценозів, угруповання риб утворили відносно стійкі адаптивні пристосування. Але минув час і зростання техногенного впливу в 1970-і – 1980-і роки порушує цю слабку адаптивну стійкість.

Зменшення кількісного складу риб у першу чергу викликане антропогенними чинниками, серед яких найнегативнішу роль відіграє техногенне й агрогенне забруднення водойм. Найбільш чітко цей вплив можна простежити в різних водних екосистемах залежно від рівня забруднення (табл. 5).

Таблиця 5

Вплив рівнів техногенного та агрогенного забруднення водойм Придніпров'я на видове різноманіття і чисельність риб (в індексах відносно умовно чистих зон, прийнятих за «1»)

Показники	Рівні забруднення	**Водні екосистеми**					
		річкові		озерні		водосховищні	
		повноводні	маловодні	степові	лісові	дніпровські	криворізькі
Видове різноманіття відносно умовно чистих екосистем	0	1	1	1	1	1	1
	1	0,76 0,61-0,81	0,69 0,58-0,73	0,64 0,50-0,69	0,71 0,60-0,77	0,89 0,75-0,92	0,73 0,67-0,78
	2	0,62 0,55-0,71	0,42 0,38-0,45	0,38 0,32-0,43	0,43 0,38-0,47	0,68 0,63-0,74	0,61 0,56-0,64
	3	0,39 0,34-0,47	0,26 0,19-0,31	0,29 0,22-0,34	0,32 0,26-0,35	0,41 0,37-0,45	0,32 0,28-0,34
	4	0,22 0,18-0,23	0,17 0,12-0,24	0,16 0,12-0,22	0,18 0,15-0,22	0,29 0,23-0,32	0,23 0,19-0,25

Продовження таблиці 5

Показники	Рівні забруднення	Водні екосистеми					
		річкові		озерні		водосховищні	
		повноводні	маловодні	степові	лісові	дніпровські	криворізькі
Чисельність відносно умовно чистих екосистем	0	1	1	1	1	1	1
	1	0,72	0,64 0,61-0,67	0,61 0,57-0,65	0,63 0,60-0,65	0,82 0,74-0,85	0,74 0,72-0,79
	2	0,61	0,52 0,48-0,67	0,48 0,45-0,52	0,51 0,47-0,54	0,71 0,66-0,73	0,65 0,59-0,68
	3	0,43	0,32 0,30-0,35	0,29 0,26-0,32	0,33 0,31-0,36	0,39 0,36-0,42	0,32 0,27-0,36
	4	0,29	0,20 0,18-0,23	0,14 0,13-0,15	0,17 0,16-0,19	0,31 0,27-0,33	0,24 0,21-0,27

Примітка. Над рискою – усереднені дані для кількох водойм; під рискою – межі коливання в різних типах водних систем.

Цей вплив вищий у тих водних системах, у яких відсутня або слабка течія води. Так, у повноводних річках з помірною або високою швидкістю течії вплив техногенного забруднення менший.

За умов визначення допустимих навантажень на екосистеми малих річок та інших типів водних систем і виконання ряду реконструктивних і біотичних заходів ще зберігається можливість певною мірою відновити їх більш-менш первинний вигляд і тим самим урятувати і зберегти малі річки, їх цінний іхтіокомплекс, що завершує біогеоценотичний цикл у водних екосистемах.

Сучасні аспекти моніторингових досліджень в Придніпров'ї. В Україні сьогодні, згідно з «Порядком здійснення державного моніторингу вод» (ст. 21 Водного кодексу України (213/95-ВР) та постановою[710] Кабінету Міністрів України № 826 від 09.09.2020 р., державний моніторинг вод є невід'ємною складовою частиною державної системи моніторингу довкілля. На основі цих двох урядових документів розроблена «Єдина міжвідомча інструкція з організації та здійснення державного моніторингу вод» (ЄМІ). Цей документ встановлює єдині вимоги до організації та проведення спостережень за станом поверхневих вод, прибережних зон водосховищ, підземних вод джерел забруднення вод, за гідрологічними, фізико-хімічними, біологічними, радіологічними показниками якості вод. Виконання вимог ЄМІ обов'язкове для всіх підрозділів суб'єктів державного моніторингу вод, а також відповідальних водокористувачів, які здійснюють спостереження за кількісним та якісним станом вод.

До об'єктів державного моніторингу природних вод України відносять:

поверхневі води, у тому числі природні водойми і водотоки (річки, струмки), штучні водойми (водосховища, ставки) і канали;

підземні води і джерела;

внутрішні морські води і територіальне море, морську економічну зону;

джерела забруднення вод, включаючи зворотні води, аварійні скиди рідких продуктів і відходів, втрати продуктів і матеріалів при видобутку корисних копалин у межах акваторій поверхневих і морських вод;

води поверхневого стоку із сільськогосподарських угідь;

[710] Положення про державну систему моніторингу навколишнього середовища // Постанова Кабінету Міністрів України № 826 від 09.09.2020 р.

фільтрацію забруднювальних речовин з технологічних водойм і сховищ;

масовий розвиток синьо-зелених водоростей;

надходження забруднювальних речовин з донних відкладень (повторне забруднення) та ін.

Основний обсяг робіт із моніторингу річок виконують пункти спостережень Українського гідрометеорологічного центру. Ці пункти розподілені за 10 річковими басейнами України. Найбільше пунктів спостережень розташовано в басейні Дніпра, розвинена мережа спостережень у басейнах Дунаю та Дністра. Сучасна гідрологічна мережа України налічує 374 пости (https://www.davr.gov.ua).

Гідроекологічні моніторингові дослідження на водоймах Придніпров'я здійснюються також науковцями закладів вищої освіти м. Дніпро, Кривого Рогу, Кам'янського. Дніпропетровська область є прифронтовим регіоном, який постійно піддається ворожим атакам. Для різнопланових іхтіологічних та рибогосподарських досліджень на водоймах два ЗВО Дніпропетровської області мають затверджені Державним агентством з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм України програми досліджень – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара та Дніпровський державний аграрно-економічний університет (ДДАЕУ)[711].

Відповідно до програм досліджень науковцям потрібно щорічно здійснювати визначення сучасного гідроекологічного стану водойм (ділянок) та їх придатність для організації і ведення відповідних форм рибогосподарської діяльності; розробляти напрямки рибогосподарського використання водойм (їх ділянок); досліджувати існуючий рівень біорізноманіття флори та фауни, у тому числі за групами гідробіонтів (вища водна рослинність, планктон, бентос, іхтіофауна); визначати ступінь забруднення водних екосистем; оцінювати стан популяцій туводних видів, видів-інтродуцентів, чужорідних видів риб; визначати біопродукційні можливості водних екосистем тощо.

Початок повномасштабної російсько-української війни у лютому 2022 року перекреслив усі життєві плани і наукові дослідження. Враховуючи реалії воєнних дій, розпорядженням начальника обласної військової адміністрації В. Резніченка від 29.03.2022 р. за № 87/0/527-22 «Про заборону використання суден та вилову водних біоресурсів на водоймах Дніпропетровської області у період воєнного стану» була заборонена навігація на водних об'єктах Дніпропетровщини всіх різновидів плавзасобів, заборонений вилов водних біоресурсів шляхом промислового, любительського та спортивного рибальства. Причому районні військові адміністрації, на які поклали зобов'язання вести роз'яснювальну роботу серед населення, трактували всі заборони максимально жорстко. Наприклад, в територіальних громадах Дніпропетровської області була заборонена навіть любительська риболовля з берегу на місцевих ставках і річках (за 150–250 км від фронту).

7 серпня 2023 року рішенням позачергового засідання Дніпропетровської регіональної комісії з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій на водоймах Дніпропетровщини дозволили промисловий, спортивний, любительський і підводний вилов риби та інших живих біоресурсів. Але заборона на вихід на воду маломірних плавзасобів, човнів і катерів для рибалок-любителів та відпочиваючих Дніпропетровської області триває і донині.

Отже, здійснення будь-яких послідовних наукових моніторингових досліджень на каскаді дніпровських водосховищ і ріках області було неможливим. Незважаючи на складнощі здійснення науково-дослідних робіт під час воєнних дій у прифронтових регіонах, біомоніторингові і

[711] Кобяков Д. О., Новіцький Р. О. (2023). Особливості моніторингових іхтіологічних досліджень у прифронтових регіонах під час воєнних дій. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності*: мат-ли V (XVI) Міжнар. наук. конф. молодих учених (м. Львів, 18 жовтня 2023 року). Львів. С. 72–74.

рибогосподарські дослідження на Дніпропетровщині тривають. Вони не можуть бути припиненими ще й тому, що Україна повинна виконувати імплементовані Директиви Європейського Союзу (наприклад, Водну Рамкову Директиву) у галузі довкілля. Причому, згідно з прийнятими на себе зобов'язаннями, в Україні необхідно досягнути доброго екологічного стану водних об'єктів як обов'язкової екологічної цілі до 2027 року. Біота поверхневих водойм (як складова водних біоресурсів) є обов'язковим компонентом для оцінки екологічного стану прісних водойм.

4. ВИСНОВКИ

У результаті досліджень в 2015–2023 рр. накопичення важких металів (Pb, Cd, Mn, Cu, Fe, Ni, Zn, Hg) у воді, донних відкладах та гідробіонтах, вмісту радіонуклідів (^{137}Cs, ^{90}Sr, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) на водних об'єктах та рибогосподарських водоймах, водосховищах комплексного призначення Придніпров'я було встановлено:

- вода у гідротехнічному каналі Дніпро-Донбас характеризується підвищеними показниками вмісту важких металів. Із 6 досліджених важких металів не перевищена ГДК тільки для плюмбуму (0,40 мг/дм^3);
- встановлено, що гідротехнічні заходи на каналі Дніпро-Донбас впливають на рівень мінералізації у водоймі. У воді каналу до прокачування спостерігається підвищений вміст ^{90}Sr, хоча у організмі риб (карась сріблястий *Carassius gibelio*, товстолобик білий *Hypophthalmichthys molitrix*, амур білий *Ctenopharyngodon idella*, короп *Cyprinus caprio*, лящ *Abramis brama*) вміст радіонуклідів (^{137}Cs, ^{90}Sr) залишається в межах допустимих норм. Після прокачування води вміст радіонуклідів зменшується в 9,7 раз;
- рибна продукція у каналі «Дніпро-Донбас» за радіоекологічними показниками є безпечною;
- для риб Дніпровського водосховища вміст більшості важких металів був підвищеним. У м'ясі пелагічної плітки R. rutilus тільки вміст купруму був у межах норми (1,56 мг/кг), всі інші 6 важких металів перевищували нормативи ГДК. У м'ясі бентофага *C. gibelio* підвищені рівні накопичення ВМ відзначалися для Mn, Fe, Pb, Ni, а для Zn, Cu, Cd показники їх вмісту знаходилися у межах нормативу. У м'ясі окуня річкового P. fluviatilis найбільший вміст ВМ відзначений для Fe (80,54 мг/кг), підвищені показники – для Mn, Zn, Pb, Ni;
- отримані результати свідчать, що гідроекосистема Дніпровського водосховища, на відміну від інших водних об'єктів регіону, є значно забрудненою важкими металами. Це адекватно відобразилося на рівнях накопичення ВМ в організмі риб різних екологічних груп – пелагічних рослиноїдних, придонних бентофагів, хижаків;
- сучасні моніторингові дослідження на водоймах Придніпров'я як прифронтового регіону утруднюються внаслідок повномасштабної російсько-української війни і обмежень, накладених обласною військовою адміністрацією та Дніпропетровською регіональною комісією з питань техногенно-екологічної безпеки і надзвичайних ситуацій.

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ГРУНТОВИМИ ЕКОСИСИЕМАМИ ТА ЛАНДШАФТАМИ, ЇХ БІОЛОГІЧНИМИ ТА ЕКОЛОГІЧНИМИ СКЛАДОВИМИ

CONCEPTUAL MODEL FOR MANAGING SOIL ECOSYSTEMS AND LANDSCAPES, THEIR BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL COMPONENTS

Вікторія Оліферчук, доктор біологічних наук, доцент кафедри екології НЛТУ України, e-mail: victorijaoliferchuk@gmail.com, Національний лісотехнічний університет України, ORCID: 0000-0003-2800-2254

Оксана Олейнюк-Пухняк, канд. с.-г. наук, доцент кафедри ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекології НЛТУ України, e-mail: olejniuk@nltu.lviv.ua, Національний лісотехнічний університет України, ORCID: 0000-0003-0090-298X

Наталія Кендзьора, канд. с.-г. наук, директор ботанічного саду загальнодержавного значення НЛТУ України, e-mail: nataly_kend@ukr.net, Національний лісотехнічний університет України, ORCID: 0000-0002-0603-7811

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.23

Анотація. У статті представлено концептуальну модель управління ґрунтовими екосистемами та ландшафтами в умовах антропогенного тиску, змін клімату та воєнних дій в Україні. Автори обґрунтовують необхідність біоцентричної парадигми, заснованої на відновленні ризосферного мікробіому та залученні грибних ендофітів як V-стратегів у формуванні мікоризних взаємодій, покращенні родючості ґрунтів та стійкості рослин. Описано методику виділення, культивування й ідентифікації ендофітів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів, а також результати дослідження їхнього впливу на метагеном ґрунтів і фітоценози. Представлено експериментальні дані та технологічні карти застосування розроблених біопрепаратів у польових умовах. Особливу увагу приділено ролі таких підходів у повоєнному екологічному відновленні територій.

Ключові слова: ґрунтовий мікробіом, грибні ендофіти, біотехнологія, ризосфера, мікориза, родючість ґрунту, біоіндикація, кліматичні зміни, повоєнне відновлення, Basidiomycota, Ascomycota.

Abstract. This article presents a conceptual model for managing soil ecosystems and landscapes under anthropogenic pressure, climate change, and the impacts of war in Ukraine. The authors justify the need for a biocentric paradigm based on the restoration of the rhizosphere microbiome and the application of fungal endophytes as V-strategists in forming mycorrhizal interactions, improving soil fertility, and enhancing plant resilience. The methodology for isolating, cultivating, and identifying endophytes from the fruiting bodies of ascomycetes and basidiomycetes is described, along with research results on their effects on soil metagenomes and phytocoenoses. Experimental data and technological maps for the application of developed biopreparations in field conditions are presented. Special attention is given to the role of such approaches in the post-war ecological restoration of territories.

Keywords: soil microbiome, fungal endophytes, biotechnology, rhizosphere, mycorrhiza, soil fertility, bioindication, climate change, post-war recovery, Basidiomycota, Ascomycota.

1. ВСТУП

Ґрунтовий мікробіом – критично важливий регулятор функціонування екосистем, від якого залежать родючість, водний і вуглецевий баланс, фітозахист та адаптаційна здатність рослин до

стресових умов. Проте нині він зазнає системного виснаження через людську діяльність, а в Україні це посилюється ще й впливом військових дій та значній її території.

За даними FAO, понад 33% ґрунтів у світі вже деградовані, а щороку втрачаються 24 млрд тон родючого шару. Основними факторами є: інтенсивне сільське господарство, яке базується на глибокій оранці, хімічній стимуляції, монофункціональних культурах та зниженні біорізноманіття. Застосування мінеральних добрив понад норму чинить хронічне хімічне навантаження на мікробіом ґрунту, знижує мікробну біорізноманітність, руйнує сигнальні мікоризні системи, які забезпечують ріст та ефективний розвиток рослин. У Європі щорічно використовується понад 350 000 тон пестицидів, залишки яких акумулюються в ґрунтах, викликаючи мутації, блокаду метаболічних шляхів і зміну співвідношення між симбіотичними та патогенними формами мікробіоти. Видобуток корисних копалин, меліорація, осушення боліт, індустріальна забудова — призводять до фізичного руйнування ґрунтової структури, втрати гумусу та десукцесії мікробіому. В Україні ці проблеми стоять ще більш гостро у зв'язку з війною. Кліматичні зміни: підвищення температури, посухи, ерозія, закислення ґрунтів — знижують буферну здатність мікроорганізмів до екстремальних стресів, порушуючи їх функціональні мережі.

Згідно з останніми дослідженнями у сільськогосподарських ґрунтах може міститися до 100 разів більше мікропластику та важких металів, ніж в океані. Це змінює кислотність, структуру та хемо-атрактивність середовища для мікробів. У результаті відбувається спрощення трофічних структур ґрунту, порушуються механізми фіксації азоту, мобілізації фосфору, утворення фітогормонів, знижується метаболічна гнучкість та екологічна резилієнтність культур, втрачається здатність до синтезу біоактивних речовин, що напряму впливає на якість продукції, антиоксидантність, смак, склад вторинних метаболітів, зменшується здатність ґрунту утримувати вуглець, що підсилює парниковий ефект.

Усе це робить агросистеми вразливими до змін клімату, водного дефіциту й економічних ризиків. Саме тому ключовим викликом стає біологічне відновлення ризосферного мікробіому як критичного центру взаємодії рослини, ґрунту й клімату. Основними агентами у такому відновленні вважаються ендофіти. В основному, наукова література про роль ендофітних мікроорганізмів та їх консорціумів, які є основою для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, управління здоров'ям ґрунту та родючістю, присвячена рослинним ендофітам[712]. Ендофітні мікроорганізми виділяють з кореня, пагона, листя, квітки та насіння, які мають потенційну здатність стимулювати ріст рослин та бути біоконтролюючим агентом для посилення росту та розвитку рослин[713714,715,716,717].

Про ендофіти, виділені з плодових тіл базидіоміцетів та аскоміцетів у літературі існує значно менше відомостей. З усіх виділених видів 90% належить до *Ascomycota*. Дуже незначними є дослідження ендофітів родини *Basidiomycota*, а, отже, їх роль у здоров'ї дерев, кущів ще належить

[712] Muhammad, M., Wahab, A., Waheed, A., Mohamed, H. I., Hakeem, K. R., Li, L., & Li, W. J. (2024). Harnessing bacterial endophytes for environmental resilience and agricultural sustainability. *Journal of Environmental Management*, *368*, 122201.

[713] Song, C., Zhu, F., Carrión, V. J., & Cordovez, V. (2020). Beyond plant microbiome composition: Exploiting microbial functions and plant traits via integrated approaches. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *8*, 896. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00896

[714] Ahmed, A., He, P., He, Y., Singh, B. K., Wu, Y., Munir, S., & He, P. (2024). Biocontrol of plant pathogens in omics era—With special focus on endophytic bacilli. *Critical Reviews in Biotechnology*, *44*(4), 562–580.

[715] Enyi, E. O., Chigozie, V. U., Okezie, U. M., Udeagbala, N. T., & Oko, A. O. (2024). A review of the pharmaceutical applications of endophytic fungal secondary metabolites. *Natural Product Research*, 1–17.

[716] Malkawi, H. L., & Kapiel, T. Y. S. (2024). Microbial biotechnology: A key tool for addressing climate change and food insecurity. *European Journal of Biology and Biotechnology*, *5*(2), 1–15.

[717] Muhammad, M., Wahab, A., Waheed, A., Mohamed, H. I., Hakeem, K. R., Li, L., & Li, W. J. (2024). Harnessing bacterial endophytes for environmental resilience and agricultural sustainability. *Journal of Environmental Management*, *368*, 122201.

дослідити. Було показано, що різні ендофітні базидіоміцети виробляють речовини, такі як паклітаксел з протигрибковою та антибактеріальною активністю[718], *Perenniporia tephropora* з *Taxus* sp. утворює цитотоксичний альбіканол[719]. Це яскраво демонструє потенціал *Basidiomycota* для виробництва біологічно активних сполук і може позиціонувати їх діяльність як ендофітів[720].

Нами була проведена багаторічна робота по виділенню ендофітів із плодового тіла чорного трюфеля. В результаті ми отримали ендофіт *Vitasergia svidasoma,* який визнаний новим для науки видом, що належить до родини *Ascomycota.* Він є діючим агентом препарату «Міковітал», що використовується для процесів стимуляції мікоризоутворення у рослин і сприяє їх імунітету та ефективному росту та плодоношенню[721,722]. Таким чином ми отримали поштовх для продовження роботи над пошуком активних штамів ендофітів грибів і розробили методологію їх виділення та застосування у екосистемах.

Тому, мета нашої роботи: сформувати біоцентричну парадигму управління ґрунтовими екосистемами та ландшафтами в умовах кліматичних змін, антропогенного навантаження та руйнування в наслідок війни, через наукову розробку та лабораторну валідацію нової біотехнологічної платформи мультифункціональних препаратів на основі лісових грибних ендофітів вищих аскомікот та базидіомікот, здатних відновлювати ризосферні мікробіоми, нейтралізувати токсиканти та підвищувати стресостійкість біопродуктивних систем.

Основним етапом у формування такої парадигми є розробка методології та методики дослідження.

2. МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологія та методика досліджень передбачає дослідження ґрунтів, визнане винаходом[723].

Методологія досліджень передбачає виділення ендофітів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів, обробку насіння тестових рослин препаратами ендофітів і визначення ефективності їх впливу у модельних дослідах.

2.1. Виділення ендофітів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів. Подрібнені частини плодових тіл грибів обробляємо 3% перекисом водню протягом 15 хв та викладаємо на тверді середовища. Для інгібування росту бактерій застосовуємо стрептоміцин сульфат (20 мг/л) із левоміцитином (20 мг/л) і хлортетрацикліном солянокислим (100 мг/л). Розвиток міцеліальних грибів пригнічуємо за допомогою циклогексаміду (50 мг/л) та пропіонату натрію (0,20%). Ріст біомаси досліджуємо на середовищах різного складу: сусло-агарі, картопляно-декстрозному агарі, середовищі Сабуро, Чапека-Докса Беркгольдера, VPD-середовищі, глюкозо-амонійному середовищі для дріжджів.

Для виділення мікоризних симбіонтів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів використовуємо буферне середовище наступного складу (г/л води): глюкоза – 8; K_2HPO_4 – 0,3;

[718] Das, A., Rahman, M. I., Ferdous, A. S., Amin, A., Rahman, M. M., Nahar, N., Uddin, M. A., Islam, M. R., & Khan, H. (2017). An endophytic Basidiomycete, *Grammothele lineata*, isolated from *Corchorus olitorius*, produces paclitaxel that shows cytotoxicity. *PLoS ONE, 12*, e0178612. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178612

[719] Adhikari, P., Joshi, K., & Pandey, A. (2023). Taxus associated fungal endophytes: Anticancerous to other biological activities. *Fungal Biology Reviews, 45*, 100308. https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100308

[720] Rungjindamai, N., & Jones, E. B. G. (2024). Why are there so few Basidiomycota and basal fungi as endophytes? A review. *Journal of Fungi, 10*(1), 67. https://doi.org/10.3390/jof10010067

[721] Oliferchuk, V., Kendzora, N., Shukel, I., Samarska, M., & Olejniuk-Puchniak, O. (2023). The role of V-strategist endophytes in stimulating the formation of mycorrhizal interactions and soil regeneration. In *Symbiosis in Nature* (p. 269). https://doi.org/10.5772/intechopen.109912

[722] Оліферчук, В. П., Федорович, Д. В., Самборський, М. В., & Самарська, М. І. (2023). Вплив на метагеном ґрунту нового для науки виду ендофіта *Vitasergia svidsoma* Oliferchuk VS 1223 (IMB F-100106), виділеного з чорного трюфеля. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія, Біологія, 1*, 79–88. https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.10

[723] Оліферчук, В. П., Оліферчук, С. П., & Дінер, Т. В. (2021). Патент №124179. Спосіб відновлення і підвищення родючості ґрунту за принципом біорегуляції у мікробо- та мікоценозах. *Бюл. № 19*, 29.07.2021.

KH_2PO_4 – 0,9: $MgSO_4$ – сліди, аспарагін – 0,01. Ці гриби потребують для проростання ростові речовини, тому використовуємо препарати-аналоги до Симбіонт 1 та Симбіонт 2, які були розроблені в Інституті мікробіології та вірусології ім. Заболотного НАН України Фанією Гельцер[724].

Для виділення дріжджових грибів використовуємо сусло-агар $6–7^0$ по Балінгу з молочною кислотою 4 мл/л. Надалі використовуємо агар $6–7^0$ по Балінгу для нарощування біомаси ендофітів у рідкому середовищі.

2.2. Виділення геномної ДНК отриманих з плодових тіл видів. Виділення геномної ДНК отриманих видів ендофітів здійснюємо за допомогою набору для виділення ДНК Macherey-Nagel NucleoSpin Microbial DNA. Секвенування проводили на платформі Illumina NovaSeq з довжиною зчитувань 2x150 пн та Oxford Nanopore MinIon із використанням однієї комірки Flongle. Розпізнавання послідовностей нуклеотидів здійснювали за допомогою ONT Guppy v.5.0.11, використовуючи gpu Nvidia 1060 3GB із такими параметрами: chunk size: 5000; chunks per runner: 24; num basecallers: 4; runners per device: 2. Адаптери з ONT зчитувань видаляємо програмою Porechop v.0.2.4. Збірку здійснюємо за допомогою програми Flye v.2.9. Шліфування консенсусу ONT збірки проводимо за три проходи програми Medaka v.1.4.4. Фінальний прохід шліфування з даними Illumina здійснюємо за програмою PILON v.1.24. Окремо збираємо дані з Illumina за допомогою Newbler v.3.0 та використовуємо їх у програмі Consed v.29 для визначення копійності кластера генів рРНК. У результаті отримуємо послідовність ДНК ITS2 елемента кожного з виділених видів анаморфних грибів.

Дослідження впливу біопрепаратів на їх основі на метагеном ґрунту проводимо екстракцією ДНК із ґрунту. ПЛР 16S та ITS2 рРНК здіснюємо з праймерами (v 1-4). Бібліотеки для секвенування ампліконів на платформі Illumina створюємо з використанням NEBNext® DNA Library Prep Kit. Секвенування здійснюємо на платформі Illumina MiSeq (2x250bp). Обробку результатів 16S та ITS2 секвенування проводимо згідно з методикою обробки даних. Дослідження впливу створених біопрепаратів на ріст і розвиток лісових та сільськогосподарських культур вивчаємо загальноприйнятими методами[725,726].

Аналіз результатів лабораторних і виробничих дослідів оцінюємо за відповідними параметричними критеріями в основі яких є розподіл варіанту. Стандартне відхилення визначаємо за відомою програмою (MS Excel). Для побудови математичних моделей біотехнологічних і екологічних процесів використовуємо методи оптимізації, чисельного диференціювання та інтегрування функцій, знаходження розв`язків нелінійних рівнянь. Програмне забезпечення базуємо на мові *Delphi.*

2.3. Вивчення стану ґрунтів. Класифікацію ґрунтів щодо рівня деградації проводили методом біотестування (ДСТУ ISO 11268-1:2003 (ISO 11268-1:1993, IDT); ДСТУ ISO 1269-1:2004 (ISO 11269-1:1993, IDT); ДСТУ ISO 11269-2:2002 (ISO 11269- :1995, IDT); ДСТУ ISO 17126:2007 (ISO 17126:2005, IDT); ДСТУ ISO 0963:2007 (ISO 20963:2005, IDT); ДСТУ ISO 22030:2007 (ISO 22030:2005, DT).

Обрані для дослідження ґрунти класифікували за ступенем деградації та критерієм родючість:

0 – недеградовані: продуктивність відповідає природній родючості або нижча на 5%;

[724] Гельцер, Ф. Ю. (1990). *Симбиоз с микроорганизмами — основа жизни растений*. Москва: Изд-во МСХА.

[725] Дем'янюк, О. С., Симочко, Л. Ю., & Тертична, О. В. (2017). Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології, 22*(1), 55–68.

[726] Ткач, Є. Д., Шерстобоєва, О. В., Крижанівський, А. Б., Стародуб, В. І., Шавріна, В. І., & Лобова, О. В. (2017). *Науково-методичні основи оцінки агрофітоценозів в умовах змін клімату: методичні рекомендації*. Київ.

1 – слабодеградовані: продуктивність нижча на 5–25% порівняно з природною родючістю;

2 – середньодеградовані: продуктивність нижча на 25–50% порівняно з природною родючістю;

3 – сильнодеградовані: продуктивність нижча на 50–75% порівняно з природною родючістю;

4 – дуже сильнодеградовані: продуктивність знижена на понад 75%.

Вміст основних елементів живлення в ґрунтах визначали за допомогою NPK-сенсору та стандартних методик (ДСТУ 4115-2002; ДСТУ 4289:2004;ДСТУ 4729:2007; ДСТУ 7945:2015; ДСТУ ISO 10390:2007). Для оцінювання екологічного стану ґрунтів використовуємо метод біоіндикації, який передбачає визначення якості середовища організмів за видовим складом та показником кількісного розвитку мікроміцетів-біоіндикаторів та структури їх угруповань. Як біоіндикатори застосовували мікроміцети ґрунту[727].

Зразки ґрунту для мікологічних досліджень відібрано згідно з ДСТУ ISO 10381-6-2015 (ISO 10381-6:2009, IDT). Для оцінювання стану ґрунтової мікробіоти використовували загальноприйняті в ґрунтовій мікробіології методи[728].

Відбір, збереження та транспортування зразків ґрунту проводили відповідно до стандартних методик. (ДСТУ 4115-2002; ДСТУ 4289:2004; ДСТУ 4729:2007; ДСТУ 7945:2015; ДСТУ ISO 10390:2007). Для отримання достовірних характеристик комплексу мікроскопічних грибів аналізи проводимо у трикратній повторності протягом вегетаційного періоду. Аналізування зразків ґрунту проводимо на основі 5–7-ми окремо взятих зразків, відібраних методом випадкових проб. Зразки ґрунту відбираємо з шарів 0-10 см, 10-20, 20-40, 40-80, 80-120 см відповідно до ДСТУ ISO 10381-6-2015

2.4. Обробка ґрунтів перед мікологічним аналізом. Під час підготовки ґрунту для посіву за методом серійних розведень проводимо руйнування ґрунтових агрегатів, десорбцію спор та міцелію з поверхні ґрунтових частинок, дезагрегацію накопичення спор та розбивали гіфи на достатньо однорідні за розмірами життєздатні фрагменти. Ґрунтову суспензію (1 г ґрунту на 9 мл стерильної водопровідної води) обробляємо шляхом 3–5 хв струшування на пропелерній мішалці-міксері (мікроподрібнювач тканин РТ-2) при 5000 об/хв. Посів на агаризовані поживні середовища проводимо з розведень 1:100 – 1:1000 залежно від типу ґрунту.

2.5. Вибір середовищ та умов культивування для виділення мікроскопічних грибів різноманітних еколого-трофічних та систематичних груп. Для виділення грибів, які швидко ростуть і ефективно засвоюють легкодоступні вуглеводні використовуємо сусло-агар 3–4^0 по Балінгу, а також середовище Чапека (г/л): сахароза – 20,0; $NaNO_3$ – 2,0; KH_2PO_4 – 1,0; $MgSO_4*7H_2O$ – 0,5; KCl – 0,5; $FeSO_4$ – 0,01; агар – 20,0; вода дистильована, середовище Чапека з додаванням мікроелементів та дріжджового екстракту (г/л): (глюкоза або сахароза) – 30,0; $NaNO_3$ – 3,0; KH_2PO_4 – 0,3; $MgSO_4\times7H_2O$ – 0,25; KCl – 0,25; $FeSO_4$ – 0,01; $ZnSO_4$ – 0,04; $CuSO_4\times5H_2O$ – 0,005; агар – 20,0; вода дистильована, pH – 5,0–5,5.

Оліготрофні гриби, які не витримують високих концентрацій моноцукрів і конкуренції з копіотрофами за високих їх концентрацій в середовищі і здатні до росту при їх слідових кількостях, виділяємо на «голодні» середовища: водяний агар, агар із ґрунтовою витяжкою, агар із розведеним у 10 разів суслом. На цих середовищах більшість анаморфних грибів розвивалось повільно, утворювали дрібні (2–3 мм діаметром) колонії, за оптимального розведення віддалені одна від одної, що було використано в подальшому для виділення їх у чисті культури.

[727] Борисова, В. Н. (1988). *Микромицеты лесной подстилки в разных экосистемах*. Київ: Наукова думка.

[728] Дем'янюк, О. С., Симочко, Л. Ю., & Тертична, О. В. (2017). Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології, 22*(1), 55–68.

Визначення кольору колоній, який необхідний для опису ізолятів, проводимо двома способами: за допомогою шкали Бондарева і за допомогою адитивної моделі RGB Adobe Photoshop CS5.

2.6. Визначення екологічної ролі видів у досліджуваних ґрунтах. Культивування мікроскопічних грибів різноманітних еколого-трофічних та систематичних груп проводимо при температурі 24–28ºС, оскільки переважна їх більшість є мезофіли.

Кінцевий облік проводимо залежно від середовища виділення: на сусло-агарі та синтетичних середовищах – на 6–12 добу, на голодному агарі –через 2–4 тижні. Чисельність грибних зародків у ґрунті, виділених методом посіву на тверді середовища, розраховуємо за формулою:

$$А = б \times в \times г / д, \quad (1)$$

де, А – число грибних зародків на 1 г ґрунту, шт.;
б – середня кількість колоній на чашках, шт.;
в – розведення, з якого зроблено посів;
г – кількість крапель в 1 мл суспензії;
д – маса ґрунту, яку брали для аналізу, г.

Ідентифікацію виділених культур проводимо на основі морфологічних та фізіологічних ознак, враховуючи будову та спосіб розвитку репродуктивних структур. Для ідентифікації культур грибів використовуємо відповідні визначники[729,730,731].

Для визначення значущості виду застосовуємоли критерій частоти його трапляння. Показник просторової частоти трапляння розраховуємо за формулою :

$$A = B \times 100\% / C, \quad (2)$$

де, А – просторова частота трапляння видів;
В – кількість зразків, в яких виявлено цей вид;
С – загальна кількість досліджуваних зразків.

Для встановлення достовірності різниці у траплянні виду у ґрунтах усіх досліджуваних об’єктів використовуємо метод порівняння частин[732].

Для оцінки достовірності різниці різноманітності видів у порівнюваних ґрунтах використовуємо метод порівняння середніх арифметичних двох незалежних сукупностей, які мають різні дисперсії[733], при цьому використовуємо програму Statistica v6.0. для встановлення достовірності різниці у траплянні видів та різноманітності видів у різних ґрунтах .

Одноразове визначення просторової частоти трапляння виду не дає уяви про сталість представленості виду у досліджуваному ґрунті біогеоценозу протягом вегетаційного періоду. Тому, було використано показник часової частоти трапляння виду – відношення числа моментів часу, коли вид виявлено, до загального числа моментів відбору зразків[734]. За спільного використання показників просторового та часового трапляння характеризуємо структуру комплексу ґрунтових мікроміцетів: типові домінуючі види – просторова і часова частота трапляння вище 50%; типові часті види – просторова і часова частота трапляння понад 30%; типові рідкі види – просторова частота трапляння нижче 30%, часова частота трапляння – вище 30%, випадкові види – обидва показники нижче

[729] Білай, В. Й. (1977). *Фузарії*. Київ: Наукова думка.
[730] Білай, В. Й., & Коваль, Е. З. (1988). *Аспергіли*. Київ: Наукова думка.
[731] Білай, В. Й., Єланська, І. А., & Кириленко, Т. С. (1984). *Мікроміцети ґрунтів* / за ред. В. Й. Білая. Київ: Наукова думка.
[732] Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія / В. В. Волкогон, О. В. Надкернична, Л. М. Токмакова та ін.; за ред. В. В. Волкогона. (2010). Київ: Аграрна наука.
[733] Symochko, L. Y., Demyanyuk, O. S., & Symochko, V. V. (2017). Soil bioindication and biotesting as modern methodological approaches. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Biology*, *42*, 77–81.
[734] Жданова, Н. М. (2002). Моніторинг мікроміцетів при визначенні екологічного стану ґрунтів. У *Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель* (с. 146–152). Київ: Фітосоціоцентр.

30%. Статистичну обробку одержаних результатів проводимо з використанням загальноприйнятих методів за допомогою програм Microsoft Exel та Statistica v6.0.

Визначаємо також показники видового різноманіття, домінування і подібності угруповань анаморфних грибів у ґрунтах досліджуваних екотопів.

Для оцінки ступеня подібності комплексів грибів різного ступеня деградації ґрунтів використовували коефіцієнт подібності Соренсена, для оцінювання видового різноманіття комплексів ґрунтових анаморфних грибів використовували індекс Шенона, для оцінки ступеня домінування видів у комплексах використовували індекс Сімпсона та індекс вирівняності Пієлу.

Використання екологічних індексів дає змогу отримати інформацію про ступінь зрілості та стабільності комплексів грибів кожного з досліджуваних ґрунтів. Метод кореляційних плеяд застосовуємо для виявлення корелюючих ознак між видами виділених мікроміцетів та характеристиками зовнішнього середовища. Метод головних компонент застосовуємо для визначення вкладу конкретного виду анаморфного гриба в загальну дисперсію видів. Коефіцієнт детермінації r^2 свідчить на скільки ступінь спорідненості у варіації однієї ознаки виду, яку вивчаємо, пояснюється зміною іншого, а остання частина варіацій або взаємонезалежна, або залежить від факторів, котрі не враховували.

2.7. Молекулярно-генетичні дослідження бактеріальних та грибних угруповань у досліджуваних ґрунтах. ***Методика метагеномної екстракції ДНК із ґрунту.*** З ризосферних зразків ґрунту ДНК виділяємо за використання модифікованого протоколу для виділення метагеномної ДНК із ґрунту. Для цього 1 г ґрунту та 2 г стерильного скляного порошку (подрібнений лабораторний скляний посуд (боросилікат) за допомогою товкачика та ступки, стерилізація в автоклаві при 121ºС протягом 15 хв) подрібнювали протягом 5 хв за допомогою товкачика та ступки. Подрібнений зразок ґрунту та скляний порошок змішували піпетуванням з 5 мл буфера для екстракції ДНК (100 мМ Трис, 100 мМ ЕДТА, 1,5 М NaCl (pH 8)) і переносили в пробірки на 2 мл. Суміш інкубуємо на водяній бані при 65ºС протягом 10 хв із перемішуванням кожні 2 хв. Пробірки центрифугуємо при 12000 g протягом 5 хв, щоб зібрати 500 мкл супернатанту в свіжі 2 мл пробірки Епендорфа. Метагеномну ДНК осаджуємо шляхом додавання 100 мкл 3М ацетату натрію (pH 5,2) разом із 400 мкл ізопропанолу та інкубували при –20ºС у глибокій морозильній камері. Через 20 хв метагеномну ДНК осаджуємо центрифугуванням при 12000 g протягом 10 хв, промивали один раз 70% (об./об.) етанолом. Висушений осад розчиняємо в 100 мкл ТЕ буфера (pH 8).

EZ-10 Spin Column DNA Gel Extraction Kit використовували для очищення метагеномної ДНК від гумінової кислоти.

Варіації послідовності гена 18S рибосомної РНК (рРНК) використовуємо для ідентифікації бактерій, а ITS (Internal Transcribed Spacer) використовуємо для характеристики таксономічного різноманіття грибів, представленого у мікробних угрупованнях досліджуваних ґрунтів.

Наступний етап роботи передбачає дослідження патогенних властивостей штамів та всі необхідні аналізи, заплановані санітарно-епідеміологічною експертизою, яка встановлює його безпечність для використання у сільському господарстві.

На основі виділених ефективних штамів ендофітів створюємо препарати і підбираємо параметри росту культури та склад середовищ, а також визначаємо всі параметри культивування. Отримані препарати використовуємо для стимуляції мікоризоутворення, підвищення імунітету рослин та збільшення ґрунтового біорізноманіття.

3. РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Обробка насіння тестових рослин препаратами ендофітів і визначення ефективності їх впливу у модельних дослідах. На основі попередньо проведених досліджень можна визначити стан ґрунту, зрозуміти, які біотехнологічні прийоми застосувати аби отримати продуктивний ріст, розвиток та плодоношення рослин та ґрунтовий міко- та мікробіом, біорізноманіття якого забезпечує усі потреби рослин та функції ґрунту.

Отже, на основі цих даних створюємо, технологічну карту, в яку включаємо ті препарати з отриманих нами, які ефективно вирішують проблеми конкретного фітоценозу, а саме: сприяють збереженню вологи в рослині через створення загальної мікоризної сітки в екосистемі, трансформують ксенобіотики, впливають на метагеном ґрунту, контролюючи патогени, сприяють депонуванню вуглецю в ґрунті та у рослинах (табл.1). Технологічну карту догляду за рослинами розроблено за концептуальною моделлю, яка включає використання природного самовідновлення ґрунту і рослинного покриття та оптимізацію ґрунту шляхом покращення властивостей ґрунтової системи, біодетоксикацію і біодеконтамінацію через розширення популяцій ґрунтових мікроорганізмів та використання ендофітів V-стратегів за одночасного впливу на біологічну та косну складову ґрунту[735].

Таблиця. 1.

Приклад технологічної карти (без встановлення термінів внесення складових для регенерації мікро- та мікобіому ґрунту)
«Список рекомендованих препаратів для посадки фундука»

N	Препарат	Виробник	Склад	Призначення
1.	БІОТРЕНД біоферментоване добриво	ТОВ «БІОТЕХ-АГРО»	N заг. – до 4% P_2O_5 -0,38% K_2O -до 2,5% MgO – 0,5% Ca-3,2% S-3600 мг /кг Мікроелементи Cu,Zn,Mn,Fe,Co Рекомендовано лише для ділянки з низьким вмістом сірки	Забезпечує покращення біоценозу і властивостей ґрунту, збільшує врожайність с/г культур.
2.	БМ «Біочар Green»	автор Володимир Бунецький	біочар	Активоване деревне вугілля, яке є органічним структурним модифікатором ґрунту. Ця органічна речовина хімічно нейтральна, здатна добре вбирати та поглинати вологу та поживні речовини, абсорбувати та нейтралізувати шкідливі хімічні речовини, знижувати кислотність ґрунту та збільшувати накопичення у ньому вуглецю.

[735] Oliferchuk, V., Kendzora, N., Shukel, I., Samarska, M., & Olejniuk-Puchniak, O. (2023). The role of V-strategist endophytes in stimulating the formation of mycorrhizal interactions and soil regeneration. In *Symbiosis in Nature* (p. 269). https://doi.org/10.5772/intechopen.109912

Продовження таблиці 1.

N	Препарат	Виробник	Склад	Призначення
3.	Доломіт Біо	ТОВ «Укрюгімпекс» м.Київ	CaO -32% MgO-21% Гумати-2%	Для розкислення і збагачення ґрунтів гуматами, кальцієм і магнієм та активації мікробіологічних процесів.
4.	«Міковітал»	ФОП Оліферчук	Діючий агент ендофіт чорного трюфеля *Vitasergia svidasoma Oliferchuk*	Вид V-стратег, організм, що забезпечує стимуляцію мікоризоутворення в рослин і впливає на метагеном ґрунту, знімаючи фон патогенів та збільшуючи корисну симбіотичну мікрофлору. Стимулює розвиток рослин, їх плодоношення, забезпечує 50% збереження вологи.
5.	Флорабацилін	ТОВ НВЦ Черкасибіозахист	Діюча речовина – спороутворююча аеробна бактерія Bacillus subtilis	Екологічно безпечний, природний, біологічний препарат на основі бактерій роду Bacillus – біофунгіцид, стимулятор росту, має азотфіксуючі та фосфатмобілізуючі властивості.
6.	Метаризин	ТОВ НВЦ Черкасибіозахист	Діюча речовина гриб Metarhizium anisopliae	Ефективний засіб проти личинок молодшого віку, прямокрилих та твердокрилих шкідників: травневого хруща, капустянок, колорадського жука, довгоносиків, коваликів, дротяників. Використовують методом внесення в ґрунт перед оранкою, скопуванням, під культивацію, при садінні, рихленні міжрядь сільськогосподарських культур.
7.	Ліпосам	БТУ- Центр «Жива Земля»	Композиція екзоолігополісахаридів природного походження з міцними зв’язками між моносахарами	Закріплює біопрепарати, інші засоби захисту та живлення рослин на посадковому матеріалі, забезпечує їх тісний контакт з обробленою поверхнею; утворює захисну еластичну сітку, яка зберігає вологу, не руйнує природну оболонку насіння, дихання і фотосинтез проходять вільно; захищає рослини в період вегетації від сонячних опіків, посухи; забезпечує краще засвоєння макро-, мікроелементів при позакореневому живленні; працює в широкому спектрі температур до 50 °С.
8.	Деструктор целюлози Біо-Мінераліс		ферменти грибів з фунгіцидними та целюлозолітичними властивостями роду триходерма *(Trichoderma specius, viride)*, лігнінових дріжджів з лігнінолітичними властивостями (Trichosporon cutaneum) та актиноміцетів *(Actinomyces crisooviride)*; і фермент бактеріального целюлозолітика *(Bacterial acilocalldarium)*	Призначений для обробки стерні та ґрунту після збирання врожаю сільськогосподарських культур. Прискорює розкладання рослинних решток, поліпшує ґрунтову родючість за рахунок збагачення його живильними речовинами та розвитку специфічної мікрофлори. Знищує патогени, що передаються через рослинні рештки у ґрунт. Підвищує продуктивність сільськогосподарських культур на 10 – 30%.

Провівши детальні лабораторні дослідження, отримавши необхідні дані ми можемо застосувати модель для повоєнного відновлення ґрунтів та фітоценозів і на основі цього ініціювати створення «Фемерських парків», «Парків-лабораторій», «Фермерських господарств», які базуються на органічних та регенеративних біотехнологіях і сприяють відновленню ґрунтового біорізноманіття (рис. 1 а і б).



а б

Рисунок 1. Фермерське господарство, де основні площі займає сад фундука, створений за органічними технологіями (Миколаївська обл.):
а) трирічний сад; б) посадка нових площ фундука.

Парадигма мислення щодо використання ґрунтів та ландшафтів повинна бути змінена і базуватися на принципі підтримання екосистем, основою яких є регулювання ґрунтами, їх мікро- та мікобіомом. За рахунок правильно сформованого мікробіому в ґрунті та рослинах проходить процес активного депонування вуглецю, що впливає на склад атмосфери та відповідно на клімат. За рахунок активного впливу на процеси регулювання ґрунтами стабілізуються симбіотичні сигнальні системи «рослина-гриб-бактерія», а на основі цих мікропроцесів у ґрунті, можна ефективно формувати ландшафти (рис.2)

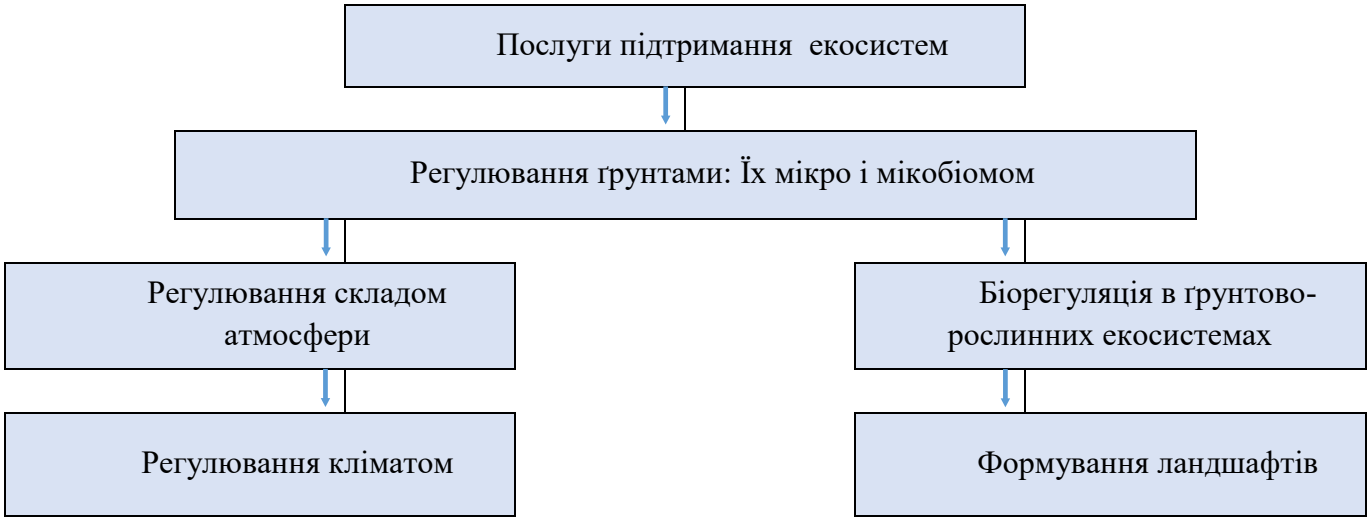


Рисунок 2. Модель управління ґрунтами та ландшафтами.

Отже, фермерство, згідно описаної парадигми, розглядається не лише як утилітарне виробництво, а як процес народження і розвитку агрокультури у сучасному терапевтичному контексті повоєнного відновлення нації. Тому й формуємо парадигму, що дозволить створити в Україні «Світоглядний парк – лабораторію», де люди зможуть особисто долучитися до всіх моментів

«вирощування ґрунту» та культур на ньому, і цей процес сприятиме їх фізичному та психологічному відновленню. У такому парку-лабораторії будуть проводитись навчання органічному агробізнесу, який не шкодитиме довкіллю, не забруднюватиме ґрунти та навколишнє середовище і при цьому приноситиме прибутки. На модельних господарствах будуть показані всі можливості екологічного вирощування органічної продукції. Нині над пілотним проєктом працюють науковці з Національного лісотехнічного університету України, а також із Державного природознавчого музею НАН України, Національного Парку Розточчя та інших наукових установ. Ландшафти створюються у дуже естетичному вигляді з елементами малих архітектурних форм, які не суперечать з простором. Парк поділено на кілька зон: відпочинкова, лабораторна, територія на якій вирощуватимуть культури за допомогою різних технологій, аби аграрії могли переконатися, що не використовуючи хімічних добрив можна отримувати високі врожаї органічно вирощених рослин. Поля та сади доглядаються різними методами: мікоризація рослин препаратами на основі активних ендофітів, наповнення ґрунту біомасою, перегноєм рослинного походження, внесення ферментованих добрив, біочару та інших складових для структуризації ґрунтів.

ВИСНОВКИ

Для ефективного впровадження Концептуальної моделі управління ґрунтовими екосистемами та ландшафтами, їх біологічними та екологічними складовими важливо створити Наукову платформу Природничого відновлення України. Для цього необхідно залучити максимум вчених зі знаннями та науково-практичними навичками для створення програми дій у відновленні, збереженні та відбудові природних просторів. Вже зараз постає питання не тільки відновлення агроекосистем, але й лісів, збереженні старовинних парків, реновації національних заповідників, які попали під ворожу руйнацію. З цим процесом тісно пов’язані відновлення ландшафтної канви зруйнованих міст та малих населених пунктів, відновлення аквaландшафтів, оздоровлення довкілля від отрутохімікатів різного походження та складу, створення умов для відновлення флори і фауни за межами населених пунктів. Всі ці відновлювальні процеси будуть ефективними при регулюванні мікобіомом та мікробіомом ґрунтів та створення біотехнологій, продуктивних у конкретно заданих умовах ландшафтів.

РАДІОЛОГІЧНІ, МІКОЛОГІЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕДАФОТОПІВ СМІТТЄЗВАЛИЩ З ПІДВИЩЕНИМ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ (НА ПРИКЛАДІ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛЬВІВСЬКОГО МІСЬКОГО ПОЛІГОНУ У 2012-2021 РОКАХ)

RADIOLOGICAL, MYCOLOGICAL AND PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF EDAPHOTOPES OF LANDFILLS WITH HIGHER TEMPERATURE REGIMES (ON THE CASE OF LVIV CITY LANDFILL RESEARCH IN 2012-2021)

Василь Попович, проректор з наукової роботи, e-mail*:* popovich2007@gmail.com, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2857-0147

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.24

Анотація. На прикладі комплексних досліджень Львівського міського сміттєзвалища у 2012-2021 роках відображено антропогенний вплив, у вигляді відкритого складування побутових відходів на довкілля. Результати досліджень увійшли до докторської дисертації. Встановлено, що у едафотопах Львівського сміттєзвалища на усіх досліджуваних ділянках ГДК перевищує такий полютант як свинець. Причому, на відстані 500 м від підніжжя сміттєзвалища у горизонті 5-15 см його значення перевищували ГДК більш аніж у 20 разів. Також на цій ділянці перевищував ГДК вміст цинку (31 мг/кг при ГДК=23 мг/кг). На решта ділянках вміст цинку в едафотопах не перевищував допустиму норму. За 20 м на захід від сміттєзвалища у горизонті 5-15 см та >15 см вміст Cu перевищує ГДК (3 мг/кг) у 3 рази та становить 14,6 мг/кг та 15 мг/кг відповідно. На відстані 100 м від підніжжя у горизонті >15 см спостерігається перевищення допустимих норм миш'яку (2,1 мг/кг). Вміст Cr на всіх ділянках сміттєзвалища та у зоні його впливу не перевищує 0,01 мг/кг (ГДК становить 6 мг/кг). Перевищення допустимих норм вмісту радіонуклідів у едафотопах сміттєзвалищ не спостерігається. Аналіз мікологічного складу антропогенних субстратів Львівського міського сміттєзвалища показав, що видовий склад грибів надзвичайно збіднений. Причиною таких явищ є підвищена кислотність субстрату (мікроміцети при такій умові гинуть) та високий вміст важких металів (чутливість родів *Phoma* і *Fusarium*). Розвиток мікроміцетів роду *Penicillium* є свідченням агресивного середовища в умовах антропогенно змінених умов довкілля. У зоні впливу горіння сміттєзвалищ колонії мікроміцетів мають незначний видовий склад. Субстрат характеризується низьким вмістом гумусу, кислою реакцією середовища, високою звязністю. Виявлені мікроміцети у зоні горіння є індикаторами забруднення важкими металами субстратів, викликають різноманітні захворювання людей, у тому числі алергічні реакції.

Ключові слова: сміттєзвалище, еколого-техногенна небезпека, радіонукліди, важкі метали, мікроміцети

Abstract. Comprehensive studies of the Lviv municipal landfill in 2012-2021 reveal the anthropogenic impact of open storage of household waste on the environment. The results of the research were published in a doctoral dissertation. It was established that in the edaphic soils of the Lviv landfill, the maximum permissible concentration (MPC) of lead exceeds the MPC in all examined areas. Moreover, at a distance of 500 m from the foot of the landfill, at a depth of 5-15 cm, its value exceeded the MPC by more than 20 times. The zinc content also exceeded the MPC in this area (31 mg/kg at MPC=23 mg/kg).

In the rest of the areas, the zinc content in the edaphic horizons did not exceed the permissible limit. At a distance of 20 m west of the landfill, at a depth of 5-15 cm and >15 cm, the Cu content exceeds the MPC (3 mg/kg) by 3 times and amounts to 14.6 mg/kg and 15 mg/kg, respectively. At a distance of 100 m from the foot of the landfill, in the horizon >15 cm, the permissible limits for arsenic (2.1 mg/kg) are exceeded. The Cr content in all areas of the landfill and in its zone of influence does not exceed 0.01 mg/kg (the MPC is 6 mg/kg). No exceedance of permissible radionuclide content in landfill edaphic soils was observed. Analysis of the mycological composition of anthropogenic substrates at the Lviv municipal landfill showed that the species composition of fungi is extremely impoverished. The reason is the high acidity of the substrate (micromycetes die in these conditions) and the high content of heavy metals (sensitivity of the Phoma and Fusarium genera). The development of micromycetes of the Penicillium genus is evidence of an aggressive environment in anthropogenically altered environmental conditions. In the zone affected by landfill burning, colonies of microfungi have a limited species composition. The substrate is characterized by low humus content, acidic reaction, and high cohesion. The microfungi found in the combustion zone are indicators of heavy metal contamination of substrates and cause various human diseases, including allergic reactions.

Keywords: landfill, ecological and technogenic hazard, radionuclides, heavy metals, microfungi.

1. ВСТУП

У техногенних едафотопах сміттєзвалищ, які формуються в тих же ландшафтних умовах, що й природні, відбувається зміна побудови їх морфологічного профілю і властивостей, відмічається трансформація та перебудова низки геохімічних процесів[736,737]. Морфологічний профіль едафотопів девастованих ландшафтів сміттєзвалищ відрізняється від фонових, які розвинені у аналогічних літолого-геоморфологічних умовах. У верхніх частинах їх профілю спостерігається розвиток техногенних наносів товщиною 5-30 см, які характеризуються насипним чи аерально утвореним матеріалом чорно-бурого кольору, зазвичай із включеннями органічного будівельного сміття. Нижня частина цього профілю дотикається, безпосередньо, до шару запресованого сміття. Незалежно від складу ґрунтоутворювальних порід (піску чи суглинків), на сміттєзвалищах відбувається ущільнення профілю ґрунтів, особливо верхніх горизонтів (притаманне рекультивованим ділянкам), яке призводить до зміни їх структури: укрупнені агрегати стискаються і це призводить до збільшення зв'язності ґрунтів.

Від реакції середовища і від того, які іони переважають у ґрунтовому розчині, залежить поглинання важких металів ґрунтом. У кислому середовищі адсорбуються Cu, Pb, Zn а в лужному інтенсивно поглинаються Cd, Co. Велике значення для адсорбції важких металів має органічна речовина ґрунтів та оксиди (гідроксиди) Fe, Al, Mn, що актуально в районах складування відходів.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

З метою вивчення фізико-хімічного, мікологічного та радіонуклідного складу едафотопів та їх вплив на розвиток рослинності сміттєзвалищ нами відбиралися проби неорельєфу безпосередньо на поверхні та у зоні впливу в таких місцях: на поверхні Львівського міського сміттєзвалища (5-15 см); за 20 м на захід від поверхні сміттєзвалища (5-15 см та >15 см); на північній експозиції схилу (5-15

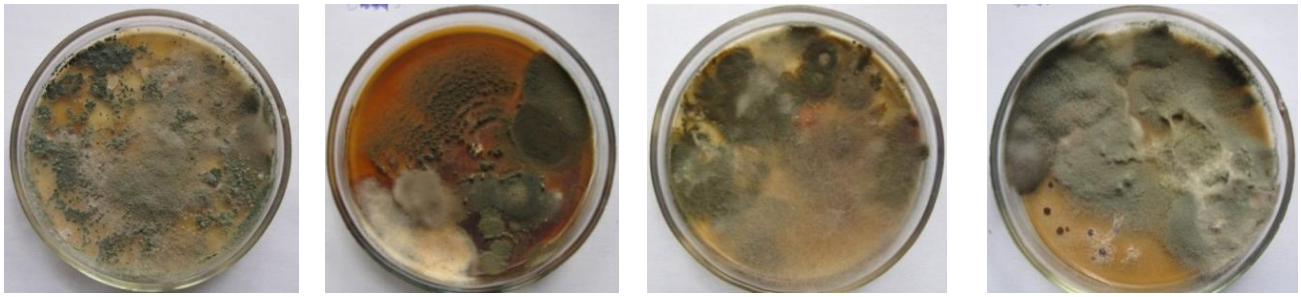
[736] Василь Попович, "Еколого-техногенна небезпека сміттєзвалищ та наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації" (автореф дис д-ра техн наук, М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т 2017) URL: <*https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/3841*>.

[737] Dana Adamcová та інші, "Environmental assessment of the effects of a municipal landfill on the content and distribution of heavy metals in Tanacetum vulgare L." (2017) 185 Chemosphere 1011, XXXX <*http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.060*>.

см та >15 см); біля підніжжя зі сходу (у місцях руху геохімічних потоків); за 100 м на схід від підніжжя (5-15 см та >15 см); за 500 м на схід від підніжжя (5-15 см та >15 см).

Неоднорідність та різнобічність відбору проб спричинені природним розташуванням сміттєзвалища (у місці колишнього піщаного кар'єру); хаотичним відсипанням сміття; геопотоками забруднюючих речовин та аерацією, переважно, у східному напрямі; незначною глибиною залягання новоутвореного едафотопу, особливо на поверхні та бічних сторонах. На Львівському сміттєзвалищі та у зоні його впливу внаслідок девастаційних процесів сформувалися три типи едафотопів: природні, які фізично не порушені, проте забруднені фільтратами; антропогенні, які порушені будівельною технікою та забруднені полютантами внаслідок формування тіла сміттєзвалища; насипні, які сформувалися внаслідок завезення родючих ґрунтів при спробі впровадження гірничотехнічного етапу рекультивації.

Також були відібрані зразки субстратів із поверхні сміттєзвалища у зоні впливу підвищених температур з метою виявлення та опису найбільших колоній мікроміцетів. Культивування мікроміцетів проводили на мінеральному поживному середовищі Чапека протягом 90 діб. Найбільші колонії мікроміцетів наведено на рисунку 1.



а б в г

Рисунок 1. Найбільші колонії мікроміцетів біля осередків горіння твердих побутових відходів на сміттєзвалищі: а - Колонія *Aspergillus fumigatus*, б - Колонія *Aspergillus niger,* в - Колонія *Rhizopus oryzae,* г - Колонія *Penicillium ochro-chloron*

Величину питомої активності природних радіонуклідів визначали як зважену суму питомих активностей радію-226, торію-232, калію-40 за формулою[738]:

$$A_{\text{еф}} = A_{Ra} + 1{,}31A_{Th} + 0{,}085A_k \quad (1)$$

де, 1,31 і 0,085 – зважуючі коефіцієнти для торію-232 і калію-40 відповідно у відношенні до радію-226.

Величини ефективної питомої активності та питомих активностей окремих радіонуклідів визначали в одиницях бекерель на кілограм (Бк/кг).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Максимальне значення pH едафотопів притаманні ділянкам, які знаходяться на певній відстані від звалища (нейтральна реакція). Мінімальні значення (pH = 3,0-5,0) виявлено на поверхні звалища (кисла реакція середовища).

На глибині 5 см максимальне значення pH виявлено за 100 м від підніжжя звалища і біля озер з фільтратом (pH = 7,0), мінімальне - на сході звалища в середній частині (pH = 3,5) і на півночі

[738] Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)": Постанова Голов. держ. санітар. лікаря України від 01.12.1997 № 62, *<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>*.

звалища в середній частині (pH = 4,5). На глибині 10 см максимальне значення pH також виявлено за 100 м від підніжжя звалища і біля озер з фільтратом (pH = 7,0), мінімальне - на півночі звалища в середній частині (pH = 3,5). На глибині 20 см максимальне значення pH спостерігається за 500 м від підніжжя звалища, а також за 100 м від підніжжя і біля озер з фільтратом (pH = 7,0), мінімальне - на півночі звалища в середній частині (pH = 3,0) і на вершині із заходу (pH = 4,0).

На середній експозиції схилів звалища кислотність едафотопів має найменші значення (pH = 3,0-4,5). Реакція середовища від кислої переходить до нейтральної при віддаленні від місць накопичення твердих побутових відходів (рис. 2). Високі значення pH едафотопів сміттєзвалищ пов'язані із потраплянням в ґрунт, разом із атмосферними опадами, карбонатної кислоти. Встановлено, що найбільшого розвитку на кислих едафотопах набули такі види трав'яної та деревно-чагарникової рослинності: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Taraxacum officinale* Wigg., *Arctium lappa* L., *Equisetum arvense* L., *Humulus lupulus* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Betula pendula* Roth. (поодиноко). На ділянках із нейтральною реакцію розвиваються дерева та чагарники: узлісся за 50 м із заходу сміттєзвалища – *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L. (поодиноко); вершина за 20 м із півночі сміттєзвалища – *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L. (поодиноко), *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., *Ligustrum vulgare* L., *Hippophae rhamnoides* L.; за 100 м від підніжжя із сходу сміттєзвалища – *Populus alba* L., *Betula pendula* Roth., *Salix caprea* L., *Pyrus communis* L., *Malus silvestris* Mill.; за 500 м від підніжжя із сходу сміттєзвалища – *Populus alba* L., *Crataegus ucrainica* Pojark., *Thelycrania alba* (L.) Pojark., *Ligustrum vulgare* L.

Таким чином, кислі техноедафотопи (pH=3÷4,5) пригнічують розвиток деревно-чагарникової рослинності на поверхні сміттєзвалища.

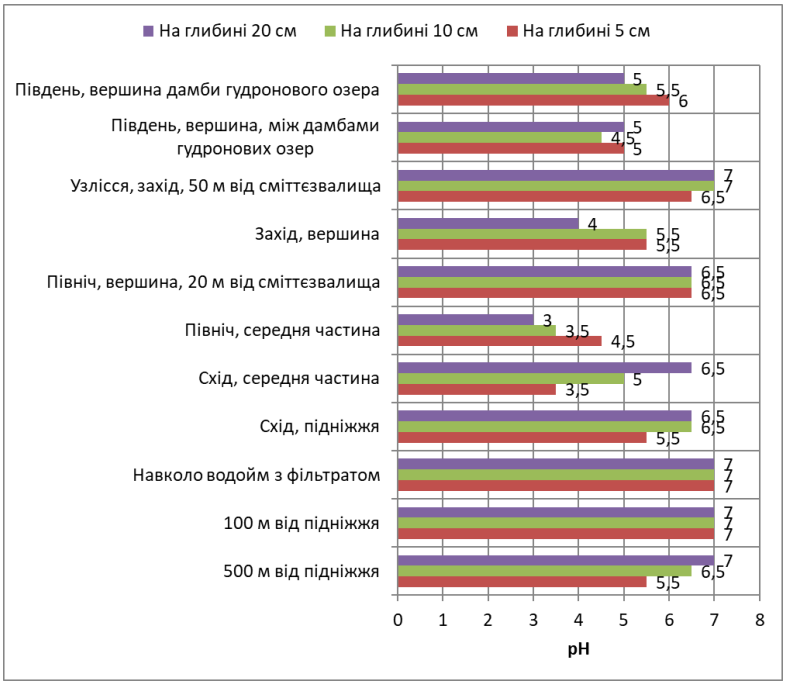


Рисунок 2. Значення pH едафотопів Львівського сміттєзвалища на різній глибині

На поверхні сміттєзвалища переважають кислі едафотопи зі значеннями pH = 3,0-4,5. При віддаленні від звалища на відстань до 500 м проявляється нейтральна реакція середовища. У зоні

впливу звалищ необхідно вивчати кислотність едафотопів для правильного вибору рослинних угруповань при проведенні рекультиваційних і фітомеліоративних робіт[739,740].

Значення зв'язності едафотопів (або опору зм'яттю за Качинським) Львівського сміттєзвалища знаходяться у межах 1-7 кг/см^3. У випадках найнижчих показників зв'язності вологість едафотопу на глибинах 5, 10, 20 см збільшується (рис. 3). Найбільші значення опору зм'яттю техноедафотопів (6-7 кг/см^3) притаманні тим ділянкам сміттєзвалища, де немає обмеженого доступу для людей та транспортних засобів, тобто відбувається штучне ущільнення: зі сходу біля підніжжя, навколо фільтраційних водойм, на узліссі за 50 м від звалища, на вершині із заходу (випасання худоби відбувається), з півночі на середній експозиції схилу. Найменші показники зв'язності зафіксовано (1,0-1,5 кг/см^3) зі сходу на середній експозиції схилу та за 20 м північніше від сміттєзвалища. Ці значення зв'язності техноедафотопу є найбільш сприятливими для сингенетичної стадії сукцесії у зв'язку із наявністю природного ущільнення. Решта значень (4,0-5,5 кг/см^3) також сприяють розвитку рослинності на поверхні сміттєзвалища.

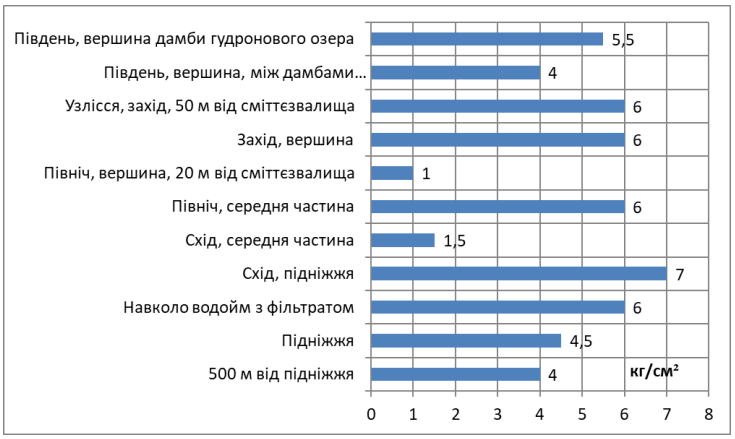


Рисунок 3. Зв'язність едафотопів Львівського сміттєзвалища

Дослідження фізико-хімічних властивостей насипних грунтосумішей Львівського сміттєзвалища, які були завезені для спроби біологічного етапу рекультивації, показали, що без штучного регулювання сукцесійних процесів та сприяння природному заростанню, навіть родючі ґрунти перетворюються під дією негативних чинників сміттєзвалищ на непридатний для розвитку рослинності едафотоп. Вміст гумусу в такому едафотопі становив всього 0,8% . Склад мінеральних речовин для живлення рослинності також має низькі показники: NO_3 складає 27,7 мг/100 г ґрунту, P_2O_5 – 26,1 мг/100 г ґрунту, K_2O – 57,2 мг/100 г ґрунту.

Важливу роль для розвитку рудеральної рослинності сміттєзвалищ відіграє вологість едафотопу. Вимірювання вологості на досліджуваних ділянках проводилися на глибині 5, 10, 20 см. Результати вимірювань наведено на рис. 4. Максимальні значення вологості техоедафотопу на глибині 5 см зафіксовано зі сходу на середній експозиції схилу (82,5%) та на дамбі гудронових озер (82,2%), що відповідає фоновому значенню за 500 м від сміттєзвалища (82,0%). Мінімальні значення вологості на глибині 5 см виявлено біля узлісся на захід 50 м від сміттєзвалища (27,5%) та за 20 м від вершини сміттєзвалища північніше (30,4%). Тобто, вологість техноедафотопів на глибині 5 см на сміттєзвалищі не є мінімальною та більша 30%.

[739] Magdalena D Vaverková та інші, "The use of vegetation as a natural strategy for landfill restoration" (2018) 29(10) Land Degradation & Development 3674, XXXX <*http://dx.doi.org/10.1002/ldr.3119*>.
[740] Samir AYDI та інші, "Phytoremediation potential of native plants: Biomonitoring approach in contaminated soils" (2023) 51(2) Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 13063, <*http://dx.doi.org/10.15835/nbha51213063*>.

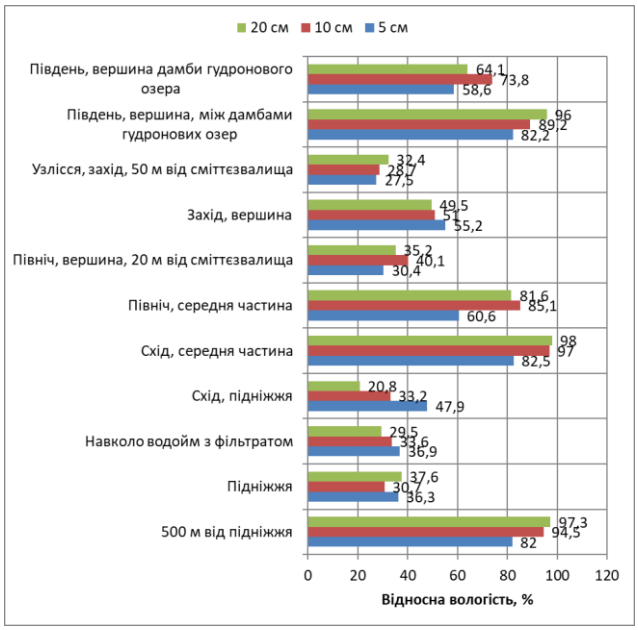


Рисунок 4. Вологість едафотопів Львівського сміттєзвалища

При вимірюванні вологості на глибині 10 см максимальні значення зафіксовані зі сходу на середній експозиції схилу сміттєзвалища (97%) та на дамбі гудронових озер (89,2%). Найменші показники вологості на глибині 10 см виявлено біля узлісся на захід 50 м від сміттєзвалища (28,7%) та зі сходу біля підніжжя сміттєзвалища (30,7%). Фонове значення за 500 м від сміттєзвалища, на глибині 10 см, становить 94,5%. Загалом едафічні умови на глибині 1-10 см на досліджуваних ділянках сміттєзвалища є позитивними для розвитку рудеральної рослинності (*Chenopodium urbicum* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Cirsium vulgare* (Savi.), *Equisetum arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L.) з точки зору зволоження.

На глибині 20 см максимальна вологість техногенних едафотопів виявлена зі сходу на середній експозиції схилу (98%) та на дамбі гудронових озер (96%). Мінімальні показники вологості на глибині 20 см притаманні підніжжю зі східного боку (20,8%) та узліссю на захід 50 м від сміттєзвалища (32,4%). Фонове значення за 500 м від сміттєзвалища, на глибині 20 см, становить 97,3%.

Загалом, вологість едафотопів на глибині 20 см і більше має позитивний вплив на розвиток деревно-чагарникової рослинності, що є особливо актуальним для сміттєзвалищ. Тому, навколо гудронових озер (на дамбах) та за 500 м від підніжжя сміттєзвалища з'являються такі дерева та чагарники як *Betula pendula* Roth., *Pinus sylvestris* L., *Acer negundo* L., *Populus tremula* L., *Fraxinus excelsior* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Salix caprea* L., *Rubus caesius* L., що свідчить про добрий вологісний режим на цих ділянках.

Дослідження едафотопів Львівського сміттєзвалища на вміст важких металів показали, що на усіх досліджуваних ділянках ГДК перевищує такий полютант як свинець. Причому, на відстані 500 м від підніжжя сміттєзвалища у горизонті 5-15 см його значення перевищували ГДК більш аніж у 20 разів. Також на цій ділянці перевищував ГДК вміст цинку (31 мг/кг при ГДК=23 мг/кг). На решта ділянках вміст цинку в едафотопах не перевищував допустиму норму. За 20 м на захід від сміттєзвалища у горизонті 5-15 см та >15 см вміст Cu перевищує ГДК (3 мг/кг) у 3 рази та становить 14,6 мг/кг та 15 мг/кг відповідно. Причому вміст міді на поверхні сміттєзвалища (2,8 мг/кг) наближений до граничнодопустимих норм. Вміст Co на досліджуваних ділянках та у зоні впливу сміттєзвалища не перевищує допустимі концентрації (5 мг/кг) та становить 0,8-1,2 мг/кг (рис. 5).

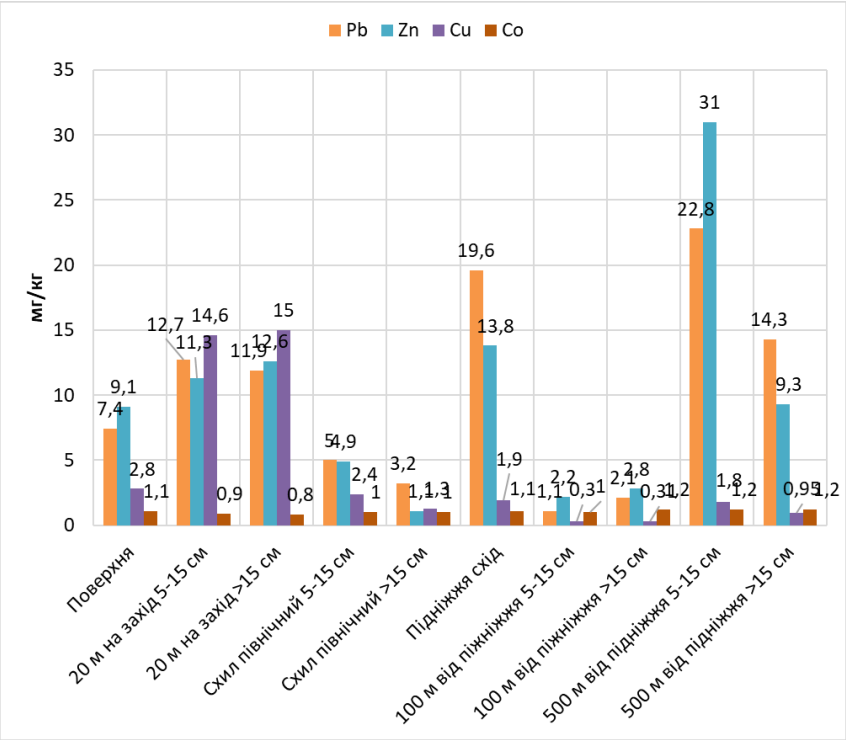


Рисунок 5. Вміст важких металів Pb, Zn, Cu, Co у едафотопах Львівського сміттєзвалища

Моделювання поширення важких металів Pb, Zn, Cu, Co у едафотопах Львівського сміттєзвалища наведено на рис. 6-13.

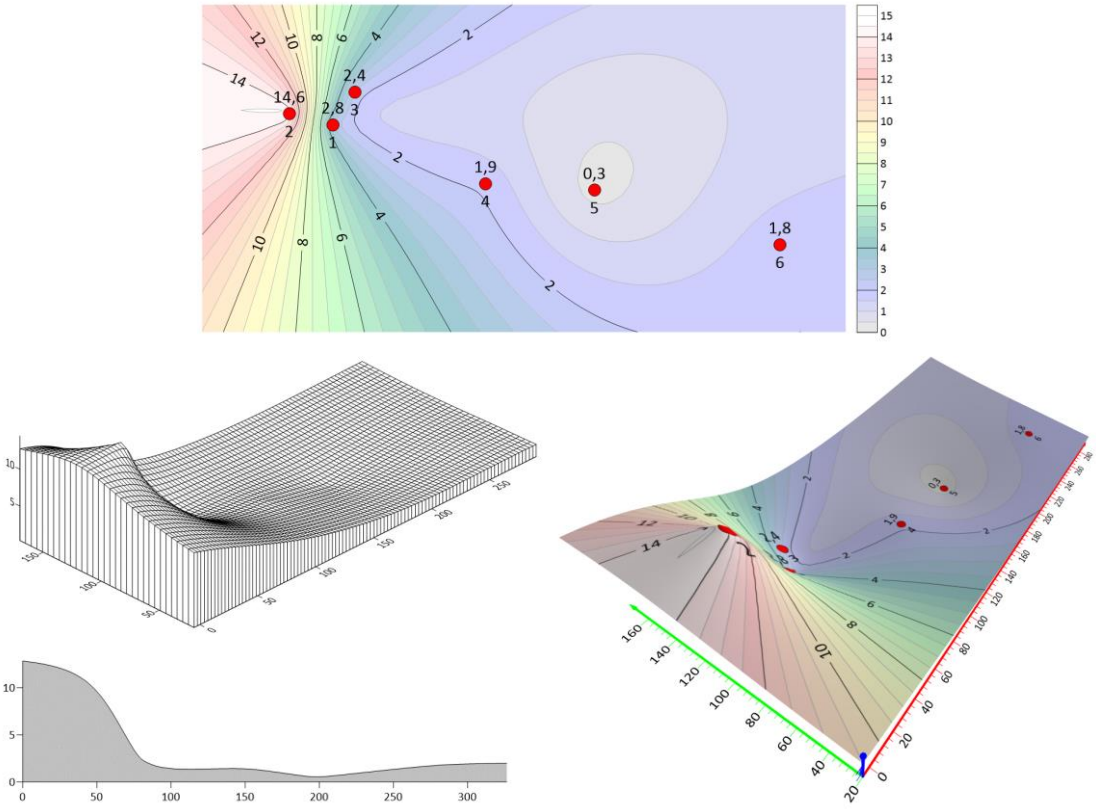


Рисунок 6. Моделювання поширення Cu у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

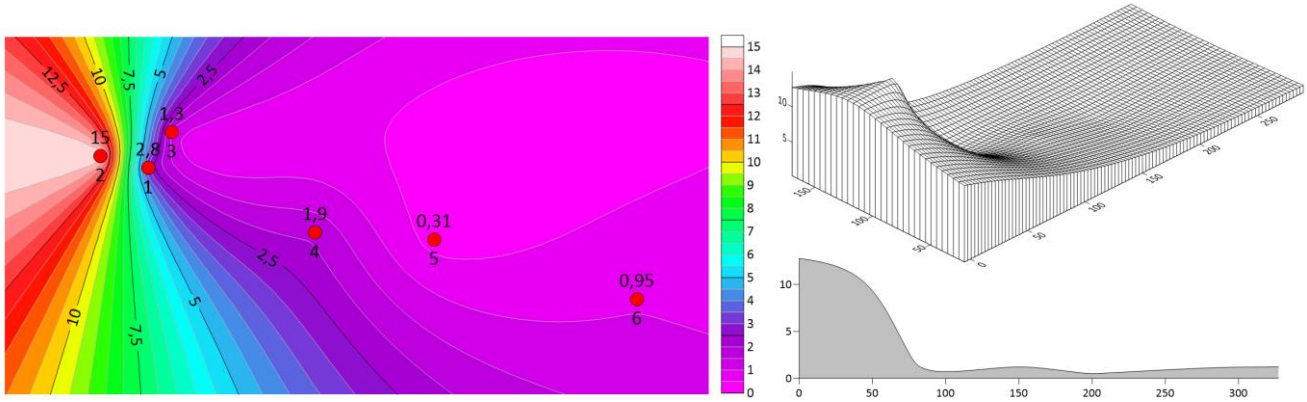


Рисунок 7. Моделювання поширення Cu у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

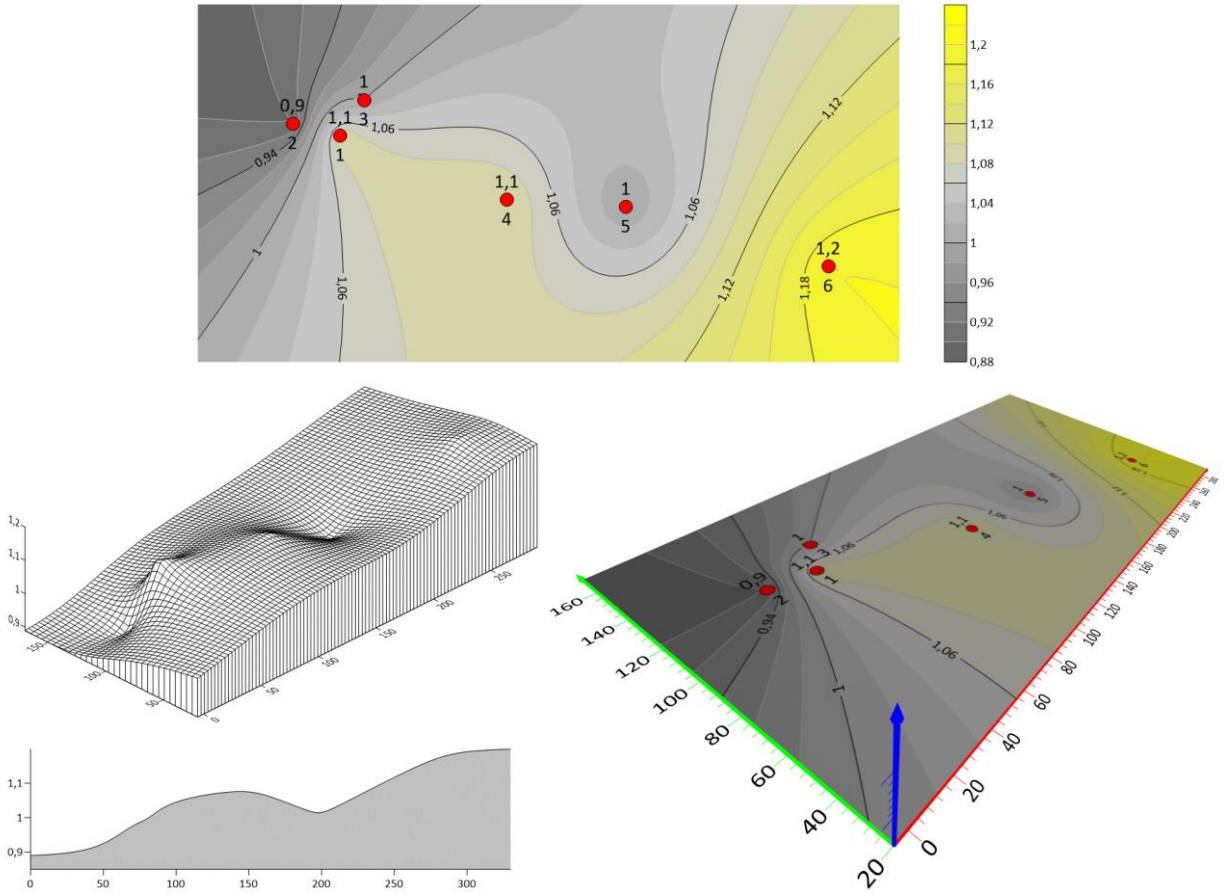


Рисунок 8. Моделювання поширення Co у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

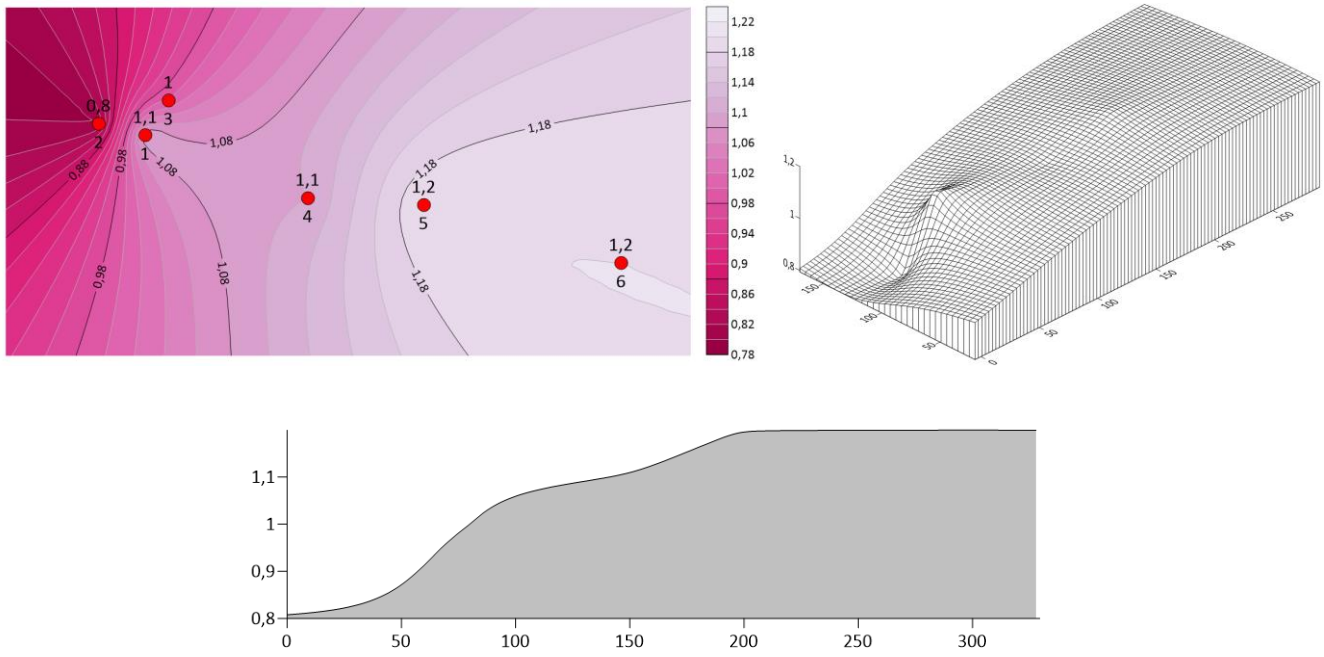


Рисунок 9. Моделювання поширення Co у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

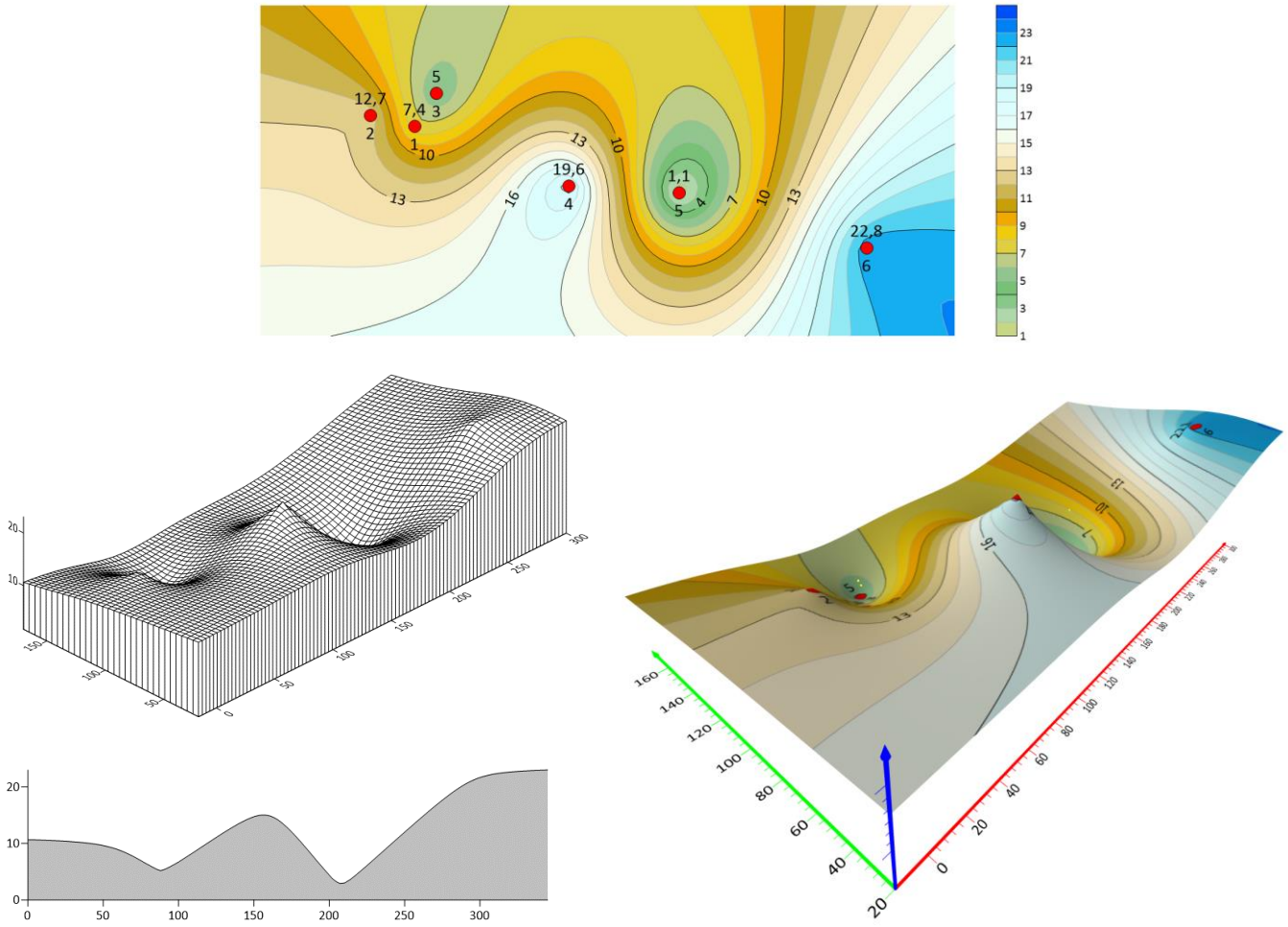


Рисунок 10. Моделювання поширення Pb у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

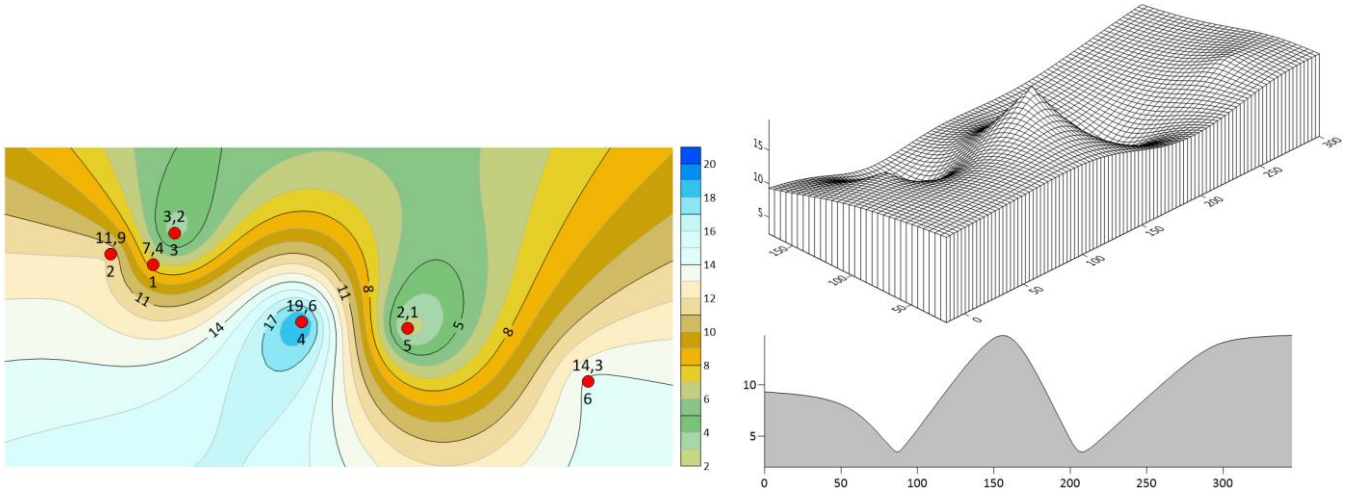


Рисунок 11. Моделювання поширення Pb у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

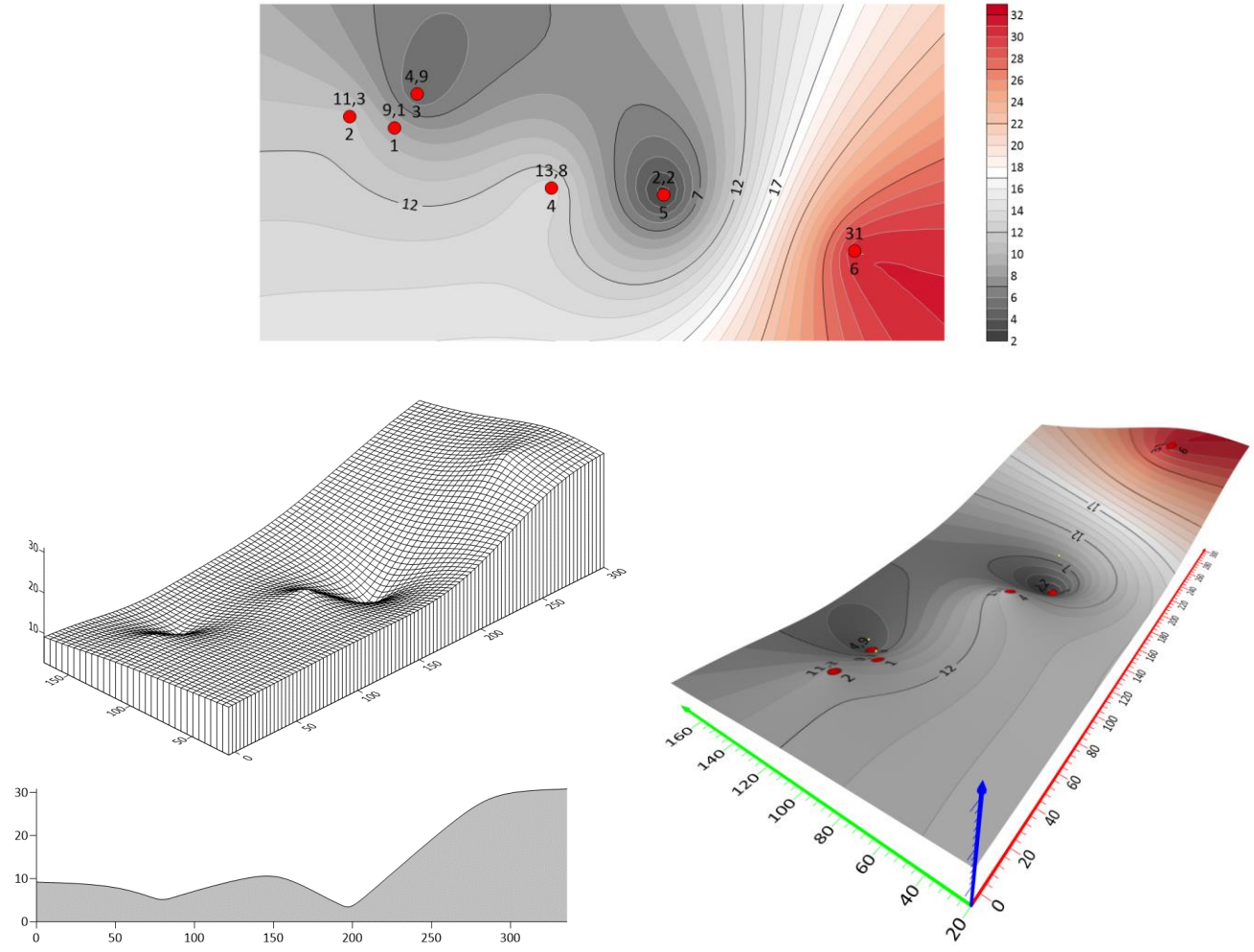


Рисунок 12. Моделювання поширення Zn у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

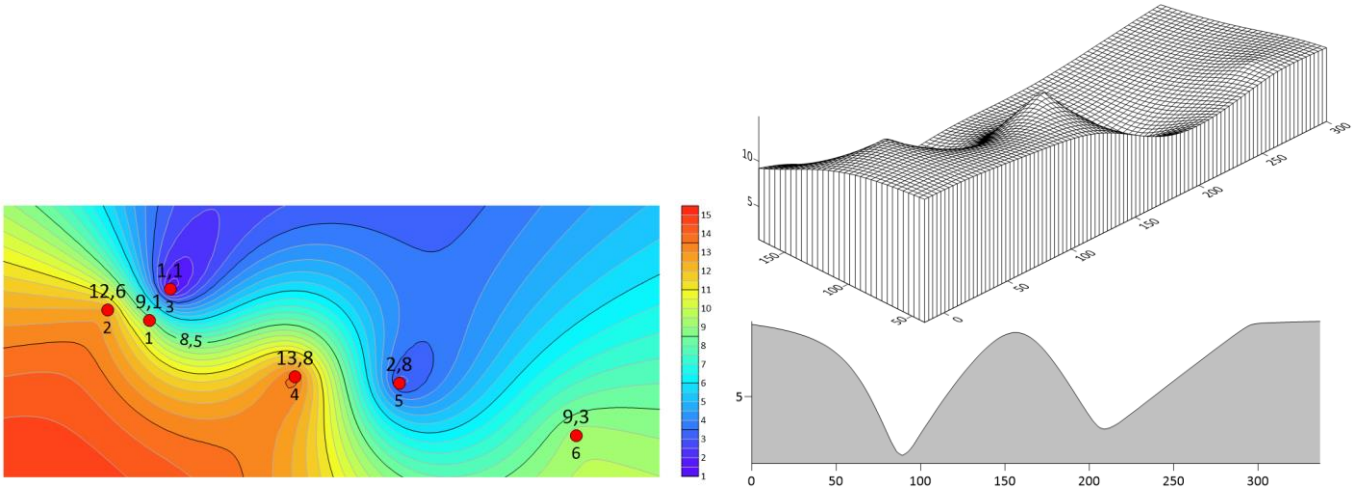


Рисунок 13. Моделювання поширення Zn у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

На відстані 100 м від підніжжя у горизонті >15 см спостерігається перевищення допустимих норм миш'яку (2,1 мг/кг). Вміст Cr на всіх ділянках сміттєзвалища та у зоні його впливу не перевищує 0,01 мг/кг (ГДК становить 6 мг/кг). Рухомі форми Ni на досліджуваних ділянках не перевищують норми (4 мг/кг) та становлять 0,5-3,1 мг/кг. Причому, найвищі показники зафіксовано на поверхні сміттєзвалища (2,4 мг/кг) та на відстані 500 м (2,1-3,1 мг/кг). Показники кадмію на досліджуваних ділянках становлять 0,1-0,36 мг/кг при допустимих нормах 0,7 мг/кг (рис. 14).

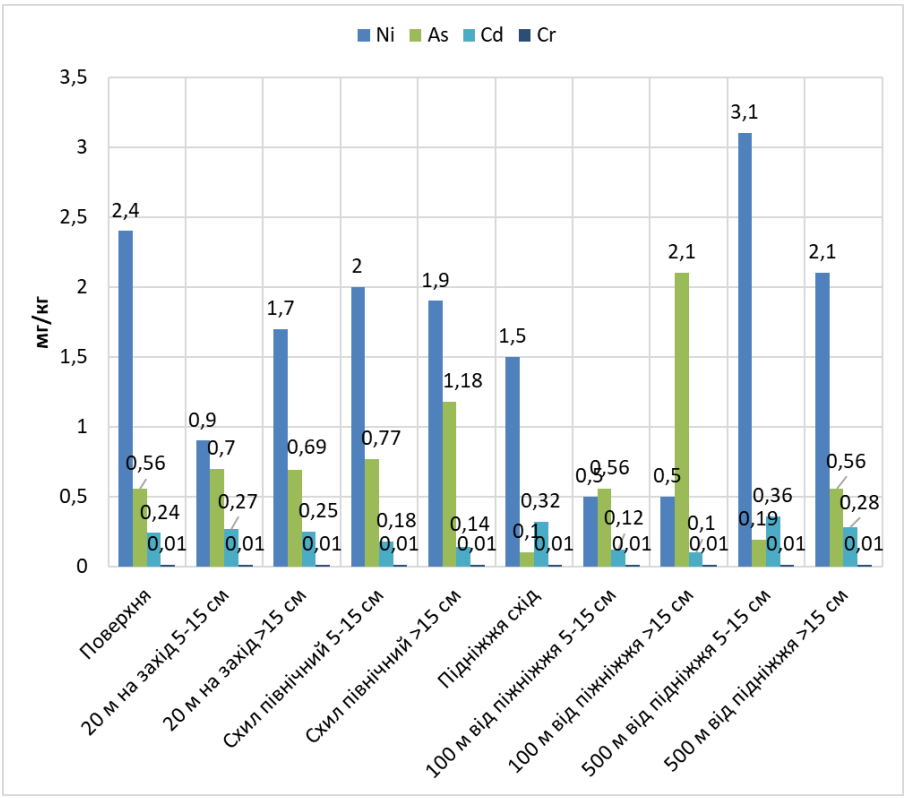


Рисунок 14. Вміст важких металів Ni, As, Cd, Cr у едафотопах Львівського сміттєзвалища

Моделювання поширення важких металів Ni, As, Cd, Cr у едафотопах Львівського сміттєзвалища наведено на рис. 15-22.

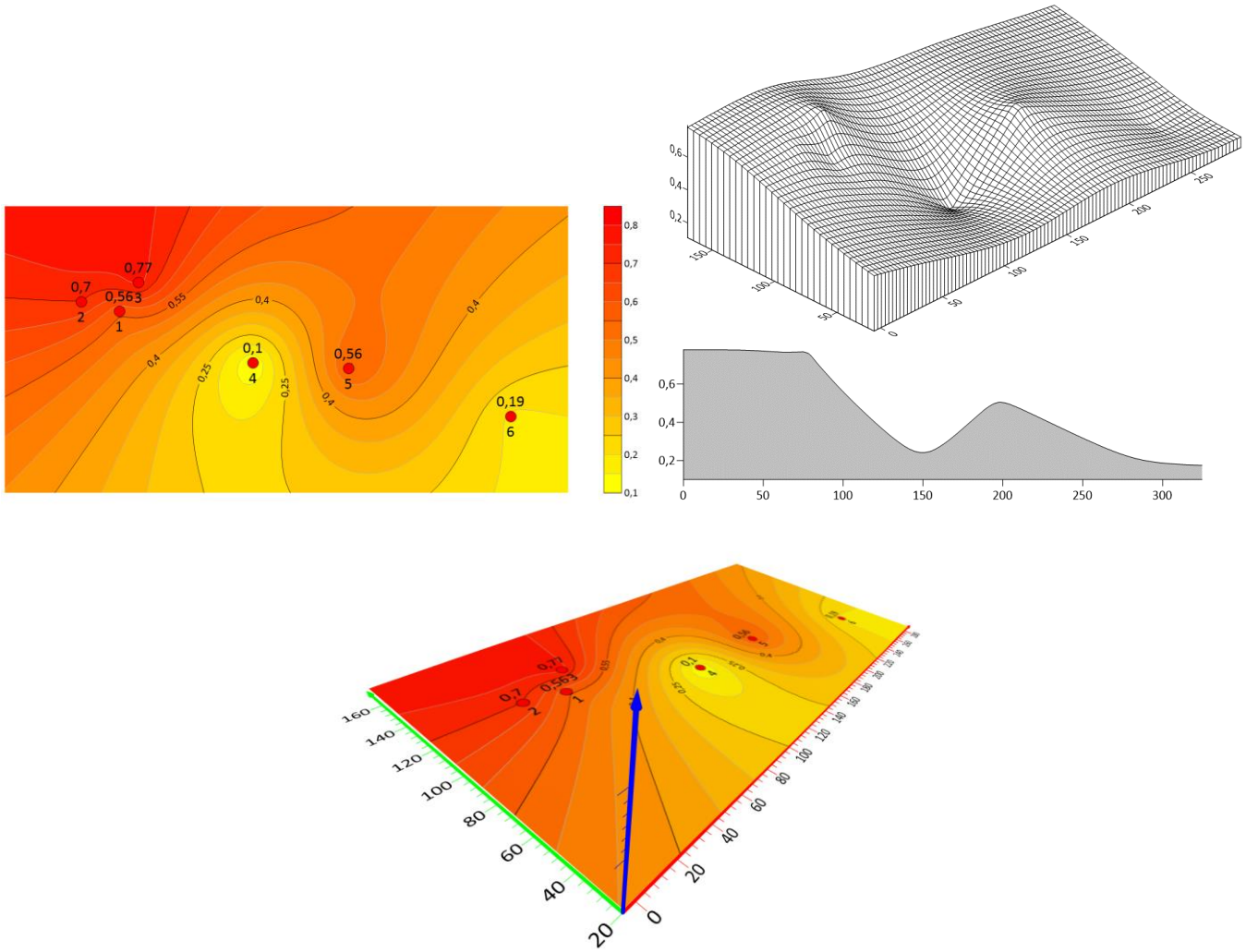


Рисунок 15. Моделювання поширення As у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

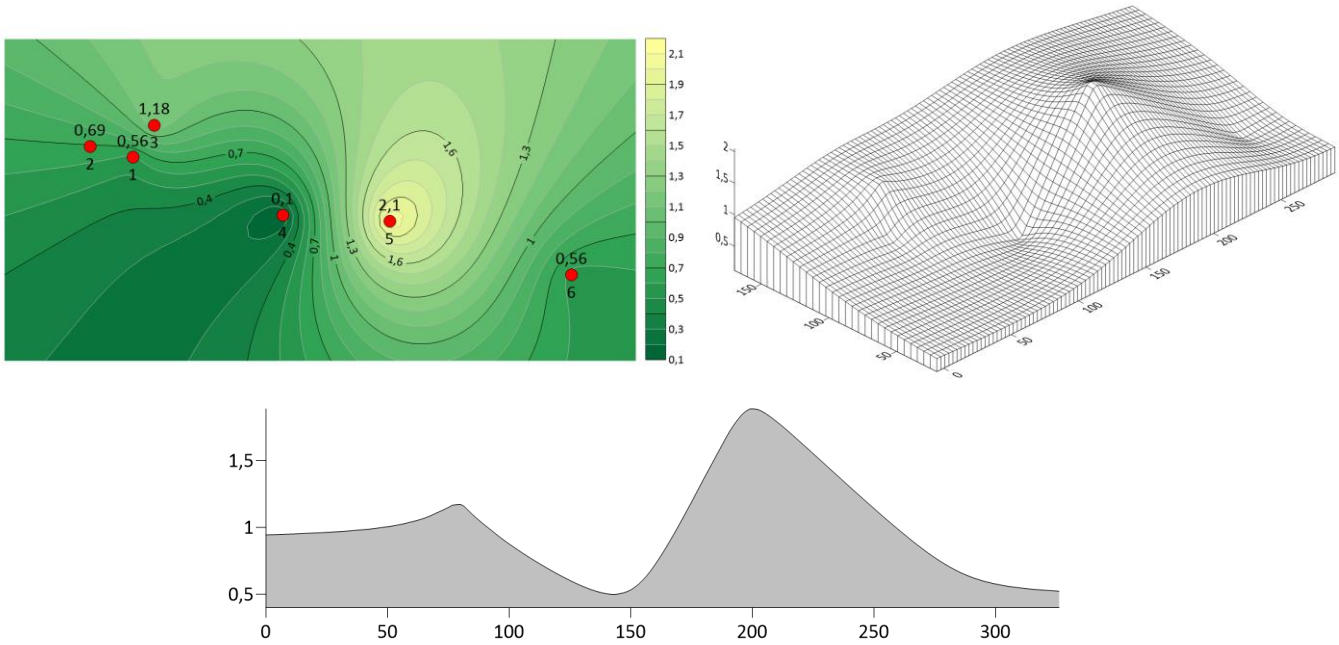


Рисунок 16. Моделювання поширення As у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

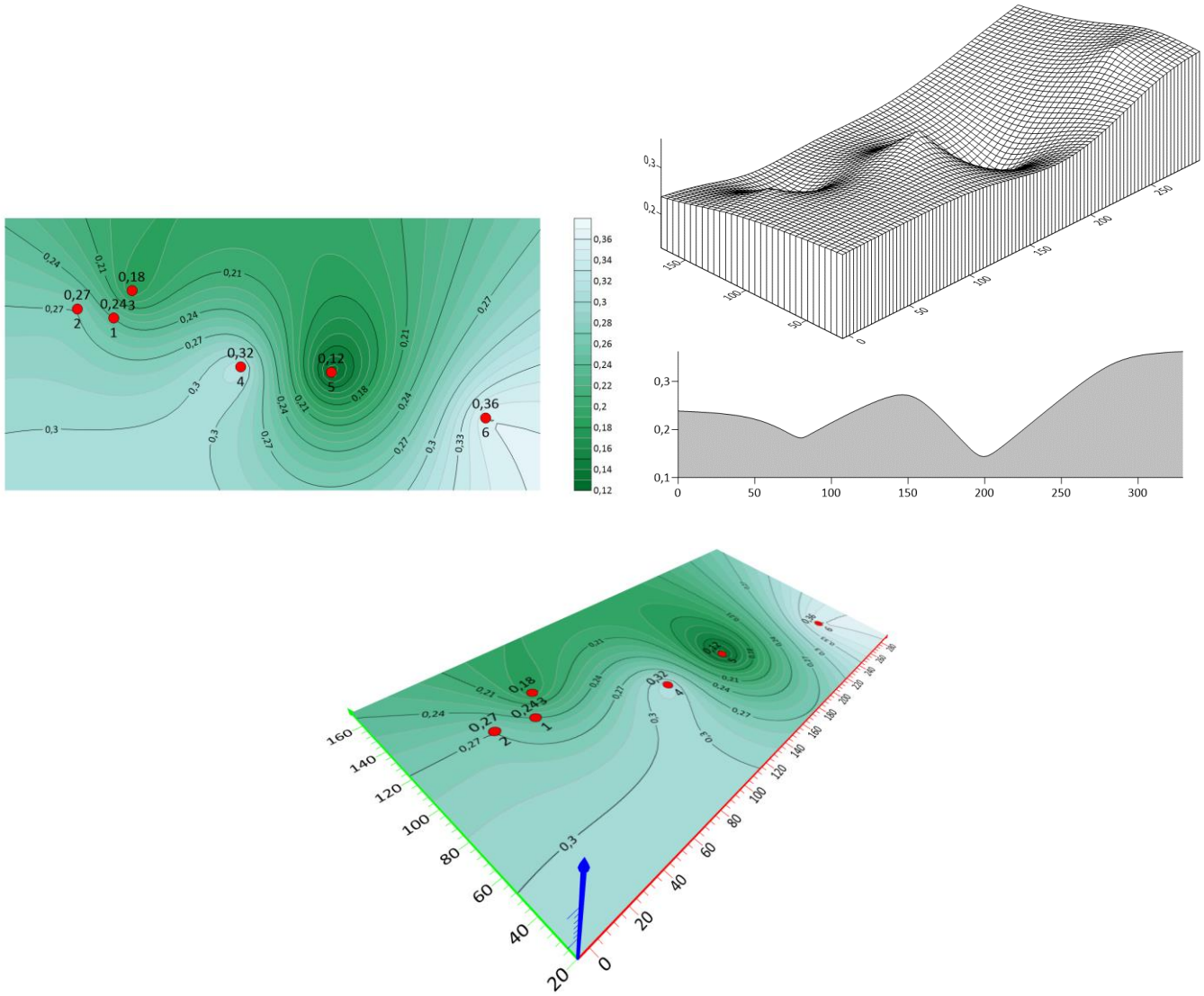


Рисунок 17. Моделювання поширення Cd у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

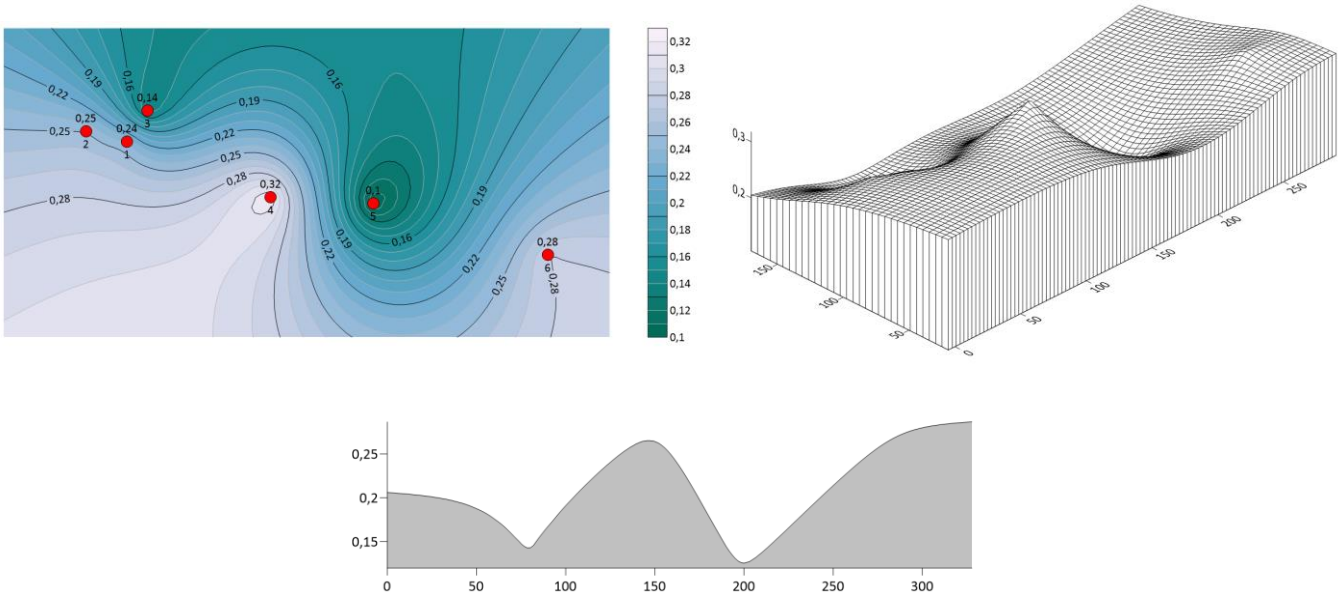


Рисунок 18. Моделювання поширення Cd у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

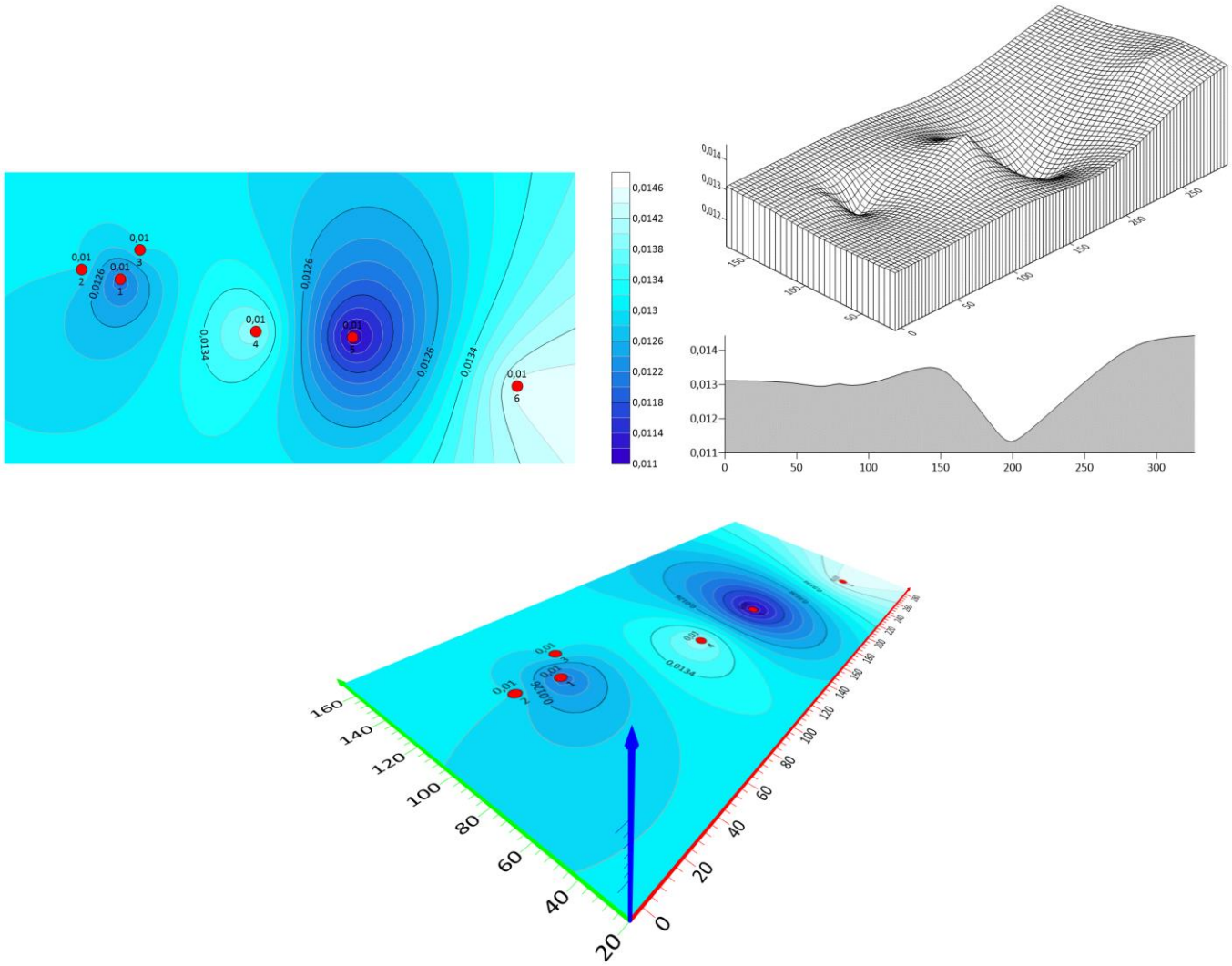


Рисунок 19. Моделювання поширення Cr у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

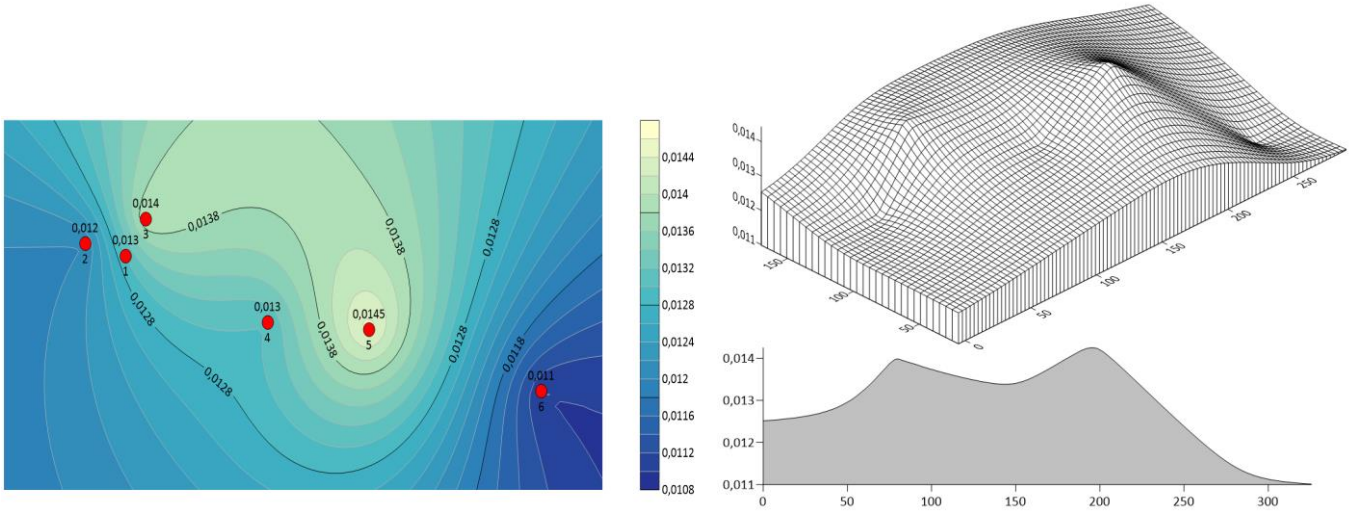


Рисунок 20. Моделювання поширення Cr у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

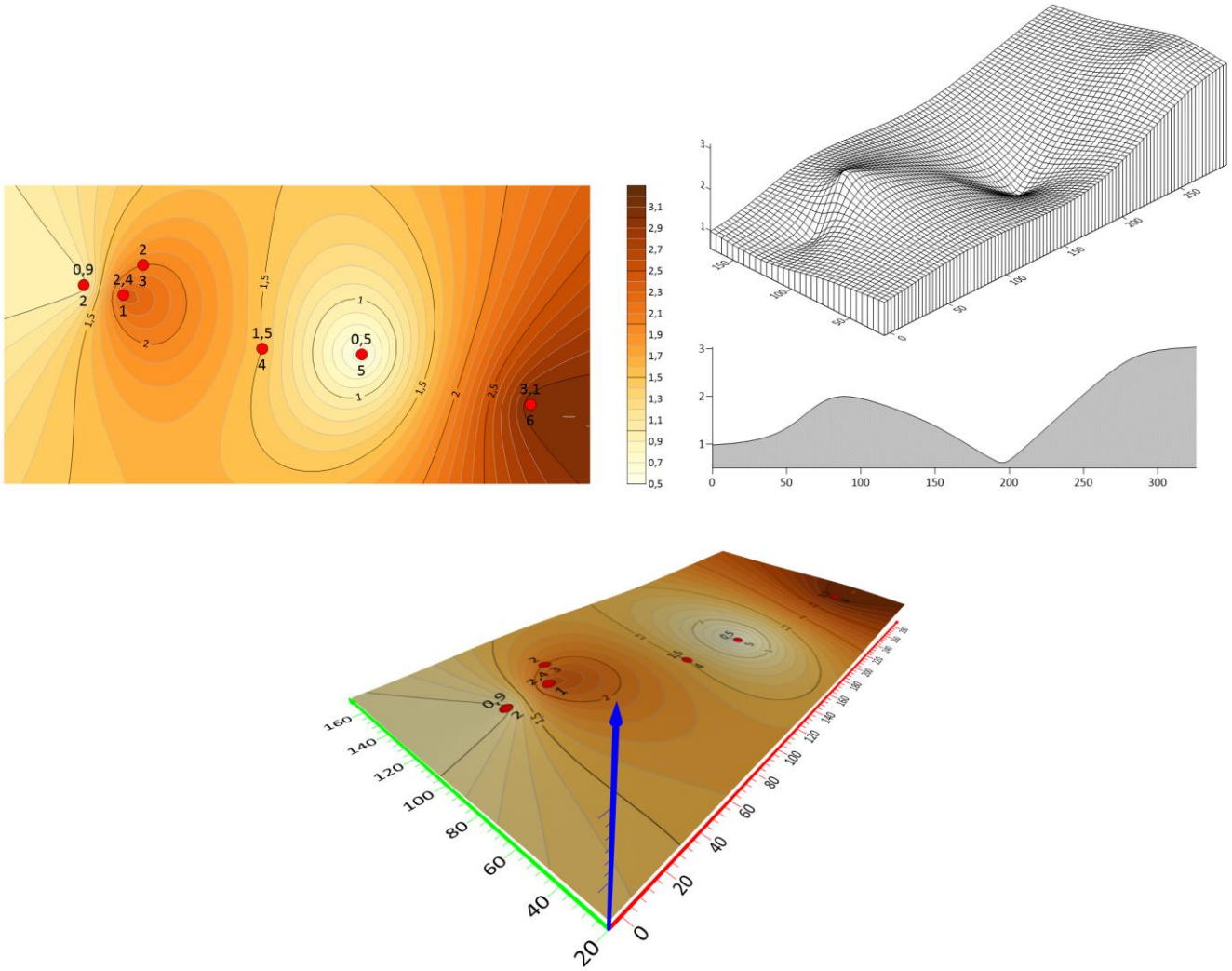


Рисунок 21. Моделювання поширення Ni у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

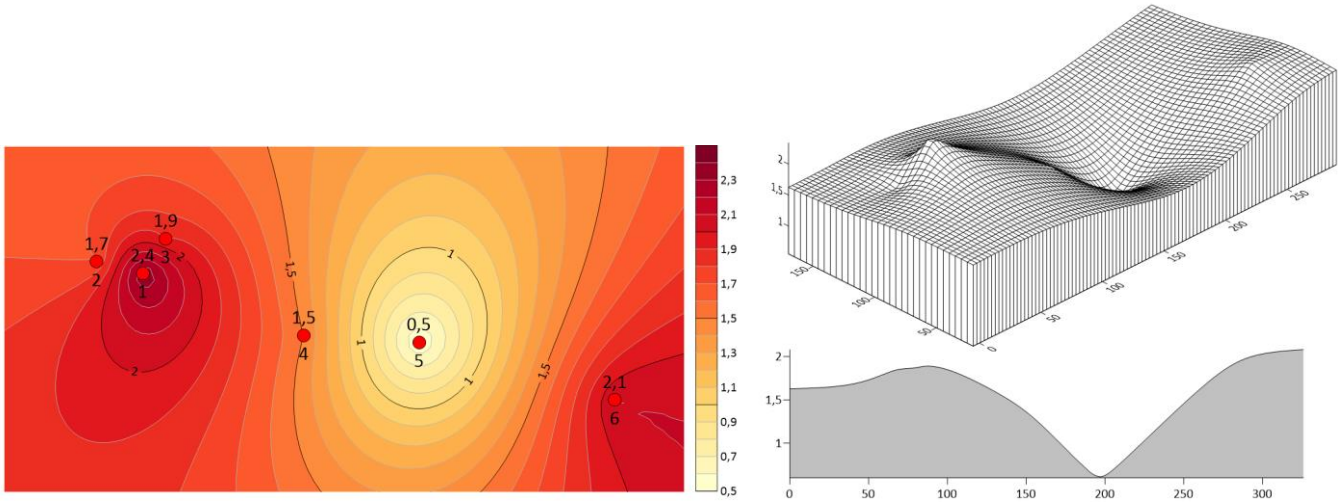


Рисунок 22. Моделювання поширення Ni у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

Загалом, значне накопичення важких металів відбувається біля підніжжя та на певній відстані від підніжжя сміттєзвалища. На поверхні сміттєзвалища та на бічних його поверхнях перевищення допустимих норм важких металів спостерігається фрагментарно.

Дослідження едафотопів Львівського міського сміттєзвалища на вміст радіонуклідів показали про їх депонування у нижніх горизонтах. Перевищення допустимих норм (НРБУ-97) вмісту радіонуклідів у едафотопах сміттєзвалищ не спостерігається.

У горизонті 5-15 см загальна питома активність радіонуклідів становила $79{,}2^{\pm 11{,}1}$ Бк/кг. Причому вміст деяких радіонуклідів був наступним: ^{40}К – 258 Бк/кг; ^{226}Ra – 14,9 Бк/кг; ^{232}Th – 32,3 Бк/кг (рис. 23).

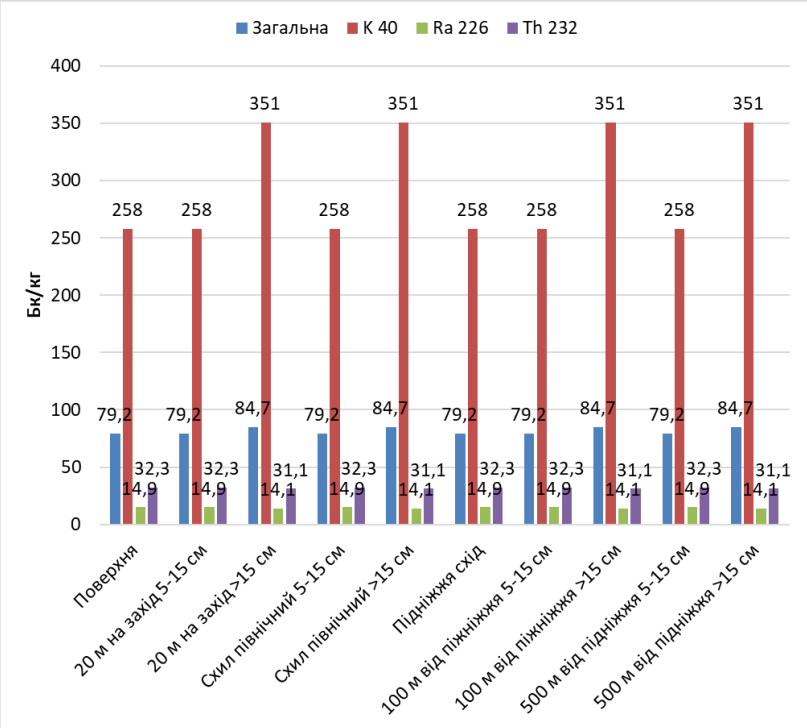


Рисунок 23. Вміст важких металів Ni, As, Cd, Cr у едафотопах Львівського сміттєзвалища

Високі показники загальної питомої активності радіонуклідів ($84{,}7^{\pm 13{,}7}$ Бк/кг) спостерігаються на глибині більше 15 см на таких ділянках – 20 м на захід від сміттєзвалища; на середній експозиції північного схилу; за 100 м і 500 м від підніжжя сміттєзвалища. Водночас вміст радіонуклідів тут становив: ^{40}К – 351 Бк/кг; ^{226}Ra – 14,1 Бк/кг; ^{232}Th – 31,1 Бк/кг.

Моделювання поширення радіонуклідів в едафічних горизонтах наведено на рис. 24-29.

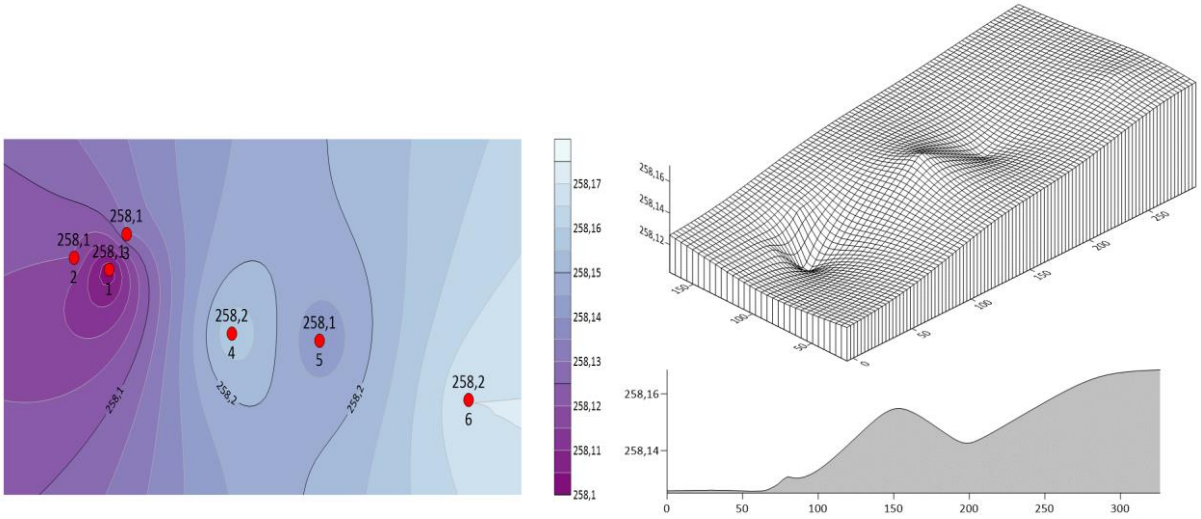


Рисунок 24. Моделювання поширення К у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

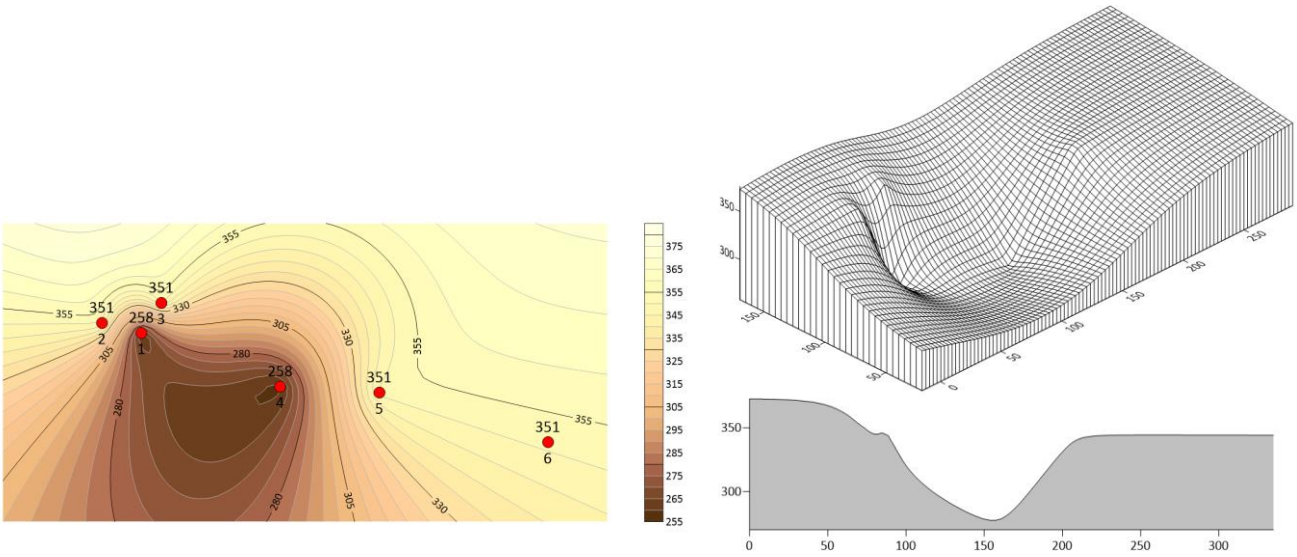


Рисунок 25. Моделювання поширення K у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

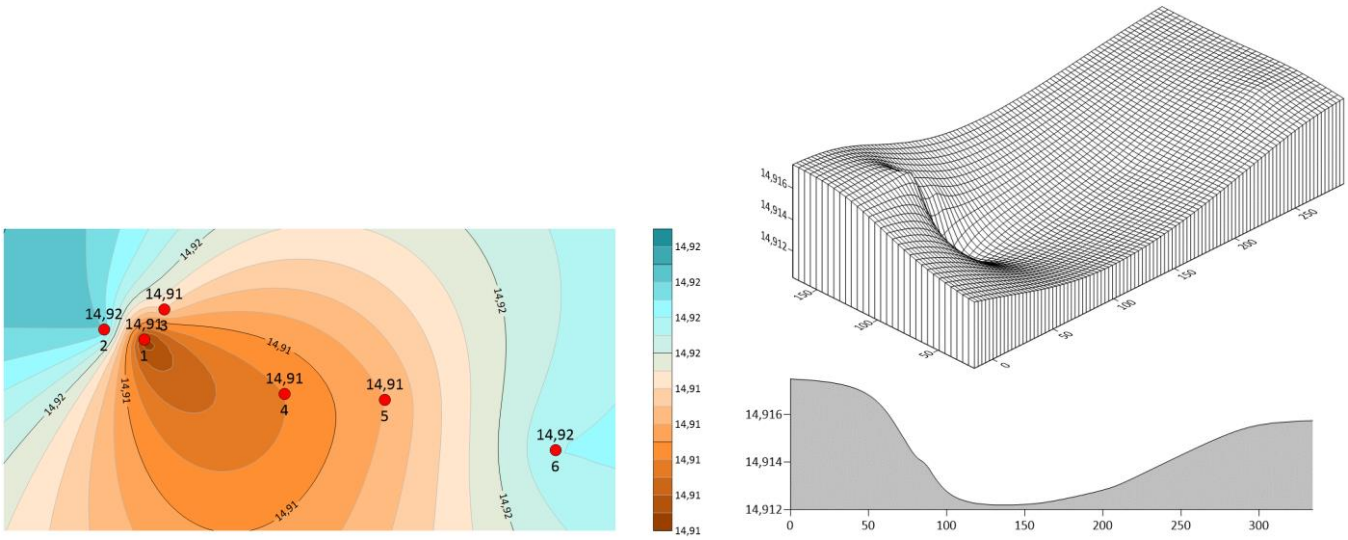


Рисунок 26. Моделювання поширення Ra у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

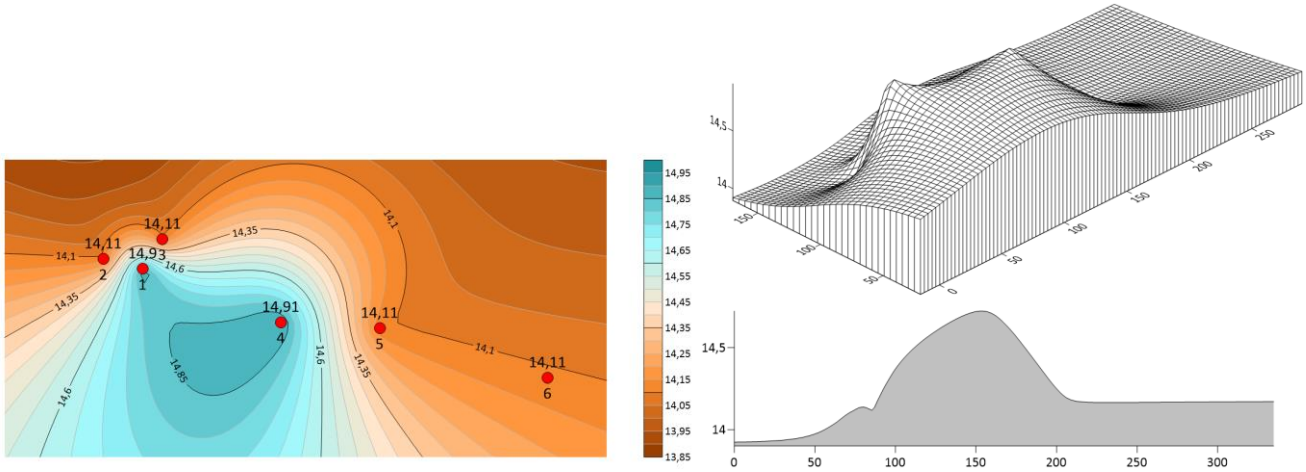


Рисунок 27. Моделювання поширення Ra у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

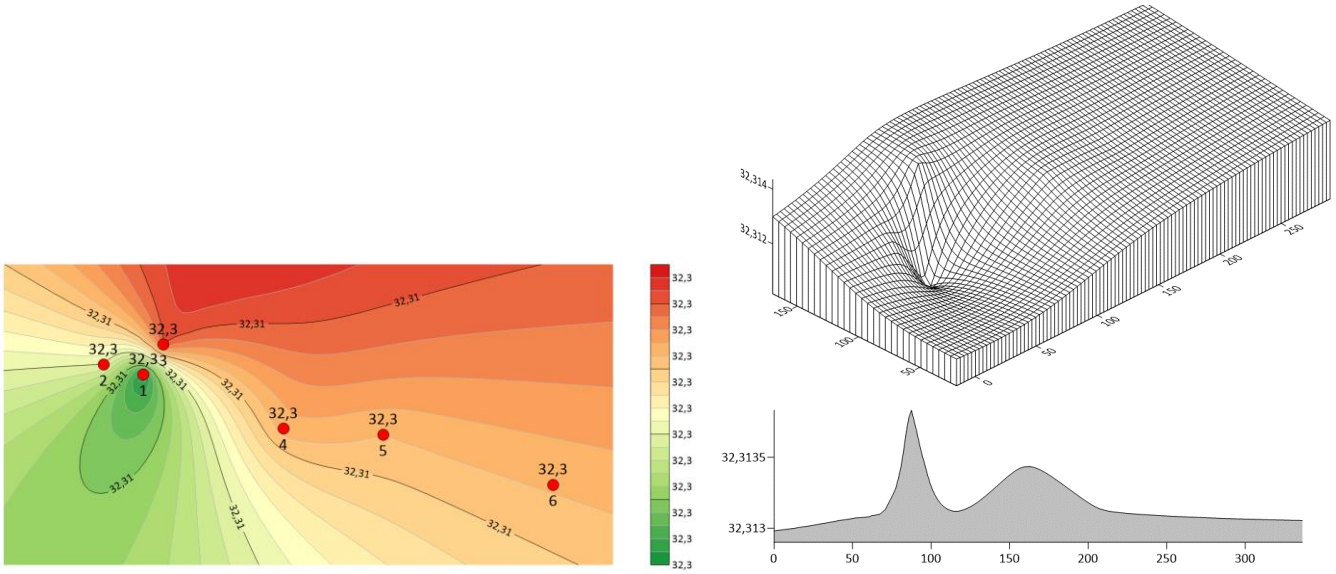


Рисунок 28. Моделювання поширення Th у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

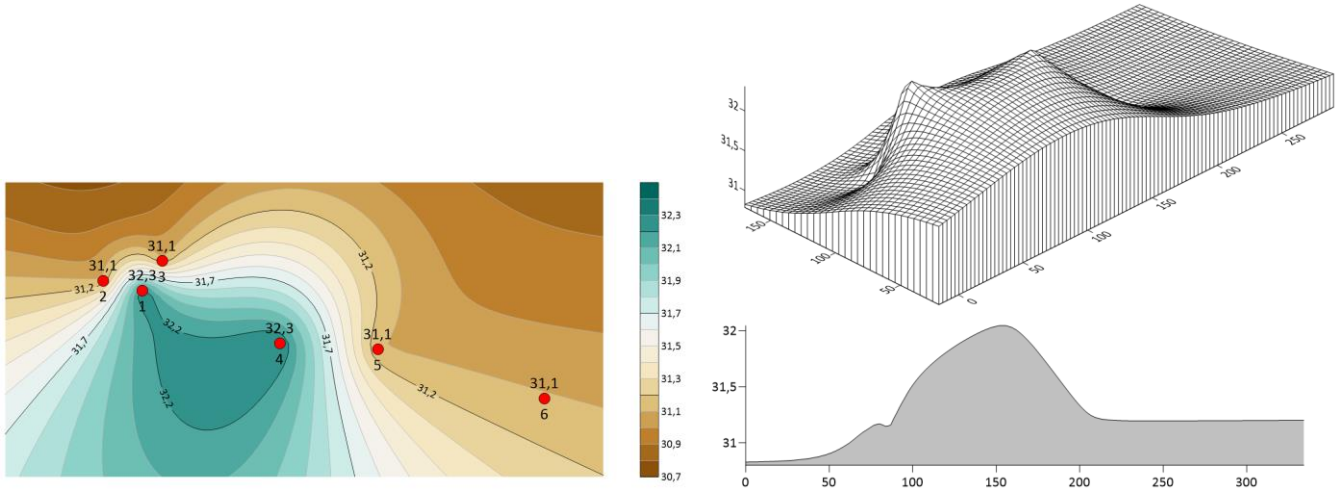


Рисунок 29. Моделювання поширення Th у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

Вивчення питань щодо накопичення едафотопами сміттєзвалищ радіонуклідів природного походження є важливим із точки зору оцінки комплексного техногенного пресингу негативних факторів на екосистему[741].

Аналіз мікологічного складу антропогенних субстратів Львівського міського сміттєзвалища показав, що видовий склад грибів надзвичайно збіднений[742]. Причиною таких явищ є підвищена кислотність субстрату (мікроміцети при такій умові гинуть) та високий вміст важких металів (чутливість родів *Phoma* і *Fusarium*). Розвиток мікроміцетів роду *Penicillium* є свідченням агресивного середовища в умовах антропогенно змінених умов довкілля. Цей рід розвивається на ділянках сміттєзвалища із підвищеною кислотністю субстрату. Індекс різноманітності за Уіттекером є низьким та становить: $D=S/(\lg N)=10/(\lg 212)=2{,}32$; де, D – індекс різноманітності; S – кількість видів у описі на площадці стандартного розміру; N – загальна кількість особин в описі.

[741] Василь Попович та Володимир Кучерявий, "Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту" (2012) 20 Пожежна безпека 60, <*https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB/article/view/689/689*>.
[742] Василь Попович, "Макроміцети сміттєзвалищ як біоіндикатори стану техногенного едафотопу" (2012) 2(3) Біологічний вісник МДПУ 59, <*www.ujecology.com/articles/macromycetes-of-dumping-sites-as-bioindicators-of-anthropogenic-edaphotop-status.pdf*>.

Таблиця 1.

Колонії мікроміцетів антропогенних ґрунтів Львівського сміттєзвалища

Вид	**Кількість грибних пропагул на 1 гр. ґрунту (тис.)x10^4**
Клас *Hyphomycetes (Deuteromycetes)*	
Родина *Moniliaceae*	
Aspergillus ustus	15
Aspergillus fumigatus Fries.var.sclerotiorum	28
Aspergillus fischeri var.spinosus	22
Родина *Tuberculariaceae*	
Penicillium ochro-chloron	15
Penicillium brevicompactum	18
Fusarium avenaceum	34
Fusarium expansum	12
Родина *Dematiaceae*	
Aureobasidsum pullulans	43
Phoma glomerata	16
Phoma pomorum	9

Фізико-механічні властивості субстратів сміттєзвалища у зоні горіння наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Фізико-механічні властивості субстратів сміттєзвалища у зоні горіння

Досліджувана ділянка	**Горизонт, см**	**pH**	**Вологість шару, %**	**Зв'язність, кг/см^2**	**Виялені колонії мікроміцетів**
Південна експозиція схилу	0-5 5	5,0	35,5	6	*Penicillium ochro-chloron, Aspergillus fumigatus*
Західна експозиція схилу	0-5 5	6,5	40,2	7	*Aspergillus fumigatus, Rhizopus oryzae*
Поверхня сміттєзвалища	0-5 5	5,5	37,3	21	*Penicillium ochro-chloron, Rhizopus oryzae*
Берегова зона гудронового озера	0-5 5	6,5	57,8	17	*Aspergillus niger*

Мікроміцети на сміттєзвалищах виконують важливу екологічну функцію – розкладають органічні відходи з утворенням гумусу. Вирощені у лабораторних умовах колонії мікроміцетів, а саме – *Aspergillus fumigatus* (родина *Moniliaceae*), *Aspergillus niger* (родина *Moniliaceae*), *Rhizopus oryzae* (родина *Mucoraceae*), *Penicillium ochro-chloron* (родина *Moniliaceae*) притаманні техногенно забрудненим територіям. Ці види є домінантними у зразках субстратів зони горіння сміття.

Таким чином, у зоні впливу горіння сміттєзвалищ колонії мікроміцетів мають незначний видовий склад. Субстрат характеризується низьким вмістом гумусу, кислою реакцією середовища, високою звязністю. Виявлені мікроміцети у зоні горіння є індикаторами забруднення важкими металами субстратів, викликають різноманітні захворювання людей, у тому числі алергічні реакції. Зокрема, вид *Aspergillus niger* притаманний субстратам, які забруднені нафтою та нафтопродуктами. *Penicillium ochro-chloron* – спороносний вид, який свідчить про надмірний вміст важких металів у субстратах. *Aspergillus fumigatus* притаманний середовищам, де знижений вміст кисню (в т. ч. унаслідок горіння). *Rhizopus oryzae* викликає алергічні реакції людини.

Розподіл мікроміцетів Львівського сміттєзвалища за забарвленням показав, що всі види, які набули розвитку відносяться до темнобарвних. Розвиток темнобарвних мікроміцетів є свідченням техногенно небезпечного середовища, адже меланіни приймають участь у захисних реакціях мікобіоти проти стресів. Світлобарвні мікроміцети мають значно нижчі захисні функції і в умовах техногенного пресингу не розвиваються та гинуть.

За швидкістю росту переважають повільно зростаючі мікроміцети (80%), що свідчить про збіднений мінеральний склад едафотопів. Швидко зростаючі мікроміцети (цукрові мікрогриби або сахаролітики) притаманні гумусованим субстратам, які багаті на органічні сполуки.

4. ВИСНОВКИ

У результаті досліджень техногенних едафотопів Львівського сміттєзвалища було встановлено:

- найбільшого розвитку на кислих ґрунтах набули такі види трав'яної та деревно-чагарникової рослинності: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Taraxacum officinale* Wigg., *Arctium lappa* L., *Equisetum arvense* L., *Humulus lupulus* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Betula pendula* Roth.;
- з точки зору зволоження едафічні умови на глибині 1-10 см на досліджуваних ділянках сміттєзвалища є позитивними для розвитку рудеральної рослинності (*Chenopodium urbicum* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Cirsium vulgare* (Savi.), *Equisetum arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L.), значення зв'язності едафотопів (опору зм'яттю) знаходяться у межах 1-7 кг/см^3, що відповідає природним значенням лісу або луки;
- вологість едафотопів на глибині 20 см і більше має позитивний вплив на розвиток деревно-чагарникової рослинності, що є особливо актуальним для сміттєзвалищ;
- дослідження едафотопів на вміст радіонуклідів показали про їх депонування у нижніх горизонтах;
- всі види мікроміцетів, які набули розвитку відносяться до темнобарвних, за швидкістю росту переважають повільно зростаючі мікроміцети (80%);
- значне накопичення важких металів відбувається біля підніжжя та на певній відстані від підніжжя сміттєзвалища. На поверхні сміттєзвалища та на бічних його поверхнях перевищення допустимих норм важких металів спостерігається фрагментарно.

Слід зазначити, що в серпні 2021 року розпочалася рекультивація Львівського сміттєзвалища, проте це не вирішує проблеми техногенного впливу заскладованих відходів. Технічний етап рекультивації передбачав накривання звалища дренажним та ізоляційним шаром. Підготовчі роботи почалися наприкінці 2020 року. На даний час сміттєзвалище накрите ізоляційним шаром та спостерігається часткове покриття шаром родючих грунтосумішей. Результати наведених досліджень можуть мати практичне втілення під час біологічного етапу рекультивації сміттєзвалищ у межах регіону.

РАДІАЦІЙНО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМ У ЗОНАХ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ СМІТТЄЗВАЛИЩ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

RADIATION AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ECOSYSTEMS IN TECHNOGENICALLY IMPACTED AREAS: A CASE STUDY OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

Тетяна Скиба, ад'юнкт, e-mail: tatyana.plyazko@gmail.com, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0874-017X

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.25

Анотація

У роботі представлено результати радіоекологічної оцінки складових екосистем (ґрунтів, рослин, повітря) в зоні впливу полігонів побутових відходів у межах Західного Лісостепу України. Дослідження охоплювали аналіз ґрунтів та повітря на чотирьох об'єктах — полігонах ТПВ у с. Малашівці, м. Кременець, м. Хмельницький та м. Дунаївці. Встановлено просторові коливання вмісту природних та техногенних радіонуклідів (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) залежно від орієнтації території щодо полігонів, глибини горизонту відбору та антропогенного навантаження. Показники ефективної питомої активності природних радіонуклідів не перевищували нормативних значень (370 Бк/кг), однак на окремих ділянках перевищували фоновий рівень у кілька разів. Спостерігається акумуляція Cs-137 у верхніх шарах ґрунту, що вказує на нещодавнє його надходження або пилове перенесення. Виявлено неоднорідність показників питомої активності радіонуклідів з різних сторін горизонту та вертикальних шарах ґрунту, що свідчить про потенційне радіаційне навантаження об'єктів захоронення відходів на прилеглі екосистеми. Це підкреслює важливість та необхідність регулярного радіометричного контролю сміттєзвалищ.

Ключові слова: сміттєзвалище, відходи, тверді побутові відходи, сміттєзвалище, радіонукліди, радіаційний фон, ефективна питома активність радіонуклідів, джерело іонізуючого випромінювання, екологічна безпека, екологічна небезпека.

Abstract

The paper presents the results of a radioecological assessment of ecosystem components (soils, plants, air) in the area affected by municipal waste landfills within the Western Forest-Steppe of Ukraine. The study covered the analysis of soils and air at four sites — municipal waste landfills in the village of Malashivtsi, the city of Kremenets, Khmelnytskyi, and Dunayivtsi. Spatial variations in the content of natural and technogenic radionuclides (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) were established depending on the orientation of the territory relative to the landfills, the depth of the sampling horizon, and anthropogenic load. The effective specific activity of natural radionuclides did not exceed the regulatory values (370 Bq/kg), but in some areas it exceeded the background level several times. Accumulation of Cs-137 in the upper soil layers was observed, indicating its recent arrival or dust transport. There's been some unevenness in the specific activity of radionuclides from different sides of the horizon and vertical soil layers, which shows the potential radiation load of waste disposal sites on nearby ecosystems. This highlights the importance and need for regular radiometric monitoring of landfills.

1. ВСТУП

Враховуючи швидкі темпи розвитку промисловості, кожна галузь супроводжується утворенням значної кількості відходів, які не мають подальшого використання. Особливо небезпечними є радіоактивні відходи, відходи електричного та електронного обладнання, батарейки, акумулятори та інші. Поширеним методом поводження з відходами. особливо в країнах, що розвиваються, в тому числі і в Україні, є захоронення спеціально на відведених територіях. Їх площа яких щороку зростає. Полігони відходів та сміттєзвалища є екологічно небезпечними об'єктами не лише для довкілля, але і для здоров'я населення[743]. Особливо ситуація загострюється внаслідок виникнення пожеж на сміттєзвалищах, що пришвидшує міграцію небезпечних компонентів як у повітря, так у ґрунтові та водні горизонти [744,745]. Тому важливо вчасно проводити детальний моніторинг та оцінку впливу полігонів відходів на екосистеми.

Значна кількість досліджень присвячена оцінці впливу сміттєзвалищ та моделюванню і прогнозуванню їх впливу. Проте, дослідження можливого радіаційного ризику від полігонів побутових відходів в Україні не проводилися, тоді як закордоном вибіркова оцінка полігонів побутових відходів здійснюється [746,747].

З метою радіоекологічної оцінки впливу сміттєзвалищ на прилеглі екосистеми проведено дослідження грунтів, повітря та рослин. Результати замірів радіаційного фону демонструють коливання показників відносно сторін горизонту на обраних сміттєзвалищах, але знаходяться в межах норми. Результати детально висвітлено у публікації[748].

Запобігання радіоактивному забрудненню є одним з головних завданнь природоохоронного законодавства при експлуатації полігонів твердих побутових відходів, обов'язковим заходом є радіологічний контроль відходів [749]. Адже радіонукліди, що містяться у складі відходів, акумулюються в ґрунті, залучаються в біогеохімічні цикли міграції й стають новими компонентами ґрунту. Залежно від стабільності сорбції радіонуклідів ґрунтом і швидкості міграції визначається їх поширення в харчовому ланцюзі.

Пріоритет та важливість саме таких досліджень пояснюється тим, що аварія на Чорнобильській АЕС призвела до радіоактивного забруднення величезних площ території країни довгоживучими радіонуклідами цезію, стронцію, плутонію та америцію, які є біологічно активними і здатні до інтенсивної міграції по трофічних ланцюгах в напрямку до людини. Також використання джерел іонізуючого випромінювання, різних за активністю та впливом, як у промисловому так і у побутовому секторах, підвищує імовірність потрапляння небезпечних відходів у побутові, які в подальшому розміщують на спеціально відведених територіях. Це обумовлює необхідність проведення регулярного і ретельного радіометричного контролю різноманітних об'єктів, в тому числі сміттєзвалищ.

---

[743] Василь Попович, "Еколого-техногенна небезпека сміттєзвалищ та наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації" (автореф дис д-ра техн наук, М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т 2017) URL: *https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/3841*.

[744] Василь Попович та Володимир Кучерявий, "Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту" (2012) 20 Пожежна безпека 60, <*https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB/article/view/689/689*>.

[745] Василь Попович та Володимир Кучерявий, "Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля" (2012) (1) Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету 162, URL: *http://nbuv.gov.ua/UJRN/vddau_2012_1_39*

[746] F Ambrosino, L Stellato та C Sabbarese, "A case study on possible radiological contamination in the Lo Uttaro landfill site (Caserta, Italy)" (2020) 1548 Journal of Physics: Conference Series 012001, XXXX <*http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1548/1/012001*> .

[747] MR Usikalu та інші, "Background radiation dose of dumpsites in Ota and Environs" (2017) 852 Journal of Physics: Conference Series 012045, <*http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/852/1/012045*>.

[748] Tetiana Skyba та інші, "DOSE RATE OF THE LANDFILLS OF NORTH-WEST PODILLYA (UKRAINE)", *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Proceedings SGEM 2020* (STEF92 Technology 2020) URL: *http://dx.doi.org/10.5593/sgem2020/5.1/s20.033*> .

[749] Про затвердження Правил експлуатації полігонів побутових відходів: Наказ Мінжитлокомунгоспу У-ни від 01.12.2010 № 435, <*https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1307-10#Text*>.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Метою роботи є оцінка радіаційно-екологічна небезпеки складових екосистем сміттєзвалищ в умовах високого техногенного навантаження шляхом проведення радіоекологічного дослідження ґрунтів, рослинних зразків та повітря.

Для оцінки обрано чотири об'єкти на території Західного Лісостепу. Зокрема, це два полігони ТПВ у Хмельницькій області – Хмельницький та Дунаєвецький полігони ТПВ та два у Тернопільській області – Малашівецький та Кременецький полігони ТПВ (рис. 1).

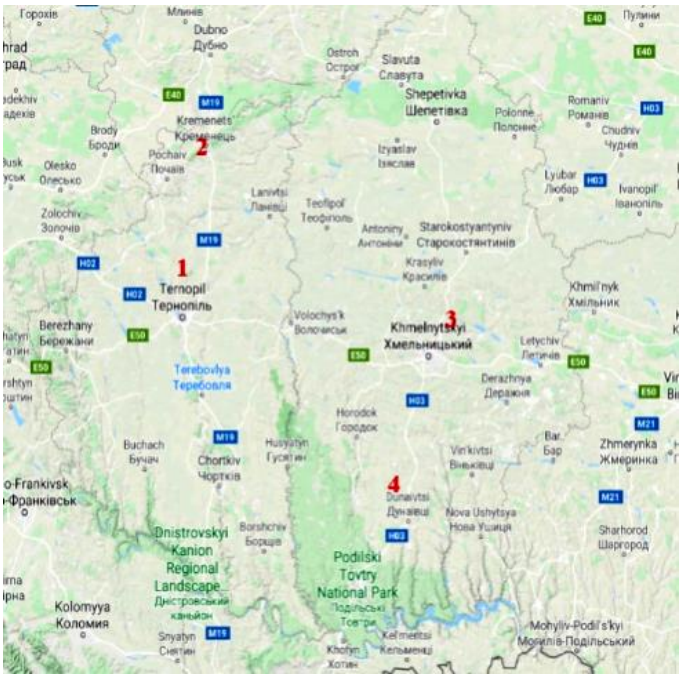


Рисунок 1. Схема розташування об'єктів дослідження – сміттєзвалищ:
1 – с. Малашівці, 2 – м. Кременець, 3 – м. Хмельницький, 4 – м. Дунаївці

В межах обраного регіону досліджень обрано полігони відходів, які оточені родючими сільськогосподарськими угіддями з типом ґрунтів – чорноземи опідзолені. Даний тип ґрунту володіє великою сорбційною ємністю, внаслідок чого просування в них радіоактивних речовин відбувається повільно. Сорбційні властивості чорноземних ґрунтів визначаються присутністю в них гумусу, який містить високомолекулярні речовини в колоїдному стані, які відрізняються доброю обмінною поглинальною ємністю. На інтенсивність і повноту поглинання радіоактивних ізотопів і надійність їх закріплення в твердій фракції ґрунту суттєво впливає реакція середовища і її кислотність. Кислотність ґрунтів неоднозначно впливає на біологічну рухливість у них радіонуклідів. Для ^{90}Sr, ^{137}Cs і великої групи нуклідів з наведеною активністю при збільшенні кислотності зростає інтенсивність надходження радіонуклідів у рослини.

Для оцінки вмісту питомої активності радіонуклідів в ґрунтів проведено відбір зразків з чотирьох сторін кожного сміттєзвалища (північна, південна, західна, східна), а також для порівняння на ділянці за 100 м (з чотирьох сторін горизонту) від об'єкту та у контрольній фоновій ділянці, що віддалена від автомобільних доріг і вважається максимально чистою. Горизонти відбору: 5-10 см, 10-20 см. Для відбору зразків ґрунту використано метод конверта. Зразки грунтів відібрано по 5 з кожного горизонту на визначених ділянках та зроблено змішані проби.

Згідно методики експресного визначення активності обстежуваних ділянок обраних об'єктів було проведено відбір та підготовку проб досліджуваного матеріалу (маркування та запечатування у вакуумні поліетиленові пакети); вимірювання радіаційного фону; дослідження замірів радіоактивності проб. В спеціалізованій лабораторії для вимірювання активності радіонуклідів в зразках ґрунту та рослин було використано ваги лабораторні, спектрометри бета- та гама-випромінювань. Останнім етапом була статистична обробка результатів та формування гіпотез та висновків.

Дослідження проведено у зимовий період 2020 року. Даний період обрано для повторювання досліджень в майбутньому та порівняння результатів в динаміці.

3. РЕЗУЛЬТАТИ

Згідно результатів спектрометрії грунтів було отримано наступні результати питомої активності радіонуклідів у ґрунтах, що відображені на рисунках 2-5.

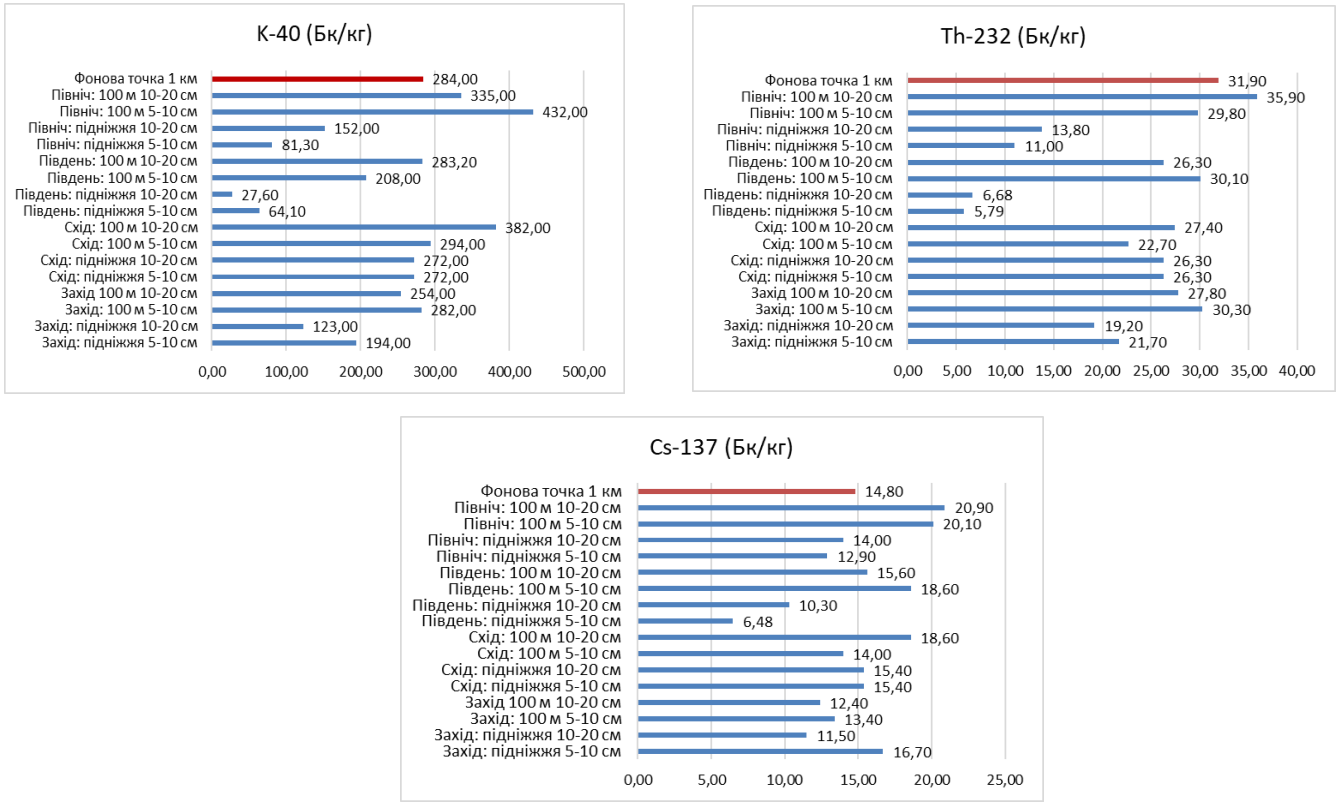


Рисунок 2. Питома активність радіонуклідів у зразках грунтів полігону ТПВ поблизу с. Малашівці (Тернопільська область)

Аналіз рисунку 2 демонструє наступне. Північ та схід демонструють найбільшу варіацію вмісту радіонуклідів, що може свідчити про переважаючий напрямок міграції чи вплив вітрових факторів. Варто врахувати, що з північної сторони полігону найвища висота накопичення відходів. У південній частині полігону, де найбільше рослинності, — зниження активності, що може вказувати на взаємозв'язок показника фітомеліорації та вмісту радіонуклідв у грунтах. Бліьшість значень Cs-137 є вищими за фоновий рівень, але спостерігається його поверхнева акумуляція в шарах 5-10 см, порівняно з шаром 10-20 см типово для зон із нещодавнім надходженням радіонукліду.

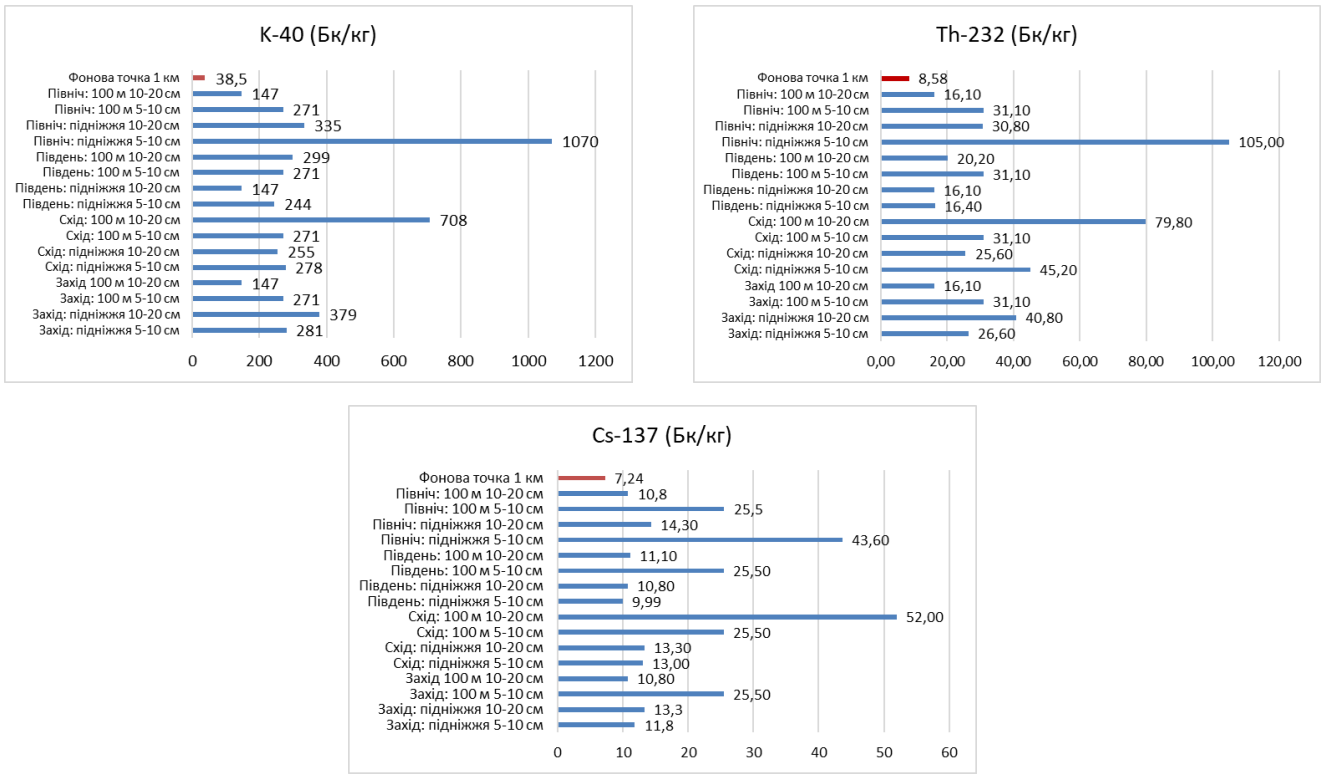


Рисунок 3. Питома активність радіонуклідів у зразках грунтів полігону ТПВ у м. Хмельницький

Показники масової питомої активності радіонуклідів у ґрунтах з Хмельницького полігону ТПВ показують перевищення порівняно з фоновою ділянкою. Особлива з північної та східної сторони показники калію-40: у 27 разів та у 18 разів відповідно, торію-232: у 12 та у 9 разів відповідно, цезію-137: у 6 та у 7 разів відповідно. Також накопичення радіонуклідів спостерігається здебільшого у поверхневому шарі, що може свідчити про поверхневе забруднення внаслідок впливу сміттєзвалища.

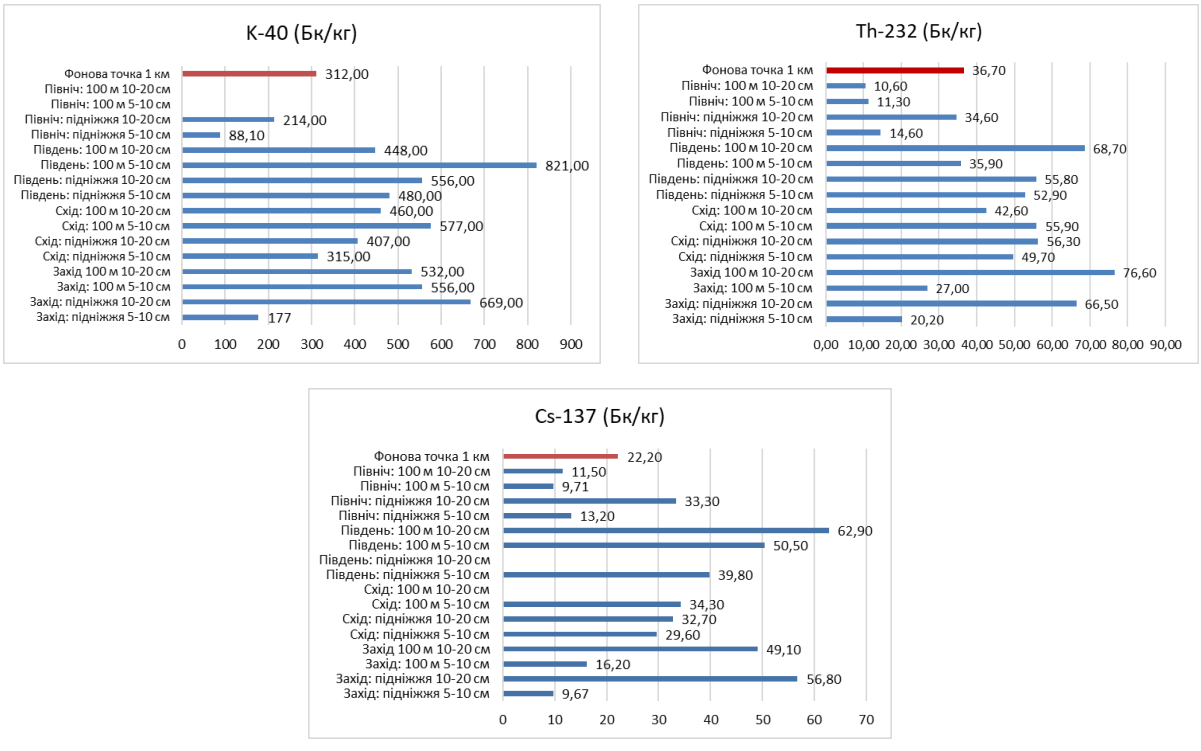


Рисунок 4. Питома активність радіонуклідів у зразках грунтів полігону ТПВ поблизу м. Дунаївці

На Дунаєвецькому сміттєзвалищі вищі показники масової питомої активності радіонуклідів, як природних, так і штучних спостерігаються з південної та західної сторін. Зокрема калій-40: у 2,6 та у 2,14 разів відповідно, торій-232: 1,87 та 2,09 разів відповідно, цезій-137: у 2,83 та у 2,56 разі відповідно. Але, у даному випадку, переважно вміст радіонуклідів у горизонті 10-20 см є вищим порівняно з 5-10 см. Це може свідчити про інтенсивнішу міграцію радіонуклідів у нижчі горизонти ґрунту, а також варто врахувати що рівень накопичення відходів з даних сторін горизонту є вищим, що також може безпосередньо впливати на біохімічні показники грунтів.

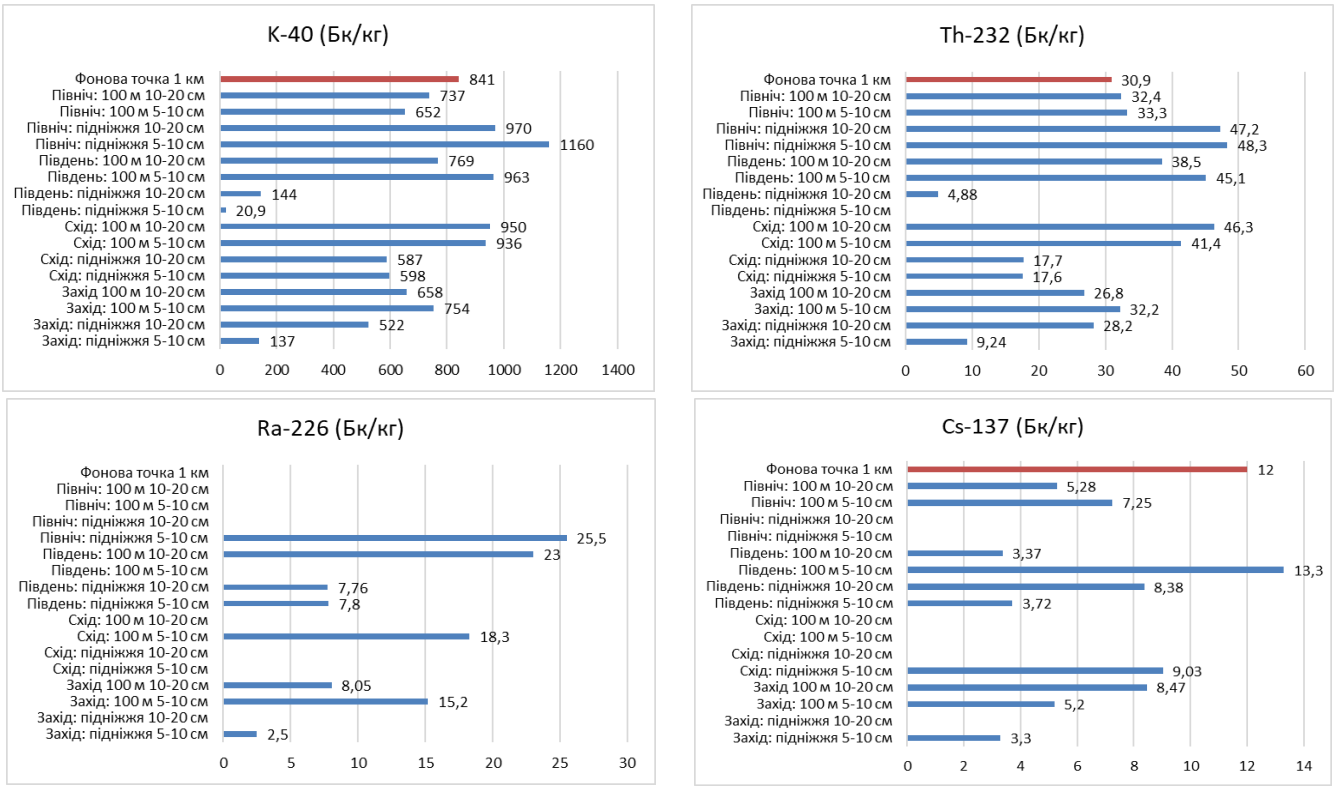


Рисунок 5. Питома активність радіонуклідів у зразках грунтів полігону ТПВ поблизу м. Кременець (Тернопільська область)

На відміну від попередніх полігонів ТПВ, на території Кременецького сміттєзвалища зафіксовано вміст радію-226, причому показники є вищими у горизонті 5-10 см. Високий вміст Ra-226 у ґрунтах може призводити до накопичення в рослинах (особливо в коренеплодах), забруднення харчового ланцюга. Враховуючи активне використання сількогосподарських угідь, які щільно прилягають до сміттєзвалища, коливання та перевищення будь яких показників, особливо радіонуклідів, варте особливої уваги та подальшого спостереження. Проте показники цезію-137 переважно є нижчими за фонове значення, що свідчить про відсутність джерел іонізуючого випромінювання, що містять даний радіонуклід.

Питома активність природних радіонуклідів коливається відносно фонового значення. Найвищі показники калію-40 з північної та східної сторін, які перевищують фонове значення у 1,38 та 1,13 разів відповідно; торію-232: у 1,56 та 1,5 разів відповідно.

3.1. Математична та статистична обробка

Ефективна питома активність природних радіонуклідів ($A_{еф}$) показує сумарний потенційний радіаційний вплив на людину (у вигляді зовнішнього гамма-опромінення), який походить від

основних природних радіонуклідів (радій-226, торій-232, калій-40), що містяться у досліджуваному матеріалі (в даному випадку – у ґрунті).

Величину ефективної питомої активності природних радіонуклідів визначали за формулою 1[750]:

$$A_{\text{еф}} = A_{Ra} + 1{,}31A_{Th} + 0{,}085A_k \quad (1)$$

де, 1,31 і 0,085 – зважуючі коефіцієнти для торію-232 і калію-40 відповідно у відношенні до радію-226.

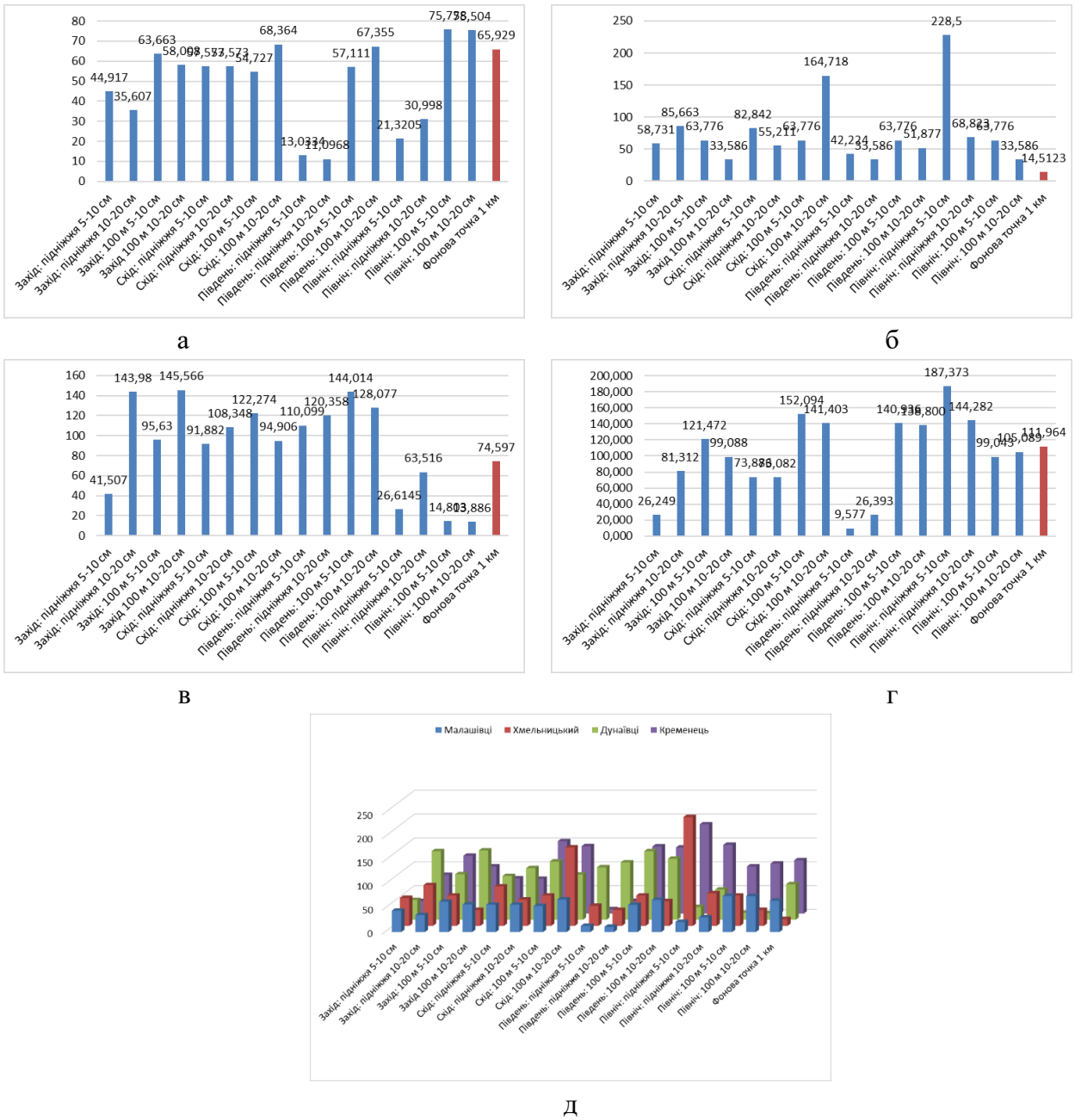


Рисунок 6. Ефективна питома активність природних радіонуклідів у зразках грунтів полігонів ТПВ:

а – с. Малашівці, б – м. Хмельницький, в – м. Дунаївці, г – м. Кременець, д – збірна по усіх полігонах

[750] Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)": Постанова Голов. держ. санітар. лікаря України від 01.12.1997 № 62, *<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>*.

Аналізуючи отримані показники з рисунку 6, бачимо що найвищі значення спостерігаються на Хмельницькому полігоні ТПВ: з північної сторони (228,5 Бк/кг) та за 100 м від східної сторони (164,718 Бк/кг); на сміттєзвалищі поблизу м. Кременець: біля підніжжя з північної сторони (187,373 Бк/кг). Здебільшого усі отримані значення переважають показник у фоновій ділянці. Проте перевищень нормативного значення 370 Бк/кг немає. Усі грунти можна віднести до першого класу радіаційної небезпеки.

Це свідчить про радіаційне навантаження на грунти внаслідок впливу сміттєзвалищ, адже, як показують польові дослідження, санітарно-захисна зона навколо полігонів ТПВ не дотримується. Зазвичай навколо знаходяться сільськогосподарські угіддя, тому небезпека поширення радіонуклідів у харчові ланцюги є досить високою.

Що стосується аналізу штучних радіонуклідів, то стронцію-90 не виявлено у зразках у грунтів, проте показники цезію-137 є вищими біля сміттєзвалищ у порівнянні з фоновими ділянками. Найвищі показники вмісту ^{137}Cs спостерігаються в зразках грунтів з Хмельницького (52 Бк/кг) та Дунаєвецького полігонів ТПВ (62,90 Бк/кг), найнижчі на Кременецькому сміттєзвалищі. Коливання показників цезію-137 може свідчити як про можливість потрапляння на полігон потенційних джерел радіаційного забруднення, так і про особливості міграції радіонуклідів у ґрунтах, так і про повітряне перенесення радіонуклідів з часточками пилу.

Для оцінки взаємозв'язку розподілу радіонуклідів у зразках грунтів зі сміттєзвалищ проведено кореляційний аналіз (таблиця 1).

Таблиця 1.

Кореляційна матриця питомої пасової активності радіонуклідів у ґрунтах сміттєзвалищ (червоний – значущі коефіцієнти кореляції, синій- перевірка значущості коефіцієнта кореляції, жовтий – співпадіння, зелений – незначущі або сеередньозначущі коефіцієнти кореляції)

	с. Малашівці		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	4,662	4,685
Th-232	0,769	1,000	6,459
K-40	0,771	0,858	1,000
	м. Хмельницький		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	6,367	5,396
Th-232	0,854	1,000	14,970
K-40	0,812	0,968	1,000
	м. Дунаївці		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	6,540	3,361
Th-232	0,860	1,000	2,296
K-40	0,655	0,510	1,000
	м. Кременець		
	Cs-137	Th-232	K-40
Cs-137	1,000	0,923	2,280
Th-232	0,232	1,000	10,527
K-40	0,507	0,938	1,000

Кореляційна матриця масової питомої активності радіонуклідів у зразках ґрунтів з сміттєзвалищ показує тісний взаємозв'язок як між природними радіонуклідами, так і між цезієм та торієм і калієм відповідно. Взаємозв'язок вмісту торію-232 та калію-40 є очевидним явищем, адже обидва є природними радіонуклідами і часто зустрічаються разом у мінералах та ґрунтах, що утворюються з одних і тих же материнських порід. Їх концентрації, як правило, змінюються разом.

В той час як, цезій-137 є штучним радіонуклідом і його кореляція з природним свідчить про схожі принципи міграції та накопичення у ґрунтах.

На полігонах ТПВ у Малашівцях та Хмельницькому Cs-137 демонструє сильні та значущі кореляції як з Th-232, так і з K-40. Це може свідчити про те, що Cs-137, який осідає на поверхні ґрунту, міг бути пов'язаний з певними типами ґрунту, які також природно багаті на Th-232 та K-40. Або ж існують певні механізми міграції, що сприяють їх спільному накопиченню.

У Дунаївцях зв'язок Cs-137 з Th-232 є дуже сильним, тоді як з K-40 – слабшим. Це може вказувати на певні локальні геохімічні умови або склад ґрунту, де саме Th-232 та його асоційовані мінерали є більш значущими для утримання Cs-137.

На Кременецькому сміттєзвалищі зв'язок Cs-137 з Th-232 є дуже слабким і статистично незначущим, тоді як з K-40 – помірним. Це є найважливішою відмінністю. Це може свідчити як про незалежні джерела або механізми поширення (у м. Кременець Cs-137, можливо, поширюється іншими шляхами або має інший розподіл, не пов'язаний з природним фоном Th-232. Це може бути пов'язано, наприклад, з локальним перерозподілом Cs-137 після випадання опадів, специфікою ґрунтового покриву, що не сприяє адсорбції Cs-137 на тих же мінералах, що і Th-232, або іншими чинниками), так і про неоднорідність ґрунту. Взагалі, слабка кореляція може вказувати на те, що ці елементи походять з різних джерел або мають різні механізми міграції та зв'язування в ґрунті.

3.2. Рослини

В процесах горизонтальної міграції велику роль відіграють особливості рельєфу місцевості, наявність на ній рослинності. Специфічні нерівності поверхні, лісові насадження та буяння трав'янистих рослин при певних поєднаннях можуть практично повністю затримувати поверхневий стік радіонуклідів. В той же час круті схили, відсутність рослин посилюють його.

Подальше переміщення радіонуклідів в екосистемі пов'язане з процесами водної ерозії, пожежами [751], вторинним переносом за рахунок вітру, а також старінням і руйнуванням радіоактивних частинок, яке відбувається дуже повільно. Штучні радіонукліди, наприклад ^{137}Cs, здатні до нерівномірного розподілу по території внаслідок вимивання [752]. Радіонукліди здатні до активної міграції та акумуляції в системах «ґрунт — мікробоценоз», «ґрунт — рослина», в подальшому потрапляючи до живих організмів через харчові ланцюг, а також через поверхневий контакт та дихання.

Фітомеліоративна ефективність рослинності на полігонах твердих побутових відходів показує, що на поверхні полігонів у Західному Лісостепу переважають низькорослі рослини, а коефіцієнт фітомеліоративності є низьким [753]. У процесі росту та розвитку рослини не тільки поглинають необхідні елементи живлення, але також поглинають радіоактивні та несуттєві елементи з навколишнього середовища, і їх розподіл нерівномірний у різних частинах рослини [754]. Тому для

[751] Mykola Talerko та інші, "Simulation study of radionuclide atmospheric transport after wildland fires in the Chernobyl Exclusion Zone in April 2020" (2021) 12(3) Atmospheric Pollution Research 193, *<http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2021.01.010>*.

[752] Jelena Markovi, "Influence of Radioactive Isotopes from Soil on the Growth and Development of Different Plant Cultures" (2021) 5(3) Journal of Ecology & Natural Resources XXXX *<http://dx.doi.org/10.23880/jenr-16000252>*.

[753] Vasyl Popovych та інші, "Ecological Successions of Urban Landfills of the Western Forest Steppe of Ukraine" (2024) 25(7) Ecological Engineering & Environmental Technology 225, *<http://dx.doi.org/10.12912/27197050/188601>*.

[754] Huynh Truc Phuong та інші, "Accumulation and distribution of nutrients, radionuclides and metals by roots, stems and leaves of plants" [2023] Nuclear Engineering and Technology *<http://dx.doi.org/10.1016/j.net.2023.03.039>* .

дослідження було сформовано об'єднані зразки з трав'янистих рослин, відібраних в чотирьох точках кожного полігону (для визначення ступеню забруднення їх радіоактивними речовинами). Серед них: Полин звичайний (*Artemisiavulgaris L.*), Копитняк європейський (*Asarum europaeum L.*), Золотушник пізній (*Solidago gigantea*), Борщівник Сосновського (*Heracleum sosnowskyi*), Шипшина чагарникова (Rosa dumalis), Підбіл звичайний (T. Farfara) та інші. За допомогою гамма-спектрометрії проведено дослідження питомої масової активності радіонуклідів (таблиця 2).

Таблиця 2.

Результати гамма-спектрометрії рослинних зразків зі сміттєзвалищ (Бк/кг)

Назва/місце відбору	Cs-137	Ra-226	Th-232	K-40
Проба №1 Хмельницький	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №2 Хмельницький	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №3 Хмельницький	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №2 Дунаївці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №3 Дунаївці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №4 Малашівці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №5 Малашівці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба № 6 Малашівці	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №7 Кременець	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20
Проба №8 Кременець	<8,56	<3,80	<4,25	<15,20

За результатами дослідження рослин бачимо низькі показники вмісту радіонуклідів.

Вміст штучного радіонукліду Cs-137 у всіх зразках рослин є дуже низьким — менше 8,56 Бк/кг, що значно нижче гранично допустимих концентрацій. Це вказує на відсутність або мінімальний рівень техногенного радіоактивного забруднення. Природні радіонукліди (Ra-226, Th-232, K-40) також виявлені на низьких рівнях, що характерно для природного фону.

4. ВИСНОВКИ

На основі проведених радіоекологічних досліджень на територіях чотирьох полігонів ТПВ — Малашівецького, Хмельницького, Дунаєвецького та Кременецького — встановлено, що усі досліджувані об'єкти демонструють ознаки впливу сміттєзвалищ на прилеглі екосистеми, передусім через підвищення питомої активності радіонуклідів у ґрунтах. Основні джерела радіаційного навантаження — природні радіонукліди калій-40, торій-232 та радій-226, а також штучний — цезій-137, що вказує на можливе потрапляння техногенних радіоактивних компонентів до сміттєвих мас.

У зразках із Малашівецького сміттєзвалища спостерігається поверхнева акумуляція цезію-137, переважно у верхніх шарах ґрунту, що свідчить про його недавнє надходження. Північний та східний напрямки забруднення можуть бути обумовлені морфологією полігону та напрямками вітру.

На Хмельницькому полігоні зафіксовано найвищі значення ефективної питомої активності, особливо на північній та східній частинах, де перевищення по окремих радіонуклідах сягають у 6–27 разів вище фону. Це вказує на інтенсивне поверхневе забруднення та відсутність природного бар'єрного захисту.

На Дунаєвецькому полігоні, на відміну від інших, спостерігається вертикальна міграція радіонуклідів, оскільки вміст у глибших горизонтах вищий, що свідчить про слабку здатність ґрунту до утримання радіоактивних компонентів.

Кременецький полігон відзначається присутністю радію-226 у верхньому горизонті, що становить підвищений ризик для сільськогосподарських культур та біотичного ланцюга.

Водночас, цезій-137 тут виявлений на мінімальних рівнях, що свідчить про відсутність потенційних штучних джерел.

Результати дослідження рослин не демонструють перевищень норм радіонуклідів: як природних, так штучних.

Регулярний моніторинг за зміною показників у динаміці сезонів, років дозволить вчасно виявити потенційні загрози та запобігти негативним наслідкам як для довкілля, так і для здоров'я населення. Особливу увагу варто приділяти механізмам міграції радіонуклідів у ґрунтовому середовищі, з можливим переходом та накопиченням у рослинах та потраплянням у харчовий ланцюг. Адже грунт в даному випадку виступає як бар'єром для перенесення у водні ресурси, так і середовищем з якого поглинають та акумулюють різноманітні речовини рослини, в тому числі сількогосподарські культури. Тому варто приділяти увагу як дотриманню санітарно-захисної зони сміттєзвалищ, ретельному вхідному контролю відходів, які захоронюють, а також якісним дослідженням рослинного покриву сміттєзвалищ та фітомеоративних заходів з метою запобігання поширенню небезпечних компонентів на прилеглі угіддя [755,756].

[755] VM Skrobala, TK Skyba та VV Popovych, "Ecological features of formation of landfill vegetation in Lviv Region (Ukraine)" (2024) (6) Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu 86, *<https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-6/086>*.

[756] VV Popovych та інші, "Floristic and ecological structure of the landfill vegetation in the Western Forest Steppe of Ukraine" (2024) (4) Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu 99, *<http://dx.doi.org/10.33271/nvngu/2024-4/099>* .

ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ

AIR POLLUTION DURING THE WAR IN UKRAINE

Інна Хондак, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, ORCID: 0000-0001-6644-9968

Тетяна Стиценко, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, ORCID:0000-0003-4530-0253

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.26

Анотація. У роботі досліджено проблему забруднення атмосферного повітря як одну з найгостріших екологічних загроз сучасного світу. Особливу увагу приділено ролі парникових газів – зокрема вуглекислого газу (CO_2), метану (CH_4), озону (O3), фреонів та закису азоту (N_2O) – у зміні клімату та погіршенні якості повітря. На основі офіційних статистичних даних проведено аналіз динаміки викидів основних забруднюючих речовин і парникових газів у семи областях України (Дніпропетровській, Вінницькій, Запорізькій, Львівській, Івано-Франківській, Харківській та Черкаській) у період з 2019 по 2023 роки. Простежено тенденції зростання або зниження обсягів викидів. У контексті воєнних дій в Україні з 2022 року проаналізовано, як бойові дії, знищення інфраструктури, промислових підприємств та збільшення обсягів спалювання вплинули на атмосферне повітря в окремих регіонах. Акцентовано увагу на тому, що збереження екологічної стабільності, адаптація до нових викликів і перехід до сталого розвитку є надзвичайно важливими для повоєнного відновлення країни. У статті наголошується про необхідність системного екологічного моніторингу, модернізації промисловості, скорочення викидів парникових газів і впровадження принципів сталого розвитку як основи для екологічно безпечного майбутнього України.

Ключові слова: забруднення, атмосферне повітря, парникові гази, сталий розвиток, екологічний моніторинг

Abstract. The article examines the problem of atmospheric air pollution as one of the most acute environmental threats in the modern world. Particular attention is paid to the role of greenhouse gases – in particular carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), ozone (O3), freon and nitrous oxide (N_2O) – in climate change and air quality deterioration. Based on official statistical data, an analysis of the dynamics of emissions of major pollutants and greenhouse gases in seven regions of Ukraine (Dnipropetrovsk, Vinnytsia, Zaporizhia, Lviv, Ivano-Frankivsk, Kharkiv and Cherkasy) was conducted in the period from 2019 to 2023. Trends in the growth or decrease in emissions were tracked. In the context of military operations in Ukraine since 2022, it was analyzed how hostilities, the destruction of infrastructure, industrial enterprises and an increase in burning volumes affected atmospheric air in individual regions. The article emphasizes that maintaining ecological stability, adapting to new challenges and transitioning to sustainable development are extremely important for the country's post-war recovery. The article emphasizes the need for systematic environmental monitoring, modernization of industry, reduction of greenhouse gas emissions and implementation of sustainable development principles as the basis for an environmentally safe future of Ukraine.

Keywords: pollution, atmospheric air, greenhouse gases, sustainable development, environmental monitoring

ВСТУП

Чисте, незабруднене повітря – безцінний дар природи, яким ми користуємося щодня, навіть не замислюючись над надзвичайною значущістю цього фактора при забезпеченні життєдіяльності всього людства. Саме воно наповнює легені життям, дарує енергію, підтримує природну рівновагу на планеті. Проте у XXI столітті повітря, яким ми дихаємо, дедалі частіше стає невидимою потенційною загрозою. Забруднення атмосфери – одна з найгостріших екологічних проблем сучасності, що торкається кожного куточка Землі та кожного мешканця планети. Промислові викиди, вихлопи транспорту, спалювання сміття, вирубка лісів та воєнні дії – усе це приводить до забруднення повітря, змінює клімат і негативно впливає на здоров'я мільйонів людей на планеті. На даний час, для досягнення цілей сталого розвитку, Європейським союзом впроваджується зеленний курс (European Green Deal) до якого долучилася і Україна. ,ключовими аспектами якого є досягнення кліматичної нейтральності країнами ЄС до 2050 року. Важливим компонентом є Механізм коригування вуглецевих кордонів (CBAM), що забезпечує стимулювання використання на промисловому виробництві сучасних, більш ефективніших технологій, які зменшать вплив на довкілля шкідливих або небезпечних виробничих чинників та допоможуть зберегти приємним та безпечним для життя оточуюче середовище.

Директива ЄС щодо звітності про сталий розвиток (CSRD) та Європейські стандарти звітності про сталий розвиток (ESRS) модернізують і посилюють правила щодо соціальної та екологічної інформації, про яку компанії мають звітувати. Правила забезпечують власникам та інвесторам чи іншим зацікавленим сторонам, доступ до інформації, необхідної для оцінки впливу промислових підприємств на довкілля, а також дозволяють з'ясувати ризики, пов'язані зі зміною клімату та іншими проблемами досягнення стійкого сталого розвитку суспільства[757].. Враховуючи різні види викидів та їх вплив на навколишнє середовище, уряди країн Європейського Союзу, як один із інструментів, використовують екологічне оподаткування для зменшення негативного впливу шкідливих викидів на довкілля. Наприклад, податки на викиди CO2 стимулюють виробничі підприємства зменшувати свої викиди парникових газів, тим самим сприяючи досягненню цілей скорочення вуглецевого сліду. Аналогічно, податки на викиди оксидів азоту (NOx) та діоксиду сірки (SO2) спрямовані на зменшення утворення смогу та кислотних дощів, що значно покращує якість повітря і тим самим створюють безпечне і здорове проживання населення на територіях [758].

У роботі розглядаються масштаби забруднення атмосферного повітря, його причини, наслідки та можливі шляхи подолання негативного впливу.

АКТУАЛЬНІСТЬ

Враховуючи сучасний стан інноваційно-технологічних процесів в промисловості, проблема забруднення атмосферного повітря на сьогодні є однією з найважливіших екологічних загроз як у глобальному, так і в національному вимірі.

Швейцарські вчені IQAir у звіті за 2023 рік проаналізували дані з понад 30 000 станцій моніторингу якості повітря в 7812 місцях у 134 країнах, територіях і регіонах та зробили невтішні для всього людства висновки –тільки сім країн відповідали щорічним рекомендаціям ВООЗ щодо PM2,5 (середньорічне значення 5 мкг/м3або менше): Австралія, Естонія, Фінляндія, Гренада, Ісландія, Маврикій і Нова Зеландія.

[757] EU Corporate Sustainability Reporting Requirements Strategic and operational implications of CSRD and ESRS [Electronic resource]. – Access mode : <URL: https://www.deloitte.com/content/dam/assetszone2/uk/en/docs/services/legal/2024/deloitte-uk-csrd-esrs-ra-perspective-new.pdf.> дата звернення: 18 травня 2025.

[758] Ісламлі Д. Пріоритети розвитку податкових систем країн ЄС у контексті реалізації цілей сталого розвитку. Економіка, управління та адміністрування, (4(110), 2024.109–115. https://doi.org/10.26642/ema-2024-4(110)-109-115.

П'ятьма найбільш забрудненими країнами у 2023 році були:

1. Бангладеш (79,9 мкг/м3) більш ніж у 15 разів перевищує річний рекомендований ВООЗ рівень PM2.5.

2. Пакистан (73,7 мкг/м3) більш ніж у 14 разів перевищує річний рекомендований ВООЗ рівень PM2.5.

3. Індія (54,4 мкг/м3) більш ніж у 10 разів перевищує річний рекомендований ВООЗ рівень PM2.5

4. Таджикистан (49,0 мкг/м3) більш ніж у 9 разів перевищує річний рекомендований ВООЗ рівень PM2.5.

5. Буркіна-Фасо (46,6 мкг/м³) більш ніж у 9 разів перевищує річний рекомендований ВООЗ рівень PM2.5.

Загалом у 124 (92,5%) зі 134 країн та регіонів рівень забруднення PM2.5, встановлений ВООЗ, перевищив річне рекомендоване значення 5 мкг/м3 . Африка залишається найбільш недостатньо представленим континентом, де третина населення досі не має доступу до даних про якість повітря. Кліматичні умови та транскордонна імла були основними факторами в Південно-Східній Азії, де концентрації PM2.5 зросли майже в кожній країні. Регіон Центральної та Південної Азії був домівкою для десятки найбільш забруднених міст світу[759]..

Зростання концентрації парникових газів, таких як CO_2, CH_4 і N_2O, спричиняє посилення парникового ефекту, зміну клімату та зниження якості життя населення. Україна, як країна з потужним промисловим потенціалом і великим аграрним сектором, зіштовхується з численними викликами у сфері контролю та зменшення шкідливих викидів.

Особливої актуальності ця тема набуває в умовах повномасштабної війни, яка розпочалася у 2022 році. Військові дії, руйнування промислових об’єктів, інфраструктури, пожежі, вибухи та переміщення населення значно погіршили екологічну ситуацію в багатьох регіонах України. Це створює нові ризики для здоров’я людей, біорізноманіття та кліматичної стабільності.

У цьому контексті аналіз викидів забруднюючих речовин і парникових газів у семи ключових промислових областях України за останні п’ять років (2019–2023) є вкрай важливим для оцінки реального стану атмосферного повітря, виявлення тенденцій та пошуку ефективних шляхів зменшення впливу людської діяльності на довкілля. Зниження рівня забруднення повітря є невід’ємною умовою для формування здорового середовища, зміцнення енергетичної незалежності та інтеграції України до європейської екологічної політики. В останньому звіті IPCC підкреслюється необхідність політики, яка наполягатиме на негайній, а не поступовій відмові від викопного палива як джерела енергії та зменшення зростання від викидів CO2.

Крім того, результати цієї роботи мають практичне значення у контексті відновлення України після війни на основі принципів сталого розвитку, які передбачають баланс між економічним зростанням, соціальною справедливістю та екологічною безпекою.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Пожежі у лісах та домогосподарствах, горіння нафтопродуктів, обстріли, знешкодження ворожих ракет та мін, а також наступ російської техніки. Все це призводить до утворення

[759] Ganes,N. Звіт про якість повітря IQAir у світі за 2023 рік <URL: https://www.iqair.com/newsroom/waqr-2023-pr> дата звернення: 18 травня 2025.

додаткових викидів у атмосферне повітря. Під час вибуху бомби чи ракети в повітря вивільняється багато отруйних хімічних речовин: чадний газ, бурий газ, діоксид азоту, формальдегід тощо. Під час вибуху всі речовини проходять повне окиснення, а продукти хімічної реакції вивільняються в атмосферу і забруднюють її[760]..

Однак внаслідок воєнних дій Україна втратила частину промислового та енергетичного комплексу, активність бізнесу стала набагато меншою, паливна криза знизила інтенсивність використання автотранспорту, а віддалена робота внутрішньо переміщених осіб (ВПО) позбавила необхідності пересувань[761]..

Незважаючи на певний спад виробництва в Україні під час війни, рівень забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових регіонів залишається стабільно високим. Саме тому проблема нікуди не зникла та все одно потребує негайного вирішення[762].

Метою роботи є аналіз забруднення атмосферного повітря в Україні за останні 5 років, враховуючи особливості східних, західних, північних, південних і центральних областей до початку повномасштабного вторгнення і в умовах військового стану та рекомендації для подальшого удосконалення системи зниження викидів у атмосферне повітря, враховуючи міжнародний досвід.

АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Для аналізу викидів забруднюючих речовин та парникових газів від стаціонарних джерел були обрані 7 областей України. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів від стаціонарних джерел наведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Викиди забруднюючих речовин та парникових газів від стаціонарних джерел[763]

рік	Харківська область	Дніпропетровська область	Запорізька область	Львівська область	Черкаська область	Івано-Франківська область	Вінницька область
				тис. тон			
2019	106,5	576,9	173,4	88,9	51,8	205,0	99,7
2020	94,1	534,6	155,4	76,0	51,4	140,4	78,1
2021	73,3	537,6	148,1	75,4	47,6	172,4	79,2
2022	23,2	328,9	64,1	76,2	46,9	152,3	69,6
2023	38,8	385,1	52,1	57,9	61,7	147,7	80,5

[760] Хондак І.І., Березуцька Н.Л. Аналіз екологічної ситуації в Україні після початку військових дій. Наука і техніка сьогодні. Серія: «Техніка». N 4 (18). 2023. С. 266 – 279.

[761] Вплив воєнних дій на якість повітря в Україні: доповідь Ірини Черниш на Комітеті Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування <URL: https://www.savednipro.org/vpliv-voyennix-dij-na-yakist-povitrya-v-ukrayini/> дата звернення: 15 травня 2025.

[762] Новіков М. А., Хондак І.І. Проблема забруднення атмосферного повітря в Україні. Матеріали 29-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті», 16-19 квітня 2025 р., Том 2, С. 132-134.

[763] Державна служба статистики України. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. <URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm> дата звернення: 15 травня 2025.

На рисунку 1 представлені діаграми викидів забруднюючих речовин та парникових газів від стаціонарних джерел.



Рисунок 1. Викиди забруднюючих речовин та парникових газів від стаціонарних джерел

На основі побудованих діаграм можна виділити загальні тенденції:

– більшості областей спостерігається зменшення викидів з 2019 по 2023 рік.

– найвищі показники незмінно демонструє Дніпропетровська область, але і тут є поступове зниження.

– 2022 рік у багатьох регіонах має найменші обсяги викидів, що може бути пов'язано з воєнними діями, зупинкою виробництва, евакуацією тощо.

1. Харківська область

Невелике зниження викидів із року в рік.

У 2022 та 2023 – значне падіння (можливо, через зруйновану інфраструктуру).

2. Дніпропетровська область

2019 рік: приблизно 580 тис. тонн – найвищий показник.

2020–2021 рік: незначне зменшення.

2022 рік: різке падіння.

2023: часткове підвищення показників, але все ще нижче рівня 2019.

3. Запорізька область

Падіння викидів після 2020 року.

2022–2023 рік: стабільно на низькому рівні.

4. Львівська область

Викиди майже стабільні протягом усіх років, але є невеликі коливання, без різких спадів.

5. Черкаська область

Викиди залишаються майже стабільними, але спостерігається підвищення у 2023 році.

6. Івано-Франківська область

2019 рік: порівняно високі викиди.

Поступове зниження до 2023 року.

Стабільне скорочення, можливо через модернізацію виробництва або зменшення промислових обсягів.

7. Вінницька область

Невелике, але стабільне зменшення до 2023 року, в якому починається підвищення викидів.

Аналіз діаграм показав:

– найбільше зменшення викидів спостерігається у Дніпропетровській, Запорізькій та Івано-Франківській областях.

– стабільні показники – у Черкаській, Львівській, Вінницькій областях;

– 2022 рік показує загальноукраїнське скорочення, що ймовірно обумовлене впливом повномасштабної війни.

– на заході країни показники забруднення повітря почали зростати в 2023 році , що пояснюється тим, що частка підприємств була релокована в західні регіони з інших терирорій, а також внутрішньою міграцією людей, які перемістилися у західні прикордонні регіони разом з автівками, які також є джерелами викидів.

Особливу увагу приділено аналізу двох основних парникових газів: вуглекислому газу та метану.

Викиди парникових газів – вуглекислого газу (CO_2) та метану (CH_4) від стаціонарних джерел наведені в таблицях 2, 3

Таблиця 2.

Викиди метану від стаціонарних джерел[7]

рік	**Харків-ська область**	**Дніпропет-ровська область**	**Запорізька область**	Львівська область	Черкаська область	Івано-Франківська область	Вінницька область
				тон			
2019	14773	128167	749	44122	18332	8087	10861
2020	6223	115967	836	35687	21586	7728	5765
2021	5850	121972	709	36894	13771	7311	8685
2022	2058	120238	1674	32941	14246	6381	9096
2023	2730	137859	147	29117	14011	5683	9673

На рисунку 2 представлені діаграми викидів метану від стаціонарних джерел.



Рисунок 2. Викиди метану від стаціонарних джерел

7 Державна служба статистики України. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення <URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm> дата звернення: 15 травня 2025.

Таблиця 3.

Викиди вуглекислого газу від стаціонарних джерел[7]

рік	Харківська область	Дніпропетровська область	Запорізька область	Львівська область	Черкаська область	Івано-Франківська область	Вінницька область
				тон			
2019	7595000	23496000	13663000	3402000	2616000	12898000	5355000
2020	7789606	20474777	12979647	2968436	2395582	10207119	4249547
2021	6173307	22321799	12935755	3125965	2498135	12067113	4302647
2022	3108353	14723020	6798385	2964352	2038192	10044818	3471827
2023	3837877	16311365	6862948	2208275	554456	9975012	3860062

На рисунку 3 представлені діаграми викидів вуглекислого газу від стаціонарних джерел.



Рисунок 3. Викиди вуглекислого газу від стаціонарних джерел

На діаграмах (ри.2. рис.3) зображено викиди вуглекислого газу (CO_2) та метану (CH_4) від стаціонарних джерел у різних областях України за 2019–2023 роки. Найбільші викиди CO_2 спостерігаються в Дніпропетровській, Запорізькій та Івано-Франківській областях. Викиди метану найбільші у Дніпропетровській і Львівська область. Запорізька область, попри високі викиди CO_2, має дуже низькі показники метану, така ж тенденція спостерігається і по Харківській області. Метан має менші обсяги, але є значно шкідливішим для клімату, ніж CO_2. Потенціал глобального потепління від метану в 30 разів більший, ніж у діоксиду вуглецю. Хоча метан розкладається швидше (за 10–12 років), його короткостроковий вплив на клімат значно сильніший. Навіть малі викиди метану можуть суттєво прискорити глобальне потепління.

ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ТА ЗМІНА КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

Виділимо основні проблеми забруднення повітря та зміни клімату в Україні: великі викиди в атмосферу в великих промислових містах; високий рівень завислих твердих частинок (PM2.5 і PM10), що небезпечні для дихання; використання вугілля як джерела енергії на ТЕС; низький рівень очищення викидів у багатьох промислових зонах; незаконне спалювання сміття та листя – типове явище в селах і містах. Для міст України характерні високі рівні забруднення атмосферного повітря, пов'язаного з функціонуванням підприємств (насамперед застарілих), у т.ч. з виробництва енергії і транспорту. Із дорожчанням енергоносіїв зростає і забруднення через опалення житла та приміщень

7 Державна служба статистики України. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення <URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm> дата звернення: 15 травня 2025.

(особливо малого бізнесу, де до топки потрапляє непристосоване паливо, що при спалюванні виділяє різноманітні шкідливі для здоров'я сполуки). Але одночасно міста, особливо великі, стають лідерами й у розвитку високотехнологічних виробництв, які довкілля зберігають. У містах кращий екологічний контроль за рахунок мобілізації громадянського суспільства[764]. Для дослідження моніторингу забруднення довкілля зараз в Україні використовують електронні ресурси такі, як SavEcoBot, який оцінює якість забруднення повітря за формулою NowCast (US EPA) [765] та автоматично збирає дані з системи FIRMS NASA[766] ,Eco Сіті) [767].

Карта показує динаміку пожеж, а також забруднень на території України та окремо в кожній області за останні 2 роки в режимі реального часу за останні 24 години. На прикладі Харківської області необхідно відзначити, що кількість пожеж в Харківській області площею понад 1 га зросла у 36 разів за 2 роки порівняно від року початку війни та залишається значним джерелом викидів парникових газів.

Все це призводить до кліматичних змін в Україні:

Підвищення середньої річної температури на 1,2–1,5°C за останні 30 років.

Часті посухи у степовій зоні та повені в Карпатах.

Зменшення снігового покриву та коротші зими.

Поширення шкідників і хвороб сільськогосподарських культур.

Ризик нестачі води в південних областях (Херсонщина, Одещина, Миколаївщина).

Враховуючи попередній моніторинг та прогнози, міжнародний досвід, сучасна промисловість повинна бути більш відповідальною перед суспільством за ті умови, які вона створює для теперішніх та майбутніх поколінь.

Додаткові проблеми, пов'язані з війною в Україні, що впливають на забруднення атмосферного повітря:

Повномасштабне вторгнення російського агресора в Україну призвело до різкого зменшення викидів в атмосферу забруднюючих речовин, зокрема й парникових газів, особливо на сході і півдні України, але це ж спричинило ряд екологічних проблем, таких як руйнування промислових підприємств, хімічних заводів і нафтобаз, що спричиняє викиди токсичних речовин у повітря[768]. За оцінками організації Climate Focus, викиди парникових газів, які можна віднести до дванадцяти місяців війни, склали 120 мільйонів тонн CO2.

Це еквівалентно загальним викидам парникових газів, виробленим за той самий період у такій країні, як Бельгія[769].

Пожежі на складах пального, лісах і сільськогосподарських угіддях, які також посилюють забруднення повітря шкідливими газами та димом. Крім того при влученні ракет та БПЛА у житлові та промислові будівлі та споруди виникають пожежі, через які в повітря потрапляють небезпечні продукти горіння – переважно оксид азоту (NO), важкі метали і газові сполуки. Це один із впливів війни, який буде відчутно далеко за межами України у зв'язку зі змінами кліматичних параметрів оточуючого середовища

[764] Рингач Н.О., Власик Л.Й., Власик Л.І., Колодніцька Т.Л. Урбанізація і вплив на здоров'я забруднення повітря в Україні: загрози та можливості. . Буковинський медичний вісник. 2022. Т. 26, № 2 (102), С.69-76.
[765] <URL: https://www.saveecobot.com/maps/kharkiv> (дата звернення: 18 травня 2025.
[766] Fire Information for Resource Management System (FIRMS) <URL:https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> дата звернення: 18 травня 2025.
[767] Еко Сіті <URL:https://eco-city.org.ua/> дата звернення: 18 травня 2025.
[768] Бойченко, С. Г. Метеорологічні та кліматичні наслідки воєнних дій в Україні: За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 29 листопада 2023 року. Visnik Nacional Noi Academii Nauk Ukrai Ni, (1), 83–93. https://doi.org/10.15407/visn2024.01.083 .
[769] <URL: https://climatefocus.com/who-we-are/> дата звернення: 18 травня 2025.

Підвищене використання генераторів у зв'язку з перебоями та тривалою відсутністю електропостачання, збільшує викиди шкідливих речовин у повітря. Основна небезпека здоров'ю походить із продуктів горіння, які вони виділяють під час роботи - чадний газ або монооксид вуглецю[770].

Знищення зелених зон і лісів через військові дії, значно зменшує природний потенціал очищення повітря і утримання вологи в регіоні. За підрахунками Держекоінспекції збитки від лісових пожеж на початок грудня вже становили 896 528 млн грн. Такі пожежі небезпечні не лише викидами забруднюючих речовин в атмосферу, а й руйнуванням екосистем: втратою рослинності, що поглинала вуглекислий газ під час фотосинтезу, також втратою біорізноманіття, що негативно впливає на стійкість екосистеми[771].

Загострення екологічної ситуації у прикордонних зонах, значною мірою впливає на безпеку і здоров'я місцевого населення, підвищуючи ризик захворюваності на цих територіях.

Зростання військово-промислового комплексу, нарощування виробництва різного виду озброєння в сучасних умовах є досить матеріально та енернозатратним не тільки для економіки держави, а також для оточуючого середовища. На даний час вже впроваджуємо термін «військова екологія». Україна зараз найбільш замінована територія у світі – майже 15% території. Розмінування цієї території або детонації мін теж буде призводити до забруднення важкими металами ґрунтів і ґрунтових вод. Крім того, що відбувається окислення під час вибуху, уламки снарядів, які потрапляють у довкілля, є небезпечними. У них є домішки чавуну, заліза, вуглецю, сірки та міді, які можуть призводить до забруднення ґрунтових і підземних вод. Окреме значення відводиться за мінуванню сільськогосподарських територій на яких, певний час не буде вирощуватися продукція. Утилізація військової техніки також супроводжується значними викидами вуглецю, що завдає шкоду екосистемі країни. Домішки металів можуть забруднювати ґрунтові води, а наявність пального в військовій техніці, може призвести до горіння і, як наслідок, забруднення повітря.

ВИСНОВКИ

Для зменшення забруднення атмосферного повітря в Україні в умовах війни та забезпечення сталого розвитку країни після завершення бойових дій, необхідно:

1. Розвивати відновлювану енергетику та підвищувати енергоефективність, зокрема шляхом заміщення викопного палива у системах теплопостачання, стимулювання децентралізованої генерації (сонячні, вітрові, біоенергетичні установки) та впровадження енергоощадних технологій у промисловості та для подальшого стійкого розвитку міст.
2. Забезпечити ефективний моніторинг і контроль викидів, включаючи розгортання мережі автоматизованих станцій контролю якості повітря, особливо у зонах бойових дій, техногенних аварій та великих міст, а також запровадження санкцій за незаконне спалювання відходів.
3. Інтегрувати екологічні пріоритети у післявоєнне відновлення країни, зокрема шляхом екологічної експертизи проєктів реконструкції, рекультивації забруднених територій, відновлення зелених зон і створення умов для участі громадськості у прийнятті екологічно важливих рішень.
4. Впроваджувати методи циркулярної економіки, як сучасного підходу до забезпечення усунення відходів та забруднень, відновлення природних систем та покращення поглинання вуглецю.
5. Враховуючі сучасний стан забруднень необхідно розробляти нові міжнародні норми захисту довкілля під час військових конфліктів.

[770] I. I. Khondak, N. L. Berezutska, T.E. Stytsenko Analysis of the application of modern means of detection and measurement of carbon monoxide when using alternative sources of electricity supply during the war in Ukraine. Вісник НТУ "ХПІ". Енергетика: надійність та енергоефективність. 2023. № 1(6), Липень 2023. С. 3-7, doi:10.20998/2224-0349.2023.01.02.

[771] <URL: https://er.dduvs.edu.ua/handle/123456789/12356> дата звернення: 18 травня 2025.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА, УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТА РІШЕННЯ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

CHAPTER 3. SAFETY, RISK MANAGEMENT, AND EMERGENCY RESPONSE

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАСАДИ ВЗАЄМОДІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ З ДЕРЖАВНОЮ СЛУЖБОЮ УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

ORGANIZATIONAL BASIS FOR COOPERATION BETWEEN THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE AND THE STATE EMERGENCY SERVICE OF UKRAINE WHEN RESPONDING TO EMERGENCY SITUATIONS OF BIOLOGICAL ORIGIN

Сергій Бєлай, заступник начальника навчально-наукового центру організації освітнього процесу – начальник науково-методичного відділу, e-mail: belwz3@ukr.net, Національна академія Національної гвардії України, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0841-9522

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.27

Анотація. Розвиток цивілізаційних процесів постійно супроводжувалось загрозами виникнення кризових подій. Крім того, ліквідація наслідків надзвичайних в умовах відсічі широкомасштабної забойної агресії росії набуває сьогодні особливої актуальності. Відповідно до основ теорії управління та практичного досвіду, належна координація виконання завдань є запорукою забезпечення ефективної співпраці, а отже тематика дослідження щодо обґрунтування теоретичні засади взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації є на часі та актуальною.

В розрізі взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації відправного значення набуває функція Штабу з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій щодо безпосередньої організації і координації дій залучених до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій сил цивільного захисту, Збройних Сил України та інших військових формувань, органів і підрозділів внутрішніх справ, а також громадських організацій і волонтерів, а отже організація взаємодії. Проведений правовий аналіз дозволив виокремити основні завдання Національної гвардії України в межах компетенції щодо організації взаємодії з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження.

Аналіз теоретичних засад організації взаємодії, які використовуються в теорії та практиці управління надав можливість виділити основоположні ознаки взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження. Опираючись на теорію взаємодії організаційних систем обґрунтовані основні елементами взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних

заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження. Зазначені висновки є базисом для підвищення ефективності державних механізмів реагування на надзвичайні ситуації.

Напрями подальших наукових досліджень будуть спрямовані на розроблення сумісних механізмів реагування складових сектора безпеки і оборони України на надзвичайні ситуації біологічного походження.

Ключові слова: надзвичайні ситуації біологічного походження, Національна гвардія України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій, взаємодія, нормативно-правові акти

Abstract. The development of civilizational processes has been constantly accompanied by threats of crisis events. In addition, the elimination of the consequences of emergencies in the context of repelling large-scale destructive aggression of Russia is gaining particular relevance today. According to the foundations of management theory and practical experience, proper coordination of task performance is the key to ensuring effective cooperation, and therefore the topic of the study on substantiating the theoretical principles of interaction between the National Guard of Ukraine and the State Emergency Service of Ukraine during the implementation of joint measures to respond to emergencies is timely and relevant.

In the context of the interaction of the National Guard of Ukraine with the State Emergency Service of Ukraine during the implementation of joint measures to respond to emergencies, the function of the Headquarters for the Elimination of Consequences of Emergency Situations acquires a fundamental importance in terms of the direct organization and coordination of the actions of the civil defense forces, the Armed Forces of Ukraine and other military formations, internal affairs bodies and units, as well as public organizations and volunteers involved in the elimination of the consequences of emergencies, and therefore the organization of interaction. The legal analysis conducted allowed us to identify the main tasks of the National Guard of Ukraine within the scope of its competence to organize interaction with the State Emergency Service of Ukraine during the implementation of joint measures to respond to emergencies of biological origin.

Analysis of the theoretical principles of the organization of interaction, which are used in the theory and practice of management, made it possible to identify the fundamental features of the interaction of the National Guard of Ukraine with the State Emergency Service of Ukraine during the implementation of joint measures to respond to emergencies of biological origin. Based on the theory of interaction of organizational systems, the main elements of the interaction of the National Guard of Ukraine with the State Emergency Service of Ukraine during the implementation of joint measures to respond to emergencies of biological origin are substantiated. These conclusions are the basis for increasing the effectiveness of state mechanisms for responding to emergencies.

The directions of further scientific research will be aimed at developing joint mechanisms for responding to components of the security and defense sector of Ukraine to emergencies of biological origin.

Keywords: emergencies of biological origin, National Guard of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, interaction, regulatory legal acts.

1. ВСТУП

Розвиток цивілізаційних процесів постійно супроводжувалось загрозами виникнення надзвичайних ситуацій. Науково-технологічний прогрес утримує потенційні приховані ризики виникнення техногенних аварій та катастроф. Надзвичайні ситуації природнього характеру, такі як землетруси, цунамі, обвали, селі, лавини, повені, урагани, тайфуни, смерчі, лісові пожежі тощо, з циклічної періодичністю трапляються на різних контентах планети. Крім того, ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій як техногенного, так і природнього характеру, в умовах відсічі широкомасштабної забойної агресії росії набуває сьогодні особливої актуальності.

За таких умов Державна служба України з надзвичайних ситуацій реагує на виникнення зазначених кризових ситуацій різної природи походження. Відповідно до функцій та завдань інші складові сектора безпеки і оборони України залучаються до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Особовий склад підрозділів та частин Національної гвардії України також приймає безпосередню участь у зазначених механізмах кризового реагування.

Питання організації взаємодії складових сектора безпеки і оборони України під час виконання завдань за призначенням завжди мали первинне значення серед функцій органів управління. Відповідно до основ теорії управління та практичного досвіду, належна координація виконання завдань є запорукою забезпечення ефективної співпраці, а отже тематика дослідження щодо обґрунтування теоретичні засади взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації є на часі та актуальною.

Проблемним питанням організації взаємодії сил безпеки і оборони приділяли увагу у своїх наукових дослідженнях такі вчені та практики як Бабков Ю.П., Бацамут В.М., Дробаха Г.А., Єрмошин М.О., Кириченко І.О., Кривенко О.В., Саакян М.Б., Тробюк В.І., Шмаков О.М. та ін. Питанням вдосконалення нормативно-правової бази взаємодії складових сектору безпеки і оборони приділяв увагу Бандурка О.М., Батюк О.В., Гуляк О.В., Долженков О.Ф., Євтушенко І.В., Кузніченко О.С., Комісаров О.Г., Мацюк В.В., Покайчук Я.В. та ін. вчені. Отже, науковцями зроблено вагомий внесок у дослідження проблем взаємодії складових сектора безпеки і оборони, проте у їх працях досліджено лише окремі питання організації взаємодії та вдосконалення нормативно-правової бази цього процесу. Таким чином, комплексного дослідження теоретичних засад взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації не проводилося, що зумовило вибір цієї теми та її актуальність.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Мета роботи полягає у проведенні дослідження з вивчення теоретичних засад організації взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження та надання відповідних рекомендацій покращення.

Методологічну основу дослідження складає комплекс загальнонаукових та спеціальних методів, які дозволили осмислити в цілому організаційні заходи щодо взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження. Наукові методи дослідження використовувались як окремо, так і у поєднанні між собою.

Зокрема, за допомогою логіко-семантичного методу визначені поняття надзвичайної ситуації, а також законодавчі акти, які використовуються в умовах її виникнення. Порівняльно-правовий та історико-організаційний методи використані для аналізу правового регулювання організації взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження. Методи класифікації, групування та структурно-логічний застосовувалися для виділення елементів взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження.

Емпіричну базу дослідження склали нормативно-правові та правозастосовні акти Міністерства внутрішніх справ України, Національної гвардії України, Державної служби України

з надзвичайних ситуацій, статистичні матеріали, які характеризують сучасний стан діяльності та управління сил охорони правопорядку під час надзвичайних ситуацій.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Кодексом цивільного захисту України визначено, що надзвичайною ситуацією є порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, зокрема епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, що призвело (може призвести) до виникнення великої кількості постраждалих, загрози життю та здоров'ю людей, їх загибелі, значних матеріальних утрат, а також до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності. Залежно від характеру походження подій, що можуть зумовити виникнення надзвичайних ситуацій на території України, надзвичайні ситуації класифікують на такі види: техногенного характеру; природного характеру; соціального характеру; воєнного характеру[772].

Надзвичайною ситуацією техногенного характеру є «порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об’єкті на ній або на водному об’єкті унаслідок транспортної аварії (катастрофи), пожежі, вибуху, аварії з викиданням (загрозою викидання) небезпечних хімічних, радіоактивних і біологічно небезпечних речовин, раптового руйнування споруд; аварії в електроенергетичних системах, системах життєзабезпечення, системах телекомунікацій, на очисних спорудах, у системах нафтогазового промислового комплексу, гідродинамічних аварій тощо»[773].

Надзвичайною ситуацією природного характеру є «порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об’єкті, пов’язане з небезпечним геофізичним, геологічним, метеорологічним або гідрологічним явищем, деградацією ґрунтів чи надр, пожежею у природних екологічних системах, зміною стану повітряного басейну, інфекційною захворюваністю та отруєнням людей, інфекційним захворюванням свійських тварин, масовою загибеллю диких тварин, ураженням сільськогосподарських рослин хворобами та шкідниками тощо»[774].

Надзвичайною ситуацією соціального характеру є «порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об’єкті на ній або на водному об’єкті, спричинене протиправними діями терористичного і антиконституційного спрямування, або пов'язане із зникненням (викраденням) зброї та небезпечних речовин, нещасними випадками з людьми тощо»[775].

Надзвичайною ситуацією воєнного характеру є «порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об’єкті на ній або на водному об’єкті, спричинене застосуванням звичайної зброї або зброї масового ураження, під час якого виникають вторинні чинники ураження населення, що її визначають в окремих нормативних документах»[776].

---

[772] Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text (дата звернення 08.05.2025).

[773] Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 : наказ Держспоживстандарту України 11.10.2010 № 457. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text (дата звернення 08.05.2025).

[774] Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 : наказ Держспоживстандарту України 11.10.2010 № 457. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text (дата звернення 08.05.2025)

[775] Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 : наказ Держспоживстандарту України 11.10.2010 № 457. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text (дата звернення 08.05.2025).

[776] Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 : наказ Держспоживстандарту України 11.10.2010 № 457. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text (дата звернення 08.05.2025).

Залежно від обсягів заподіяних надзвичайною ситуацією наслідків, кількості постраждалих і загиблих, обсягів технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для ліквідації її наслідків, визначають такі рівні надзвичайних ситуацій: державний; регіональний; місцевий; об'єктовий.

Законом України «Про зону надзвичайної екологічної ситуації» визначено, що зоною надзвичайної екологічної ситуації є окрема місцевість України, на якій виникла надзвичайна екологічна ситуація. Надзвичайною екологічною ситуацією є надзвичайна ситуація, при якій на окремій місцевості сталися негативні зміни в навколишньому природному середовищі, що потребують застосування надзвичайних заходів з боку держави. Негативними змінами в навколишньому природному середовищі є втрата, виснаження чи знищення окремих природних комплексів та ресурсів внаслідок надмірного забруднення навколишнього природного середовища, руйнівного впливу стихійних сил природи та інших факторів, що обмежують або виключають можливість життєдіяльності людини та провадження господарської діяльності в цих умовах[777].

Підставами для оголошення окремої місцевості зоною надзвичайної екологічної ситуації є:

– значне перевищення гранично допустимих норм показників якості навколишнього природного середовища, визначених законодавством;

– виникнення реальної загрози життю та здоров'ю великої кількості людей або заподіяння значної матеріальної шкоди юридичним, фізичним особам чи навколишньому природному середовищу внаслідок надмірного забруднення навколишнього природного середовища, руйнівного впливу стихійних сил природи чи інших факторів;

– негативні зміни, що сталися в навколишньому природному середовищі на значній території і які неможливо усунути без застосування надзвичайних заходів з боку держави;

– негативні зміни, що сталися в навколишньому природному середовищі, які суттєво обмежують або виключають можливість проживання населення і провадження господарської діяльності на відповідній території;

– значне збільшення рівня захворюваності населення внаслідок негативних змін у навколишньому природному середовищі[778].

Отже, під час виникнення надзвичайної ситуації біологічного походження може бути запроваджено правовий режим зони надзвичайної екологічної ситуації – це особливий правовий режим, який може тимчасово запроваджуватися в окремих місцевостях у разі виникнення надзвичайних екологічних ситуацій і спрямовується для попередження людських і матеріальних втрат, відвернення загрози життю і здоров'ю громадян, а також усунення негативних наслідків надзвичайної екологічної ситуації.

Запровадження відповідного правового режиму зони надзвичайної екологічної ситуації передбачає виділення державою та/або органами місцевого самоврядування додаткових фінансових та інших матеріальних ресурсів, достатніх для нормалізації екологічного стану та відшкодування нанесених збитків, запровадження спеціального режиму поставок продукції для державних потреб, реалізацію державних цільових програм громадських робіт.

Відповідно до Закону України «Про Національну гвардію України» серед основних функцій Національної гвардії України важливе місце займає 13-та функція – підтриманні або відновленні правопорядку в районах виникнення особливо тяжких надзвичайних ситуацій

[777] Про зону надзвичайної екологічної ситуації : Закон України від 13 липня 2000 року № 1908-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1908-14#Text (дата звернення 08.05.2025).

[778] Про зону надзвичайної екологічної ситуації : Закон України від 13 липня 2000 року № 1908-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1908-14#Text (дата звернення 08.05.2025).

техногенного чи природного характеру (стихійного лиха, катастроф, особливо великих пожеж, застосування засобів ураження, пандемій, панзоотій тощо), що створюють загрозу життю та здоров'ю населення, а також 15-та функція – участь у ліквідації наслідків надзвичайних або кризових ситуацій на об'єктах, що нею охороняються[779].

Безпосередня організація та координація робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, пожеж та небезпечних подій здійснюються відповідно до статей 76 та 80 Кодексу цивільного захисту України[780] та наказу Міністерства внутрішніх справ України від 26 грудня 2014 року № 1406 «Про затвердження Положення про штаб з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та Видів оперативно-технічної і звітної документації штабу з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації»[781]. Зазначена нормативно-правова база визначає, що Штаб з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації утворюється для безпосередньої організації і координації аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації і є робочим органом керівника робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. До складу Штабу з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації залежно від рівня надзвичайної ситуації входять працівники Державної служби України з надзвичайних ситуацій, керівники аварійно-рятувальних служб, що беруть участь у ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, представники або експерти відповідних центральних органів виконавчої влади, місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування, установ та організацій. Основними завданнями Штабу з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації є безпосередня організація і координація аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

В розрізі взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження відправного значення набуває функція Штабу з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації щодо безпосередньої організації і координації дій залучених до ліквідації наслідків надзвичайної ситуації сил цивільного захисту, Збройних Сил України та інших військових формувань, органів і підрозділів внутрішніх справ, а також громадських організацій і волонтерів[782], а отже організація взаємодії.

Як філософська категорія «взаємодія» – це базова філософська категорія, що відображає процеси впливу об'єктів (суб'єктів) один на одного, їх зміни, взаємну обумовленість та породження одним об'єктом інших. По суті, взаємодія є різновидом опосередкованого або безпосереднього, внутрішнього або зовнішнього зв'язку, при цьому властивості будь-яких об'єктів можуть бути пізнаними або проявити себе лише у взаємодії з іншими об'єктами. Тобто, це поняття для позначення впливу речей один на одного для відображення взаємозв'язків між різними об'єктами для характеристики форм людського буття, людської діяльності і пізнання. У понятті взаємодія фіксуються прямі і «зворотні» впливи речей один на одного, обміни речовиною, енергією й

[779] Про Національну гвардію України : Закон України від 13 березня 2014 року № 876-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/876-18#Text (дата звернення 08.05.2025).
[780] Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text (дата звернення 08.05.2025).
[781] Про затвердження Положення про штаб з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації та Видів оперативно-технічної і звітної документації штабу з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 26 грудня 2014 року № 1406. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0047-15#Text (дата звернення 08.05.2025).
[782] Про затвердження Положення про штаб з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації та Видів оперативно-технічної і звітної документації штабу з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 26 грудня 2014 року № 1406. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0047-15#Text (дата звернення 08.05.2025).

інформацією між різними об’єктами, між організмами і середовищем, форми кооперації людей у різних ситуаціях співробітництва[783].

У правовій літературі в основному пропонується дефініція поняття взаємодії, що складається з двох головних ознак – як узгодженої та скоординованої діяльності. Категорія правової взаємодії акцентує увагу на пізнанні цілісного процесу функціонування права, правового життя, охоплюючи усі прояви феномену права; підкреслює реальну роль суб'єктів права, обмінів між ними юридично значущою діяльністю та (або) її результатами у правотворчості, правозастосуванні тощо; показує, що правові способи здійснення суспільних відносин існують і реалізуються тоді, коли право не лише номінально закріплене у своїх формальних джерелах, а реально діє, є «результативним», тобто досягає «мети правового впливу» через «систему стимулів, що спонукають суб'єктів до виконання передбачених правом обов'язків, дотримання заборон, використання можливостей»[784].

Основоположним нормативно-правовим актом, який визначає питання організації взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації можливо вважати наказ Міністерства внутрішніх справ України від 22.08.2016 № 859 «Про затвердження Інструкції про порядок взаємодії між Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Національною поліцією України та Національною гвардією України у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та небезпечні події»[785].

Наказ[786] зазначає форми взаємодії, якими є:

– обмін інформацією про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, пожеж та небезпечних подій у різних регіонах країни;

– проведення спільних оперативних нарад Голови Державної служби України з надзвичайних ситуацій або його заступників з Головою (заступниками) Національної поліції України та Командувачем (заступниками) Національної гвардії України, керівників територіальних органів Державної служби України з надзвичайних ситуацій з керівниками територіальних (у тому числі міжрегіональних) органів Національної поліції України та оперативно-територіальних об’єднань Національної гвардії України;

– здійснення спільних заходів за планами взаємодії органів управління та сил цивільного захисту в разі виникнення надзвичайних ситуацій, що розробляються на регіональних і місцевих рівнях;

– проведення спільних навчань та тренувань; здійснення інших заходів, передбачених чинним законодавством[787].

[783] Господарство і суспільство / Макс Вебер; пер. з нім. М. Кушнір. К.: Всесвіт, 2013. 1112 с.

[784] Кунєв Ю.Д. Взаємодія органів внутрішніх справ і громадських формувань з охорони громадського порядку як елемент державного управління у сфері правоохоронної діяльності. Вісник Запорізького юридичного інституту. 2000. № 1. С. 108–112.

[785] Про затвердження Інструкції про порядок взаємодії між Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Національною поліцією України та Національною гвардією України у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та небезпечні події : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 22.08.2016 № 859. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text (дата звернення 08.05.2025).

[786] Про затвердження Інструкції про порядок взаємодії між Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Національною поліцією України та Національною гвардією України у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та небезпечні події : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 22.08.2016 № 859. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text (дата звернення 08.05.2025).

[787] Про затвердження Інструкції про порядок взаємодії між Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Національною поліцією України та Національною гвардією України у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та небезпечні події : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 22.08.2016 № 859. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text (дата звернення 08.05.2025).

Встановлено, що взаємодія здійснюється:

– на державному рівні між апаратом Державної служби України з надзвичайних ситуацій, апаратом центрального органу управління Національної поліції України та головним органом військового управління Національної гвардії України;

– на регіональному рівні між територіальними органами Державної служби України з надзвичайних ситуацій, територіальними органами Національної поліції України та органами військового управління оперативно-територіальних об'єднань Національної гвардії України;

– на місцевому рівні між підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій, відділами (відділеннями) в районах, містах, районах у містах Національної поліції України та військовими частинами Національної гвардії України[788].

Обмін інформацією здійснюється на державному, регіональному та місцевому рівнях між черговими та диспетчерськими службами з метою організації своєчасного вжиття заходів оперативного реагування в разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій, пожежі та небезпечної події.

Організація спільних заходів складається з етапів попередньої підготовки та оперативної підготовки. На етапі попередньої підготовки сторонами, що взаємодіють, здійснюються: розроблення планів взаємодії на регіональному та місцевому рівнях; взаємне інформування; визначення обсягів і послідовності спільних дій при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації, пожежі та небезпечної події; узгодження порядку управління і взаємодії підрозділів при виконанні спільних завдань, а також питань матеріально-технічного забезпечення. На етапі оперативної підготовки здійснюються: спільне визначення місць розташування, зустрічі особового складу й порядку здійснення спільних заходів, пов'язаних із запобіганням виникненню та ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій, пожеж та небезпечних подій; оцінка обстановки на місці загрози або виникнення надзвичайної ситуації, пожежі або небезпечної події, стану і можливостей наявних сил і засобів; визначення керівника спільних заходів за погодженням з керівниками сторін, що взаємодіють; визначення необхідності залучення інших додаткових сил і засобів Національної поліції України та Національної гвардії України до проведення дій із запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, пожежі та небезпечної події, послідовності здійснення спільних заходів; залучення сил та засобів, необхідних для здійснення спільних заходів[789].

Основні завдання Національної гвардії України в межах компетенції щодо організації взаємодію є наступні:

– здійснює інформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій на державному, регіональному та місцевому рівнях про ознаки загрози або виникнення надзвичайних ситуацій, пожеж та небезпечних подій;

– надає допомогу в ліквідації наслідків природних, техногенних, екологічних катастроф;

– бере участь у ліквідації наслідків надзвичайних або кризових ситуацій на об’єктах, що охороняються підрозділами Національної гвардії України;

– бере участь у підтримці і відновленні правопорядку в районах виникнення особливо тяжких надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру (стихійного лиха, катастроф,

[788] Про затвердження Інструкції про порядок взаємодії між Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Національною поліцією України та Національною гвардією України у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та небезпечні події : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 22.08.2016 № 859. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text (дата звернення 08.05.2025).

[789] Про затвердження Інструкції про порядок взаємодії між Державною службою України з надзвичайних ситуацій, Національною поліцією України та Національною гвардією України у сфері запобігання і реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та небезпечні події : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 22.08.2016 № 859. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-16#Text (дата звернення 08.05.2025).

особливо великих пожеж, застосування засобів ураження, пандемій, панзоотій тощо), що створюють загрозу життю і здоров'ю значних верств населення;

– надає дозвіл підрозділам Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту на в'їзд на територію об'єктів, що охороняються Національною гвардією України, для запобігання виникненню або ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, пожеж та небезпечних подій;

– здійснює інші заходи, передбачені законодавством.

Отже, аналіз теоретичних засад організації взаємодії, які використовуються в теорії та практиці управління, дає можливість виділити такі ознаки взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження, як:

– спільна діяльність суб'єктів під час виконання заходів із реагування на надзвичайні ситуації;

– наявність декількох (не менше двох) суб'єктів взаємодії під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації;

– узгодженість заходів у меті, місці, часі, методах;

– спільна спрямованість функціонування взаємодіючих суб'єктів під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації;

– питання взаємодії під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації регулюються відповідними правовими актами;

– незалежність суб'єктів взаємодії (не підпорядкованість по службі);

– чітке розмежування функцій учасників взаємодії під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації;

– єдина мета – реагування на надзвичайні ситуації[790].

Відповідно до теорії взаємодії організаційних систем основними елементами взаємодії під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження є наступні:

– визначення суб'єктів організації взаємодії з числа органів та підрозділів Національної гвардії України та Державної служби України з надзвичайних ситуацій;

– визначення зовнішніх та внутрішніх чинників, що впливають на організацію взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;

– визначення сумісних форм організації взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;

– визначення сумісних способів організації взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;

– визначення єдиних напрямків організації взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;

– оцінювання ефективності організації взаємодії.

4. ВИСНОВКИ

На основі викладеного в дослідженні можна дійти наступного.

1. Розвиток цивілізаційних процесів постійно супроводжувалось загрозами виникнення кризових подій. Крім того, ліквідація наслідків надзвичайних в умовах відсічі широкомасштабної забойної агресії росії набуває сьогодні особливої актуальності. Відповідно до основ теорії управління та практичного досвіду, належна координація виконання завдань є запорукою

[790] Заброда Д.Г. Взаємодія суб'єктів боротьби з корупцією (адміністративно-правовий аспект) : дис. … канд. юрид. наук : 12.00.07. К., 2005. 240 с.

забезпечення ефективної співпраці, а отже тематика дослідження щодо обґрунтування теоретичні засади взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження є на часі та актуальною.

2. В розрізі взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження відправного значення набуває функція Штабу з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій щодо безпосередньої організації і координації дій залучених до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій сил цивільного захисту, Збройних Сил України та інших військових формувань, органів і підрозділів внутрішніх справ, а також громадських організацій і волонтерів, а отже організація взаємодії. Проведений правовий аналіз дозволив виокремити основні завдання Національної гвардії України в межах компетенції щодо організації взаємодії з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження.

3. Аналіз теоретичних засад організації взаємодії, які використовуються в теорії та практиці управління надав можливість виділити основоположні ознаки взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження. Опираючись на теорію взаємодії організаційних систем обґрунтовані основні елементами взаємодії Національної гвардії України з Державною службою України з надзвичайних ситуацій під час виконання спільних заходів із реагування на надзвичайні ситуації. Зазначені висновки є базисом для підвищення ефективності державних механізмів реагування на надзвичайні ситуації біологічного походження.

Напрями подальших наукових досліджень будуть спрямовані на розроблення сумісних механізмів реагування складових сектора безпеки і оборони України на надзвичайні ситуації біологічного походження.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ПРОГНОЗНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

GEO-INFORMATION FORECASTING AND ANALYTICAL SYSTEM DECISION-MAKING SUPPORT IN EMERGENCY CONDITIONS SITUATION

Сергій Ємельяненко, відділ організації науково-дослідної діяльності науково-дослідного центру, *E-mail:* yemelyanenko@ldubgd.edu.ua, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, *ORCID:* 0000-0002-2766-8428

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.28

Анотація. На основі роботи програм microGIS, ARCGIS, ENVI, MARPLOT, CAMEO, ALOHA, PIROSIM, FDS, FDS+EVAK, WFDS, PATHFINDER, створено Геоінформаційну прогнозно-аналітичну систему підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного, техногенного та воєнного характеру, яка може поєднати різні аналітичні методи та методики оцінювання наслідків НС різних класів на одній платформі для підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних та для ефективного управління.

Геоінформаційна прогнозно-аналітична система дозволить швидко ідентифікувати надзвичайні ситуації природного і техногенного характеру на етапі запобігання їх виникнення та покращить управління під час їх виникнення.

Мета. Описати основні завдання та роботу Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, що дозволить швидко прогнозувати наслідки надзвичайних ситуацій природного, техногенного характеру, зокрема і воєнного характеру на етапі запобігання та виникнення, що стосуються можливих випадків руйнувань на територіях з потенційними загрозами. А також дозволить покращити можливості прогнозування наслідків аварій та пожеж у громадських об’єктах та об’єктах критичної інфраструктури для відповідної адаптації захисту та діяльності з підвищення стійкості.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні моделей і алгоритмів для створення Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, для служби цивільного захисту, максимально адаптованої до потреб користувачів, розробленні рекомендації її використання в ситуаційних центрах та в структурних підрозділах.

Ключові слова: Геоінформаційна система, надзвичайні ситуації, кризове управління, пожежі, громадські об’єкти, прогнозування, програмне забезпечення.

Annotation. Based on the work of the programs microGIS, ARCGIS, ENVI, MARPLOT, CAMEO, ALOHA, PIROSIM, FDS, FDS+EVAK, WFDS, PATHFINDER, it is necessary to create a Geoinformation predictive and analytical decision-making support system in the conditions of emergency situations of a natural, man-made and military nature, which could combine different analytical methods and techniques for assessing the consequences of emergencies of different classes on one platform to support decision-making in emergency situations and for effective management.

Geoinformation forecasting and analytical system will allow to quickly identify emergency situations of natural and man-made nature at the stage of preventing their occurrence and will improve management during their occurrence.

Purpose. Describe the main tasks and work of the Geo-information predictive and analytical decision-making support system in emergency situations, which will allow to quickly predict the consequences of natural, man-made emergencies, in particular, of a military nature at the stage of prevention and occurrence, related to possible cases of destruction in territories with potential threats . And it will improve the ability to predict the consequences of accidents and fires in public facilities and critical infrastructure facilities for the appropriate adaptation of protection and resilience-building activities.

The scientific novelty of the obtained results consists in the creation of models and algorithms for the creation of a Geo-information predictive and analytical decision-making support system in emergency situations, for the civil protection service, maximally adapted to the needs of users, the development of recommendations for its use in situational centers and in structural units.

Keywords: Geoinformation system, emergency situations, crisis management, fires, public facilities, forecasting, software.

ВСТУП

Україна стикнулася з масштабними надзвичайними ситуаціями, спричиненими російською агресією, що створює необхідність пошуку нових рішень та удосконалення діяльності ситуаційних центрів управління в надзвичайних ситуаціях ДСНС України на основі ГІС-технологій в системах підтримки прийняття рішень. Створення геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема, воєнного характеру є сьогодні одним з пріоритетних і перспективних глобальних тенденцій, і є актуальним для служб цивільного захисту в Україні.

У зв'язку з технічним прогресом у світі, розвитком технологічної бази в підрозділах цивільного захисту з'являються можливості вдосконалення програмних продуктів, які підтримують зберігання і обмін картографічними даними під час прийняття управлінських рішень у завданнях прогнозування та ліквідації надзвичайних ситуацій, оцінюванні ефективності рятувальних заходів, ставить завдання розвитку і вдосконалення програмних продуктів, і технологій оперування ними. Програмне забезпечення на основі геоінформаційних систем має функції накопичування баз даних інформації, будувати карти загроз для різних об'єктів, територій та територіальних громад, що дає змогу запобігти виникненню та розвитку надзвичайних ситуацій.

МЕТОДОЛОГІЯ

Геоінформаційні системи охоплюють чотири основні напрями: підготовка, реагування, пом'якшення наслідків і відновлення. Завдяки моделюванню сценаріїв розвитку аварій, катастроф та інших надзвичайних ситуацій, підрозділи ДСНС України та інші оперативні служби можуть суттєво підвищити свою готовність до реагування[791].

Геоінформаційні системи дозволяють створювати та аналізувати різні шари, що може допомогти визначити закономірності виникнення певної надзвичайної ситуації з плином часу, що досягається за допомогою програм дистанційного зондування та геоінформаційних систем для розуміння її природи виникнення, що може допомогти у вирішенні складних проблем планування та управління, а також у прийнятті управлінських рішень[792]. Проте для цього необхідна стабільна політична підтримка, відповідне законодавче забезпечення, чітко визначена інституційна відповідальність і наявність кваліфікованих фахівців. Створення та функціонування систем

[791] T. J. COVA GIS in emergency management
https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/ch60.pdf
[792] Geographic Information System (GIS) for Disaster Response & Emergency Management. URL:
https://www.linkedin.com/pulse/geographic-information-system-gis-disaster-response-infotech/

раннього попередження надзвичайних ситуацій на основі геоінформаційних систем має розглядатися як пріоритетний напрям державної політики. Наприклад, в країнах ЄС створений так званий «Європейський пул цивільного захисту»[793] – це групи екстреного реагування з технічним обладнанням для підтримки заходів з реагування на надзвичайні ситуації. Коли трапляється лихо, і національні ресурси вичерпані, через механізм цивільного захисту ЄС (Європейський пул цивільного захисту) може надаватися допомога постраждалій країні. В найкоротші терміни надається негайна допомога від країн учасниць, що дозволяє значно зменшити наслідки аварій чи катастроф, а головне надати вчасно необхідну допомогу для порятунку життів і мінімізації збитків. Європейський пул цивільного захисту дозволяє краще організовувати, більш передбачувано та узгоджено операції ЄС при ліквідації надзвичайних ситуацій.

Управління під час надзвичайних ситуацій у Великобританії здійснюється на підставі Національного реєстру ризиків[794], який включає інформацію багатьох департаментів та агенцій, відповідальних за управління кризою у Великобританії. Документ публікується з 2008 року, згідно з положеннями, що містяться в ньому у Стратегії національної безпеки (Великобританії), і описує основні категорії ризиків та способи їх запобігання, а також оцінку ризиків[795]. Аналіз проводиться шляхом оцінки наслідків і ймовірності основних загроз у майбутніх 5 років, при цьому пріоритет надається загрозам, які можуть мати прямий вплив на діяльність держави. Щороку уряд Великобританії проводить оцінку ризиків: Національна оцінка ризиків – NRA (National Risk Assessment).

Федеральне агентство з управління надзвичайними ситуаціями у США (FEMA)[796] підкреслило важливу роль у залученні до допомоги при надзвичайних ситуаціях місцевих громад, приватного сектору та навчених волонтерів щодо реагування на катастрофи та відновлення. FEMA вбачає необхідність покласти на ці групи більше обов'язків.

У монографії[797] описано процес управління кризовими та надзвичайними ситуаціями, надається огляд законодавчої бази та політики щодо кризових і надзвичайних ситуацій. Авторами описано ролі та обов'язки основних учасників, залучених до реагування на кризові та надзвичайні ситуації, отримані з власного досвіду, і обговорюється менеджмент управління комунікаціями під час кризової чи надзвичайної ситуації.

У статті[798] акцентується увага на аспектах координування під час виникнення надзвичайних ситуацій та висвітлюються логістичні і координаційні проблеми, включаючи асиметричний потік інформації, їх правильну оцінку та швидке перенаправлення інформації. Описуються ролі та функції координаційного центру, переваги спільного розміщення всіх необхідних служб та відомств в одному приміщені, правильне укомплектування даних приміщень та застосування картографічного програмного забезпечення.

---

[793] European Civil Protection Pool https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection/european-civil-protection-pool_en

[794] . Dokument zawiera zgodny z nomenklaturą normy ISO Guide 73:2009 wykaz informacji o zidentyfikowanych ryzykach oraz szeroki opis potencjalnych ryzyk, wraz z opisem działań państwa zmierzających do ich ograniczenia. Głównie stanowi jednak podstawę do planowania dla podmiotów i jednostek administracji publicznej

[795] W normie ISO proces ten obejmuje identyfikację, analizę oraz ewaluację ryzyka, natomiast w dokumencie brytyjskim zawiera: identyfikację ryzyka, ocenę prawdopodobieństwa ryzyk i ich konsekwencji oraz porównanie ryzyk

[796] Hashemipour, M., Stuban, S. M., & Dever, J. R. (2017). A community-based disaster coordination framework for effective disaster preparedness and response. Australian Journal of Emergency Management, The, 32(2), 41-46.
URL: https://knowledge.aidr.org.au/media/3658/ajem-32-02-18.pdf

[797] Crisis and Emergency Management: A Guide for Managers of the Public Service of Canada. / P. Boisvert and R. Moore. Canadian Center for Management Development, 2003. 480 p. https://publications.gc.ca/site/eng/9.686713/publication.html

[798] Militello, L. G., Patterson, E. S., Wears, R., & Ritter, J. A. (2005, September). Large-scale coordination in emergency response. In Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting (Vol. 49, No. 3, pp. 534-538). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. https://doi.org/10.1177/154193120504900

У статті[799] описується роль підтримки інформаційно-комунікаційних технологій у координації дій під час реагування на надзвичайні ситуації, акцентуючи увагу на інформаційному рівні. Координація інформації зазвичай базується на національних механізмах взаємодії, але рідко підтримується відповідною інфраструктурою чи системами інформаційно-комунікаційних технологій. Зокрема, у статті представлено прототип системи управління кризовою інформацією для підтримки двох завдань: сповіщення про інциденти та обмін повідомленнями про ресурси. Дана система базується на відкритих стандартах, які розробляються консорціумом стандартів OASIS.

Проаналізувавши вищезазначені авторами проблеми та акценти щодо діяльності Кризових центрів слід виокремити саме проблеми правильної оцінки загроз надзвичайних ситуацій з допомогою геоінформаційних систем та швидкий обмін інформацією, перенаправлення її між службами для їх взаємодії. Для ефективного прийняття управлінських рішень оперативні служби, за можливості, мають знаходитись в одному приміщенні і мати доступ до геоінформаційного порталу для миттєвого вирішення питань для надання необхідної допомоги.

ПОБУДОВА СИСТЕМИ

Геоінформаційна прогнозно-аналітична система підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій дозволить покращити можливості прогнозування наслідків аварій та пожеж у громадських об’єктах та об’єктах критичної інфраструктури для відповідної адаптації захисту та діяльності з підвищення стійкості.

МЕТА

Описати основні завдання та роботу Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, яка дозволить швидко прогнозувати наслідки надзвичайних ситуацій природного, техногенного характеру, зокрема і воєнного характеру на етапі запобігання та виникнення, що стосуються можливих випадків руйнувань на територіях з потенційними загрозами.

Для виконання поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Аналіз, прогнозування надзвичайних ситуацій та оцінювання пожежних ризиків для об’єктів на територіях що досліджуються (об’єктах громадського призначення, об’єктах підвищеної небезпеки та об’єктах критичної інфраструктури) для нанесення на карту досліджуваних об’єктів, облік та класифікація об’єктів, джерел водопостачання, зокрема, протипожежного розміщення пожежних гідрантів, укриттів, кількості осіб на об’єктах, та інших об’єктів[800].

2. Сформулювати принцип роботи та основні функції Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема, воєнного характеру[801];

3. Розробити модель яка буде охоплювати основні ризики та небезпеки, які повинна опрацьовувати Геоінформаційна прогнозно-аналітична система підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема, воєнного характеру[802];

---

[799] Iannella, R., & Henricksen, K. (2007, May). Managing information in the disaster coordination centre: Lessons and opportunities. In Proceedings of the 4th International ISCRAM Conference (B. Van de Walle, P. Burghardt and C. Nieuwenhuis, eds.) (pp. 1-11) https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a4e049f81a397b152883c409092d31ce43c6d435

[800] Functioning of control centers in emergency situations S.O. Yemelyanenko, D.A. Behen, R.R. Koval. Public administration and social work №. 1, 2023, P.22-28. DOI: https://doi.org/10.32782/3041-1319/2023-1-4

[801] Use of geoinformation systems for crisis management in the activities of civil defense units S.O. Yemelyanenko, R.R. Koval, Y.M. Tkach, D.A. Behen, I.R. Koval. Public administration and social work No. 1, 2023, P.22-28. DOI: https://doi.org/10.32782/3041-1319/2023-2-2

[802] Yemelyanenko S., Y. Rudyk, A. Ivanusa "Geoinformational system for risk assessment visualization" Proceedings of the XIIIth International Scientific and Technical Conference CSIT 2018, Lviv: Lviv Polytechnic National University, 11-14 september 2018, pp. 17-20. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526743

4. Розробити узагальнену модель оцінювання та мінімізації ризиків для об'єкта[803];

5. Облік об'єктів природних небезпек та техногенного навантаження, статистична обробка даних про надзвичайні ситуації та пожежі, моделювання розвитку пожеж та надзвичайних ситуацій на досліджуваних територіях, вивчення процесів затоплення територій, пожеж об'єктів[804].

6. Отримання інформації для розроблення нових планів ліквідації надзвичайних ситуацій на об'єктах підвищеної небезпеки та об'єктах критичної інфраструктури;

7. Наповнення баз даних, зокрема пов'язаних з інформацією про викиди небезпечних речовин, та можливість пожеж в природних екосистемах;

8. Розробити узагальнену модель оцінювання та мінімізації пожежних ризиків об'єктів громадського призначення[805];

9. На основі геоінформаційних та інформаційно-телекомунікаційних систем виконати візуалізацію сценаріїв надзвичайних ситуацій що несуть найбільшу небезпеку;

10. Виконати оцінювання та аналіз пожежних ризиків об'єктів громадського призначення, на основі чого здійснити наповнення баз даних інформацією про об'єкти підвищеної небезпеки та об'єкти що несуть потенційну загрозу та на основі даної інформації побудувати матрицю ризиків[15];

11. Виконати програмне оброблення картографічного забезпечення, масштабування та узагальнення інформації щодо об'єктів, районів, міст, сіл – у яких можуть виникнути пожежі чи надзвичайні ситуації що супроводжуються великими наслідками та переходом на суміжні об'єкти.

12. Створити картографічні плани місцевості за растровими зображеннями, векторними об'єктами, побудувати моделі рельєфу та моделювання часу доїзду оперативно-рятувальних підрозділів до об'єктів.

Геоінформаційна прогнозно-аналітична система підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій передбачає використовувати наявне та придбане ліцензійне програмне забезпечення (MARPLOT, CAMEO, ALOHA, ARCGIS, microGIS, PIROSIM, FDS, FDS+EVAK, PATHFINDER та ін.) з метою створення зручних алгоритмів і вирішення практичних завдань служби цивільного захисту під час надзвичайних ситуацій на прикладі території м. Львова.

У випадку розробки шарів Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій взаємозв'язки між даними будуть виражатися окремими шарами і у разі доповнення таких зв'язків викликом окремих процедур такі шари представлятимуть інтерфейс користувача. Заповнення в шарах зв'язків між базами даних буде виконуватися модератором інтерфейсу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні моделей і алгоритмів для створення Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, для служби цивільного захисту, максимально адаптованої до потреб користувачів, розробленні рекомендації її використання в ситуаційних центрах та в структурних підрозділах.

---

[803] Yemelyanenko, S., Rudyk, Y., Kuzyk, A., Yakovchuk, R. «Geoinformational system of rescue services» MATEC 2018 Web of Conferences. DOI: 10.1051/matecconf/201824700030

[804] Yemelyanenko S., A. Ivanusa, H. Klym "Mechanism of Fire Risk Management in Projects of Safe Operation of Place for Assemblage of People" Proceedings of the XIIth International Scientific and Technical Conference CSIT 2017, Lviv: Lviv Polytechnic National University, 05-08 september 2017, pp. 305-308. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2017.8098792

[805] Yemelyanenko, Sergiy; Kuzyk, Andriy; Ivanusa, Andriy; Behen, Danyil; Koval, Roman; Morshch, Yevhen (2023) Improving the operational efficiency of control centers for emergency events by using gis technologies Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(10(124)), p. 37–49.

Геоінформаційна прогнозно-аналітична система підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій створена на основі програмних продуктів, зокрема створення баз даних для нанесення на карту об'єктів підвищеної небезпеки, об'єктів (гідрантів, водоймищ, оперативно-рятувальних служб, сховищ, укриттів та ін.) слугуватиме допомогою в швидкому реагуванні та орієнтуванні для оперативно-рятувальних служб під час виникнення надзвичайних ситуацій та гасіння пожеж, сприятиме створенню карт ризиків, зокрема, орієнтування на місцевості при використанні GPS приймачів, прокладанню маршрутів, контролю руху по маршрутах, аналізу треків, виконанню вимірювань і розрахунків, а також нанесенню користувачами оперативної обстановки.

Робота Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій поділяється на три етапи:

Перший – Створення карт-шарів та алгоритмів обробки даних.

Мета етапу: створення карт-шарів різними користувачами за допомогою картографічного редактора ARCGIS, microGIS з використанням спеціально розроблених скриптів і використання вже наявних карт.

Основні функції етапу:

- побудова алгоритмів обробки даних дистанційного зондування Землі з використанням комплексу пакетів програм ARCGIS, microGIS;

- створення цифрової карти відповідно до технологічної схеми створення цифрових карт за растровими картографічними зображеннями (кордони областей, районів, об'єднаних територіальних громад та інших об'єктів).

Другий етап передбачає:

- створення Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій;

- створення карти ризиків.

Мета етапу: Створити Геоінформаційну прогнозно-аналітичну систему підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій.

Основні функції:

- на основі програм MARPLOT, CAMEO, ALOHA, microGIS та ARCGIS можна створити Геоінформаційну прогнозно-аналітичну систему підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій;

- розрахувати та оцінити наслідки можливих надзвичайних ситуацій за допомогою різних аналітичних методів, методик та програм (PIROSIM, FDS, FDS+EVAK, WFDS, PATHFINDER та інші), які будуть застосовані з метою обробки даних моніторингу та передбачення наслідків в умовах надзвичайних ситуацій природного, техногенного і воєнного характеру.

- поєднати різні аналітичні методи та методики оцінювання наслідків надзвичайних ситуацій різних класів на платформі Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру.

Третій етап – Перевірка роботи Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру в практичних задачах підрозділів цивільного захисту.

Мета етапу: перевірити роботу Геоінформаційної прогнозно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури.

Основні функції:

- Проведення прогнозування надзвичайних ситуацій та оцінювання пожежних ризиків для об'єктів на досліджуваних територіях та об'єктів громадського призначення[806], облік небезпечних об'єктів, об'єктів підвищеної небезпеки з метою оперативного прийняття рішень: нанесення на карту об'єктів що несуть потенційну небезпеку, облік та класифікація цих об'єктів, джерел протипожежного водопостачання (включно з позначеннями розміщення пожежних гідрантів, укриттів, та інших об'єктів);

- облік об'єктів природних небезпек[807] та техногенного навантаження, статистичне опрацювання даних про надзвичайні ситуації та пожежі, моделювання розвитку пожеж та надзвичайних ситуацій на територіях де є об'єкти з потенційною небезпекою, вивчення процесів затоплення територій, моделювання аварій що супроводжуються забрудненням небезпечними хімічними речовинами, пожеж в природних екосистемах, поширення їх, загроз динаміки пожеж та ін.;

- програмне опрацювання картографічного забезпечення, масштабування та узагальнення інформації щодо районів, міст, об'єднаних територіальних громад, сіл, об'єктів на яких є загрози виникнення надзвичайних ситуацій; створення картографічного плану місцевості за растровими зображеннями, векторними об'єктами, побудова моделі рельєфу, моделювання будівель і доріг різних рівнів та дорожніх розв'язок, тощо;

- створення мапи ризиків Львівської області з зазначенням основних ризиків надзвичайних ситуацій природного, техногенного і воєнного характеру, що дозволить створити ситуаційний центр, який матиме сучасну інформаційно-комп'ютерну систему, що дозволить обробляти масиви інформації, яка буде надходити з усіх державних і недержавних баз даних, зокрема із супутників і безпосередньо з місць подій.

ВИСНОВКИ

Створена Геоінформаційна прогнозно-аналітична система підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій дозволяє оцінювати рівень небезпеки та оперативно відпрацьовувати рішення для локалізації та ліквідації загроз.

На практиці, маючи ці знання керівник ситуаційного центру управління в надзвичайних ситуаціях ДСНС України зможе ефективно керувати особовим складом не наражаючи їх на небезпеку, а також провести вчасно евакуацію. Існуюча методика що використовується в ДСНС України потребує багато часу для оцінювання небезпек, а використовуючи ці програми можна зменшити час оцінювання небезпек та візуалізувати їх. Ці результати дозволять вирішити зазначену проблему щодо підвищення ефективності функціонування ситуаційних центрів управління в надзвичайних ситуаціях ДСНС України.

[806] Yemelyanenko, S., Ivanusa, A., Yakovchuk, R., Kuzyk, A. (2020) Fire risks of public buildings News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 6(444), p. 75–82. DOI 10.32014/2020.2518-170X.133

[807] Drach, K.L., Kuzyk, A.D., Tovarianskyi, V.I., Yemelianenko, S.O. (2020) Fire dangerous properties of the most common plants of grass ecosystems in Ukraine Ecologia Balkanica, 12(1), p. 147–154. http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2020_vol12_iss1/147-154_eb.20123.pdf

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ В УПРАВЛІННІ БІОЛОГІЧНИМИ, ХІМІЧНИМИ ТА ЕКОЛОГІЧНИМИ ЗАГРОЗАМИ: ВИКЛИКИ ДЛЯ МІЖНАРОДНОГО ГУМАНІТРАНОГО ПРАВА

INNOVATIVE SOLUTIONS IN THE MANAGEMENT OF BIOLOGICAL, CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL THREATS: CHALLENGES FOR INTERNATIONAL HUMANITARIAN LAW

Юрій Єрмаков, проректор Львівського державного університету внутрішніх справ, доктор юридичних наук, професор. e-mail: ermacovyo@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9400-0604

Ольга Барабаш, завідувач науково-дослідної лабораторії актуальних проблем правозастосовної та правоохоронної діяльності навчально-наукового інституту права та правоохоронної діяльності Львівського державного університету внутрішніх справ, Голова Ради молодих вчених ЛьвДУВС, доктор юридичних наук, професор. e-mail: kolibri1961@ukr.net, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2666-9696.

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.29

Анотація. У статті з’ясовано, що у сучасному світі загрози техногенного, природного, криміногенного, терористичного та, безумовно, воєнного характеру нажаль становлять реальну небезпеку для населення усіх держав в цілому світі. Основна мета безпеки життєдіяльності як науки – захист людини в техносфері від негативних небезпек антропогенного і природного походження. На цій підставі значення МГП істотно зросло з огляду на інтенсивний вплив людини на довкілля та безпеку життєдіяльності. Ще більша його роль в умовах впливу біологічних, хімічних та екологічних загроз людині в умовах російсько-української війни. Зазначено, що у контексті збройного конфлікту в Україні актуалізуються комплексні загрози біологічного, хімічного та екологічного характеру. Знищення інфраструктури, порушення екосистем та потенційне використання зброї масового ураження потребують не лише технічних, а й правових рішень на основі МГП. З огляду на зазначене основні виклики для міжнародного гуманітарного права полягають у наступному: нормативній неадекватності – МГП не враховує всіх новітніх загроз, які постають перед людиною в умовах війни; відсутність механізмів превенції – й надалі в МГП домінує ex post підхід; складність атрибуції відповідальності в умовах гібридних воєн тощо. Окрім того, сучасні виклики, такі як російсько-українська війна, демонструють необхідність подальшого вдосконалення механізмів захисту прав людини в умовах збройних конфліктів та адаптації міжнародного права до нових реалій ведення війни. Акцентовано, що досягнення в галузі синтетичної біології та мультимодального штучного інтелекту (крім використання LLM) можуть посилити ризик навмисного вивільнення шкідливих вірусів, дозволяючи майбутнім системам за допомогою штучного інтелекту надавати вказівки від вибору вірусних геномів до синтезу та вивільнення вірусу, використовуючи мультимодальні навчальні дані. Наприклад, вони можуть створити так званий «супервірус», який поєднує в собі швидке поширення якоїсь важкої хвороби, рівень смертності від неї та інкубаційний період. Стратегії, спрямовані на збалансування використання ШІ в синтетичній біології, управління доступом до генетичної інформації, а також керівництво розвитком можливостей штучного інтелекту та використанням синтетичних інструментів, стають вирішальними в процесі знешкодження майбутніх загроз. Це вимагає

ретельного аналізу ризику та користі в дослідженнях з урахуванням досягнень у методах синтетичної біології, які можуть бути покращені використанням штучного інтелекту для забезпечення біотероризму.

Ключові слова: права людини, безпека, безпека життєдіяльності, інформаційні технології, інноваційні рішення, управління, біологічні загрози, хімічні загрози, екологічні загрози, міжнародне гуманітарне право, війна, воєнний стан, біобезпека, біологічна зброя, ядерна зброя.

Abstract. The article highlights that in today's world, threats of technogenic, natural, criminogenic, terrorist, and certainly military origin unfortunately pose a real danger to the populations of all countries worldwide. The primary goal of life safety as a science is to protect humans in the technosphere from the negative impacts of anthropogenic and natural hazards. On this basis, the significance of international humanitarian law (IHL) has substantially increased due to the intensified human impact on the environment and life safety. Its role becomes even more critical amid biological, chemical, and environmental threats to humans during the russian-ukrainian war. It is noted that in the context of the armed conflict in Ukraine, complex biological, chemical, and environmental threats are becoming particularly relevant. The destruction of infrastructure, disruption of ecosystems, and the potential use of weapons of mass destruction require not only technical but also legal solutions grounded in IHL. In light of this, the main challenges for international humanitarian law are as follows: normative inadequacy—IHL does not account for all the latest threats emerging in wartime; lack of preventive mechanisms—ex post approaches continue to dominate IHL; difficulty in attributing responsibility in the context of hybrid warfare, among others. Furthermore, contemporary challenges such as the russian-ukrainian war demonstrate the need for further improvement of human rights protection mechanisms in armed conflicts and for adapting international law to the new realities of warfare.It is emphasized that advances in synthetic biology and multimodal artificial intelligence (beyond the use of LLMs) may increase the risk of intentional release of harmful viruses, enabling future AI-based systems to provide guidance on everything from selecting viral genomes to synthesizing and releasing a virus using multimodal training data. For example, they may be capable of creating a so-called "supervirus" that combines the rapid spread of a severe disease, high mortality, and an extended incubation period. Strategies aimed at balancing the use of AI in synthetic biology, managing access to genetic information, and guiding the development and application of AI capabilities and synthetic tools become crucial in mitigating future threats. This requires a thorough risk-benefit analysis in research, considering advances in synthetic biology methods that may be enhanced through the use of AI, potentially enabling bioterrorism.

Keywords: human rights, security, life safety, information technologies, innovative solutions, management, biological threats, chemical threats, environmental threats, international humanitarian law, war, martial law, biosafety, biological weapons, nuclear weapons.

1. ВСТУП

У сьогоденні екологічні проблеми набувають глобального масштабу, виходячи за межі окремих держав, що зумовлює міжнародне співробітництво та комплексний підхід до їх вирішення міжнародною спільнотою. Розуміння основних закономірностей функціонування природних систем та механізмів їхнього управління стає критично важливим для розробки ефективних стратегій збереження природи та забезпечення збалансованої взаємодії людини з довкіллям. У цьому вбачається важлива роль міжнародного гуманітарного права (далі – МГП), яке покликане стабілізувати взаємозв'язки між людиною та навколишнім середовищем. Це право охоплює широкий спектр

біологічних, хімічних та фізичних процесів, які визначають функціонування екосистем та стійкість природних загроз. У сучасному світі значення МГП істотно зросло з огляду на інтенсивний вплив людини на довкілля та безпеку життєдіяльності. Ще більша його роль в умовах впливу біологічних, хімічних та екологічних загроз людині в умовах війни в Україні з боку рф.

Нагадаємо, що за сучасним міжнародним правом, держава-агресор несе міжнародну відповідальність за агресію, а її військове та політичне керівництво – кримінальну відповідальність за злочин агресії як на міжнародному рівні (ст.ст. 5, 8 bis Римського Статуту Міжнародного кримінального суду), так і на національному (в Україні це ст. 437 КК України – «Планування, підготовка, розв'язування та ведення агресивної війни»). Саме такою є кваліфікація дій рф проти України відповідно до загального міжнародного права, починаючи з 2014 року – агресія. рф є державою-агресором, порушником імперативних норм міжнародного права щодо заборони застосування сили проти незалежності, територіальної цілісності України. За МГП агресія рф проти України починаючи з 2014 року кваліфікується як міжнародний збройний конфлікт[808].

Безперечно, у контексті збройного конфлікту в Україні актуалізуються комплексні загрози біологічного, хімічного та екологічного характеру. Знищення інфраструктури, порушення екосистем та потенційне використання зброї масового ураження потребують не лише технічних, а й правових рішень на основі МГП[809]. З огляду на зазначене основні виклики для міжнародного гуманітарного права полягають у наступному: нормативній невідповідності – МГП не враховує всіх новітніх загроз, які постають перед людиною в умовах війни; відсутність механізмів превенції – й надалі в МГП домінує ex post підхід; складність атрибуції відповідальності в умовах гібридних воєн тощо. Окрім того, сучасні виклики, такі як російсько-українська війна, демонструють необхідність подальшого вдосконалення механізмів захисту прав людини в умовах збройних конфліктів та адаптації міжнародного права до нових реалій ведення війни[810].

Збройні конфлікти справляють негативний вплив на екологічну ситуацію в Україні та її навколишнє середовище. Застосування під час ведення бойових дій заборонених видів озброєння, до яких належать хімічна та біологічна зброя масового ураження, має негативний вплив: сприяє погіршенню людського здоров'я, утворенню нових видів хвороб та захворювань, з якими медицина раніше не стикалася. Проблема застосування хімічної зброї в даний час є нагальною проблемою, оскільки міжнародні терористичні організації зацікавлені у її застосуванні для створення загального хаосу та паніки.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Метою цієї статті є аналіз інноваційних підходів до управління біологічними, хімічними та екологічними загрозами та формулювання пропозицій щодо вдосконалення міжнародного правового регулювання у цій сфері.

Виконання даного наукового дослідження проводилось на підставі таких методів: спостереження – реєстрація кількісних і якісних змін у загрозах біологічного, хімічного та екологічного характеру; експеримент – дослідження загроз в умовах війни в Україні; опис – характеристика форм і змісту загроз, їх видів та характеру поширення; вимірювання й підрахунок –

[808] Міжнародне гуманітарне право : посібник для працівників Держ. кримінал.-викон. служби України / Т. Короткий, А. Галай, М. Єлігулашвілі, І. Заворотько, М. Пашковський, В. Пузирний, Н. Хендель; за заг. ред. віцепрезидента УАМП Т. Короткого; Пенітенціарна академія України; УГСПЛ. Київ; Одеса : Фенікс, 2023. С. 15.

[809] Кравченко О., Василюк О., Войціховська А., Норенко К. Дослідження впливу військових дій на довкілля на Сході України. *Філософія*. 2015. №2 (134). С. 118–123.

[810] Капітан О.І., Саміло А.В. Міжнародне гуманітарне право як результат викликів збройних конфліктів. *Аналітично-порівняльне правознавство*. С. 893-899. URL: https://app-journal.in.ua/wp-content/uploads/2024/10/138.pdf [5.05.2025].

встановлення числових значень шкоди, яка була завдана біологічними, хімічними та екологічними загрозами міжнародному гуманітарному праву. Також у дослідженні було вивчено динаміку впливу загроз на життєдіяльність людини. Метод порівняння дозволив встановити подібності між загрозами, а також їх подолання в межах зарубіжного досвіду провідних держав світу. Математичні методи дозволили оцінити наявні збитки, завдані МГП загрозами різного характеру.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Загрози в умовах війни: виклики та відповіді міжнародного гуманітарного права

3.1.1. Природа та специфіка біологічних загроз

Основна трагедія збройного конфлікту в Україні полягає в його наслідках. Вже сьогодні ми зазнаємо значних збитків у людській, інфраструктурній та економічній сферах. Хоча екологічні, соціальні та продовольчі наслідки війни зазвичай не знаходять особливого відображення, варто підкреслити, що злочини проти навколишнього природного середовища можуть мати менш помітний, але значний вплив у довгостроковій перспективі. Згідно з Індексом екологічної ефективності, Україна вже до початку вторгнення держави-окупанта у лютому 2022 року мала низькі рейтинги якості всіх природних екосистем[811]. За 24-им принципом Декларації Ріо-де-Жанейро про навколишнє середовище та розвиток[812], війна фактично спричиняє руйнування сталого розвитку.

Біологічні загрози охоплюють епідемії (COVID-19, Ebola), біотероризм і використання біозброї[813]. Ці явища загрожують цивільному населенню, порушують принципи розрізнення та пропорційності, і є викликом для чинного МГП.

З урахуванням цього принципу, держави повинні дотримуватись міжнародного права для забезпечення охорони навколишнього середовища під час збройного конфлікту. До міжнародних норм у сфері біологічних загроз слід віднести: Женевські конвенції 1949 р.; Конвенцію про заборону біологічної та токсинної зброї 1972 р.; Резолюція Ради Безпеки ООН №1540 2004 р.

Згідно означених Конвенцій біологічні загрози включають:

1) поширення високопатогенних вірусів;
2) біотерористичні атаки;
3) використання біологічної зброї;
4) неконтрольоване зараження через порушення санітарії у зонах бойових дій.

Усі вищеназвані загрози можна назвати терміном «біологічний тероризм». Біологічним тероризмом є застосування з прямим наміром біологічних засобів та компонентів для ураження людей, рослин, живих організмів з метою заподіяння максимальної шкоди, яка несе негативні наслідки для людини, зокрема:

1) медичні – масові захворювання людей, більшість з яких має летальний кінець; психічні розлади; інвалідність; порушення роботи медичних організацій та лікувальних закладів;

2) економічні – знищення різних видів рослин та культур, включаючи сільськогосподарські; масова загибель тварин та худоби; масовий голод; зростання фінансових витрат на проведення протиепідемічних та карантинних заходів;

---

[811] Семерня О.М., Любинський О.І., Федорчук І.В., Рудницька Ж.О., Семерня А.О. Екологічна безпека в умовах воєнного стану. Економічні науки: науково-практичний журнал. 2022. № 2(41). С. 62–66

[812] Декларація Ріо-де-Жанейро щодо навколишнього середовища та розвитку: Міжнародний документ від 14.06.1992. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_455#Text [5.05.2025].

[813] Війна в Україні залишає довгий слід забруднень, хвороб та зруйнованої промисловості. URL.: http://www.climateinfo.org.ua/content/viina-v-ukrajni-zalishae-dovgiislid-zabrudnen-khvorob-ta-zruinovanoj-promislovosti [5.05.2025].

3) демографічні – акти біологічного тероризму знищують населення, сприяють утворенню «демографічних прогалин»[814].

У сучасній практиці відомі випадки застосування терористами біологічної зброї. Так, після пошкодження каналізаційної мережі в Маріуполі в 2022 р. було зафіксовано різке зростання захворювань на гепатит А серед населення[815].

Інфекційні захворювання інфекційні залишаються однією з ключових загроз для сучасного людства, оскільки мають здатність як безпосередньо, так і опосередковано впливати на рівень і тривалість життя. У нинішніх умовах посилюється динаміка епідемічних процесів, зокрема спостерігається глобальне поширення нових патогенів, повернення давно відомих інфекцій, а також поява нових захворювань. Однією з ознак сучасної епідеміологічної ситуації є зростання випадків захворювань у людей, що раніше виявлялися виключно у тварин. Упродовж останніх двох десятиліть людство зіткнулося з низкою таких прикладів міжвидової передачі: віспа мавп, близькосхідний респіраторний синдром (MERS-CoV), COVID-19, спричинений вірусом SARS-CoV-2, ВІЛ-інфекція, а також хвороб — Ебола, Марбург, Мачуно, Ніпах, спричинених високопатогенними вірусами тощо[816].

Перелік сучасних загроз і викликів у галузі громадського здоров'я та біобезпеки, зокрема, містить інфекційні хвороби, які можуть у разі їх значного поширення на території країни та тяжкого перебігу викликати негативні наслідки у сфері охорони здоров'я, громадського здоров'я, соціально-економічному та політичному секторах держави.

З огляду на зазначене, варто вказати на позитивний зарубіжний досвід інноваційних рішень у світлі біологічних загроз, зокрема:

1) біоінформатика (США, Велика Британія): система BioSurveillance дозволяє виявляти патогени в реальному часі. У 2023 р. у США секвеновано понад 12 000 зразків вірусів (CDC);

2) супутниковий моніторинг (ЄС): Copernicus EMS виявляє зміни в екосистемах через Sentinel та AI;

3) AI для прогнозування (Канада): проєкт BlueDot попередив про COVID-19 ще в 2019 р. У 2022 р. інтегрований у національну стратегію біозахисту;

4) мобільні лабораторії (Німеччина, Франція, НАТО): CBRN-лабораторії виявляють біозагрози за 2–3 год.

Слід зазначити, що терористичні організації віддають перевагу використанню біологічної та бактеріологічної зброї, тому що: біологічна зброя є стратегічною; біологічну зброю можна створювати у підпільних умовах; наслідки застосування біологічної зброї можуть бути тривалими, що може призвести до більшої кількості жертв серед мирного населення.

Таким чином, біотероризм є однією з головних загроз як для міжнародної безпеки, так і для національної безпеки держав, а можливість його прихованого здійснення створює небезпеку позбавлення населення джерел існування, дестабілізації порядку управління, залякування населення тощо.

---

[814] Кичко І.І., Маргасова В.Г., Холодницька А.В. Антропотехногенні чинники впливу на безпеку водокористування в контексті урбаністичних процесів: причини, наслідки та методи протидії. *Економічний простір.* 2022. №179. С. 100-107. URL: https://doi.org/10.32782/2224-6282/179-15 [5.05.2025].

[815] До кінця 2022 року від хвороб та епідемій у Маріуполі можуть померти понад 10 тисяч людей. *Суспільне*. 11 травня 2022 р. https://suspilne.media/donbas/238096-do-kinca-2022-roku-vid-hvorob-ta-epidemij-u-mariupoli-mozut-pomerti-ponad-10-tisac-ludej/ [5.05.2025].

[816] Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 15 жовтня 2021 року «Про Стратегію біобезпеки та біологічного захисту»**:** Указ Президента України від 17 грудня 2021 року № 668/2021. URL: https://www.rnbo.gov.ua/ua/Ukazy/5190.html [5.05.2025].

3.1.2. Природа та специфіка хімічних загроз

Серед хімічних загроз особливо шкідливими є застосування зброї масового знищення, включаючи ядерну, біологічну та хімічну зброю.

Хімічна зброя – це отрути. У них є токсини, які вбивають або виводять людей з ладу при контакті з ними. Хімічна зброя включає гірчичний газ, нервово-паралітичні речовини та інші хімічні речовини, які можуть вивести з ладу, задушити або подразнити шкіру та утворити пухирі.

Біологічна зброя діє на життєву систему людини і часто розвивається з живих організмів, таких як віруси або бактерії. Їх дуже бояться, тому що відносно невеликі кількості цих організмів, таких як сибірська виразка, можуть спричинити величезну кількість жертв.

Заборона хімічної та біологічної зброї настільки абсолютна, що не має значення, смертоносна вона чи ні, і чи дозволена вона національним законодавством держав. Наприклад, газ CS може використовуватися поліцією для контролю за масовими заворушеннями, але його використання заборонено під час збройних конфліктів. Так, всім відоме застосування хімічної зброї (понад 390 випадків в Сирії, Іраку та Судані після 2013 р.). Саме тому, варто звернути увагу на інноваційні підходи різних держав у сфері подолання хімічних загроз:

1) США (CHEMPROX): сенсори виявляють отруйні речовини за 60 сек.;
2) НАТО (CBRN Teams): дрони з сенсорами локалізують джерела;
3) Ізраїль: ШІ моделює ризики хімічних атак за метеоданими й логістикою.

Що стосується ядерної зброї, то на сьогодні не існує універсальної заборони на її застосування у міжнародному праві. Хоча Женевський Протокол про заборону застосування на війні задушливих, отруйних чи інших подібних газів та бактеріологічних засобів 1925 р. був спробою світових держав заборонити використання хімічної та біологічної зброї у військових конфліктах з метою збереження міжнародної безпеки. Ефективність дії Протоколу у МГП знижував той факт, що в ньому не були прописані норми щодо способів контролю за його дотриманням, а також не було вказано заходів відповідальності для порушників.

В Арабській конвенції про боротьбу з тероризмом 1998 р. наводиться таке поняття: «будь-який акт чи загроза насильства, незважаючи на мотиви або цілі, що здійснюються на вимогу однієї особи або злочинної групи, наводять жах серед населення, завдають шкоди цьому населенню, наражають на небезпеку життя, свободу та безпеку людей, спрямовані на заподіяння шкоди навколишньому середовищу, громадським та приватним будівлям чи майну, а також нанесення шкоди всій нації».

В 1996 році Міжнародний суд ООН, головний орган Організації Об'єднаних Націй, надав консультативний висновок щодо законності загрози або застосування ядерної зброї. 14 суддів суду розглянули договірне право, звичаєві норми та практику держав щодо ядерної зброї на той час і на основі свого аналізу одноголосно дійшли висновку, що до застосування ядерної зброї застосовуються принципи та норми міжнародного гуманітарного права. Там додали, що застосування ядерної зброї загалом суперечитиме принципам та нормам міжнародного гуманітарного права.

Також в 2011 році Рада делегатів Міжнародного руху Червоного Хреста висловила стурбованість ядерною зброєю, зокрема через: руйнівну силу ядерної зброї; людські страждання, які вона спричиняє; складність контролю її впливу в просторі і часі; загрозу, яку вона несе для навколишнього середовища і для майбутніх поколінь; ризики ескалації, які вона створює. При цьому рух Червоного Хреста звернувся до всіх держав із закликом забезпечити, щоб вони ніколи більше не застосовували ядерну зброю, незалежно від їхніх поглядів на законність зброї, і щоб вони

сумлінно та рішуче вели переговори про заборону застосування ядерної зброї, зокрема, й повну ліквідацію за допомогою юридично обов'язкових міжнародних угод.

3.1.3. Природа та специфіка екологічних загроз

Насамперед зазначимо, що джерелами екологічних загроз вважають: масштабні пожежі; забруднення ґрунту й вод; техногенні катастрофи (наприклад, вибух Каховської ГЕС).

Такі екологічні проблеми, особливо пов'язані зі зміною клімату, забрудненням та втратою біорізноманіття. Вони носять транскордонний характер, що вимагає спільних зусиль та координації всіх держав та міжнародних інституцій на глобальному рівні.

Активна участь у міжнародних екологічних конвенціях та угодах (наприклад, Рамкова конвенція ООН щодо зміни клімату, Конвенція про біологічну різноманітність, Паризька угода) дозволяє країнам об'єднувати зусилля та ресурси для вирішення спільних проблем.

Розробка та реалізація міжнародних програм та проєктів з охорони природи, сталого розвитку та адаптації до кліматичних змін сприяє обміну досвідом, технологіями та фінансовою підтримкою. При цьому, посилення співробітництва в галузі екологічного моніторингу, наукових досліджень та обміну даними допомагає краще зрозуміти масштаби та динаміку глобальних екологічних процесів.

Важливим аспектом у цьому процесі є також спільна робота щодо формування екологічного законодавства та стандартів, що забезпечують дотримання міжнародних принципів сталого розвитку.

Утім, важливого занепокоєння викликають і загрози екологічного характеру внаслідок ведення війни. Так, за даними UNEP, до кінця 2023 р. в Україні зафіксовано понад 2000 інцидентів екологічного характеру внаслідок війни. Так, експерти наголошують, що вибухи, які утворюються у результаті ведення бойових військових дій, істотно впливають на ґрунт. Зазвичай, уламки боєприпасів, вибухові компоненти та побічні продукти хімічних реакцій опісля вибухів, зміщуються із ґрунтом на дні вирв й воронок, а також розлітаються навколо, забруднюючи хімічними компонентами прилеглі до вибухів території. Особливо великих руйнувань поверхні землі завдають утворені воронки і вирви внаслідок вибухів розірваних артилерійських снарядів, що призводить до виникнення ерозії ґрунтів внаслідок вибухів та ерозії ґрунтів через рух техніки. Під час виконання кожного бойового вогневого завдання відбувається локальне забруднення ґрунтового покриву залишками вибухових речовин і фрагментами боєприпасів. Інтенсивність такого впливу, а також його просторові характеристики, безпосередньо залежать від маси заряду та швидкості детонації.[817].

Отже, в результаті проведення бойових стрільб спостерігається руйнування структури ґрунту у напрямках поширення вибухової хвилі. Вже на глибинах до двох метрів фіксується порушення природної цілісності ґрунтового шару: з'являються тріщини та фрагментація пористої маси. Отже, наслідки вогневої діяльності мають імпульсний і локалізований характер: з одного боку, вони нетривалі в часі порівняно з довготривалими процесами, як-от фільтрація шкідливих речовин (яка може тривати місяцями або навіть роками); з іншого — вони обмежені за площею, оскільки зона безпосереднього механічного впливу суттєво менша за ділянку подальшого екологічного поширення забруднень.[818].

[817] Строкаль В. П., Бережняк Є. М., Наумовська О. І., Вагалюк Л. В., Ладика М. М., Сербенюк Г. А., Паламарчук С. П., Павлюк С. Д. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: монографія / В. П. Строкаль, Є. М. Бережняк, О. І. Наумовська, Л. В. Вагалюк, М. М. Ладика, Г. А. Сербенюк, С. П. Паламарчук, С. Д. Павлюк // За заг. ред. В. П. Строкаль. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 218 с. С. 22-24. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/monografiya-ostanniy_variant_isbn_5.pdf [5.05.2025].

[818] Строкаль В. П., Бережняк Є. М., Наумовська О. І., Вагалюк Л. В., Ладика М. М., Сербенюк Г. А., Паламарчук С. П., Павлюк С. Д. Вплив російської агресії на стан природних ресурсів України: монографія / В. П. Строкаль, Є. М. Бережняк, О. І. Наумовська, Л. В. Вагалюк, М. М. Ладика, Г. А. Сербенюк, С. П. Паламарчук, С. Д. Павлюк // За заг. ред. В. П. Строкаль. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2023. 218 с. С. 22-24. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u341/monografiya-ostanniy_variant_isbn_5.pdf [5.05.2025].

Сучасні екологічні виклики вимагають комплексного та багатопланового підходу, що включає як технічні, так і соціальні заходи. Раціональне та дбайливе ставлення до природних ресурсів є фундаментом зниження негативного впливу на довкілля. Упровадження принципів сталого природокористування передбачає використання ресурсів таким чином, щоб забезпечити їх відтворення та зберегти екосистеми майбутніх поколінь. Ключовими напрямками тут є:

1) оптимізація використання твердого палива з переходом на відновлювані джерела енергії – сонячну, вітрову, гідроенергетику та біомасу. Це значно знижує викиди парникових газів та забруднювачів;

2) підвищення енергоефективності в промисловості, транспорті та побутовому секторі за рахунок сучасних технологій та інноваційних рішень, таких як енергозберігаючі пристрої та «розумні» системи управління;

3) упровадження замкнутих циклів виробництва та технологій мінімізації відходів, що сприяє зменшенню забруднення та збереження сировинних ресурсів;

4) підтримка та розвиток сільського господарства з використанням екологічно чистих методів – органічне землеробство, мінімальний обробіток ґрунту, агролісівництво та інші практики, що сприяють збереження родючості та біологічної різноманітності.

Для підтримки біологічного розмаїття та забезпечення стійкості природних систем необхідна активна охорона вразливих природних територій та видів. При цьому, створення та розширення мережі природних заповідників, національних парків і територій, що охороняються, дозволяє зберегти місце існування рідкісних та зникаючих видів, а також природні ландшафти.

Також відновлення деградованих екосистем, включаючи ліси, болота, річки та озера, знижує ерозію ґрунтів, покращує якість води та сприяє поверненню природних функцій.

Використання екологічно обґрунтованих методів рекультивації та реабілітації земель та водойм допомагає повернути продуктивність територій та сприяє збільшенню біорізноманіття. Проведення природоохоронних заходів, спрямованих на відновлення природних міграційних шляхів та підтримка екосистемних зав’язків, важлива для збереження функціональності природних систем.

3.2. Вплив військових дій в Україні на стан міжнародної гуманітарної системи

Військові дії в Україні мають катастрофічний вплив на екосистеми та окремі природні ресурси, спричиняючи довгострокові та масштабні екологічні збитки. Цей вплив проявляється у декількох ключових аспектах:

1. ***Забруднення та деградація ґрунтів*****:**

- Механічні пошкодження: Вибухи снарядів, рух важкої військової техніки, будівництво бліндажів, окопів та траншей руйнують структуру ґрунту, пошкоджують його родючий шар та корені рослин. Це призводить до посилення ерозійних процесів та деградації ґрунтів.
- **Хімічне забруднення:** Розливи палива, мастильних матеріалів, боєприпасів, уламки військової техніки та озброєння забруднюють ґрунти токсичними хімічними сполуками, важкими металами (свинець, стронцій, титан, кадмій, нікель) та вибухонебезпечними речовинами. Це робить ґрунт небезпечним та непридатним для подальшого сільськогосподарського використання.
- Втрата родючості: Забруднення та механічні пошкодження ґрунтів призводять до зниження їхньої родючості, що має довгострокові наслідки для сільського господарства України, яка є світовим постачальником продовольства. За деякими даними, землі Херсонської та Миколаївської областей втратили родючість до 40%.

2. *Забруднення атмосферного повітря*:

• **Викиди шкідливих речовин:** Вибухи, пожежі на нафтобазах, промислових об'єктах, лісові пожежі, а також робота важкої військової техніки призводять до масованих викидів забруднюючих речовин в атмосферу, включаючи парникові гази (CO_2), токсичні хімічні сполуки, сажу.

• Масштаби забруднення: За рік війни в атмосферне повітря потрапило мільйони тонн забруднюючих речовин. Загальні викиди парникових газів через війну становлять близько 180 мільйонів тонн.

• Вплив на здоров'я: Ці викиди завдають серйозної шкоди здоров'ю людей, спричиняючи порушення дихання, онкологічні захворювання та хвороби серцево-судинної системи.

3. Вплив на водні ресурси:

• Забруднення водойм: Зруйновані очисні споруди, вилив стоків, пошкоджені нафтосховища, снаряди, військова техніка та хімічні речовини, що потрапляють у річки, призводять до забруднення поверхневих і підземних вод важкими металами, нафтопродуктами, азотовмісними елементами та іншими токсичними речовинами.

• Зниження якості питної води: Забруднення водойм погіршує якість питної води, оскільки 80% питної води в Україні отримують з поверхневих водойм.

• **Зруйнована інфраструктура:** Захоплення та руйнування водної інфраструктури (очисних споруд, дамб, водопровідних та каналізаційних систем) спричиняє значне погіршення якості води та ризики для здоров'я населення.

• Каховська ГЕС: Підрив Каховської ГЕС призвів до катастрофічного обміління водосховища, знищення його екосистеми, загибелі цінних видів риб та іншої водної біоти, а також затоплення великих територій лісів.

4. *Втрата біорізноманіття та шкода лісам*:

• Знищення лісів: понад 59 тис. гектарів лісів та інших насаджень вже знищено внаслідок обстрілів, бомбардувань та лісових пожеж. Загалом, близько 3 мільйонів гектарів лісу в Україні були охоплені війною.

• Знищення природно-заповідного фонду: близько 20% площі всіх заповідних територій України перебувають під загрозою або вже постраждали від військових дій. Збитки заповідному фонду та біорізноманіттю України оцінюються в сотні мільярдів гривень.

• **Загибель та поранення тварин:** військові дії призводять до масштабної загибелі диких тварин, включаючи червонокнижні види. Шум від вибухів, забруднення атмосфери та руйнування середовищ існування порушують репродуктивну здатність тварин, змінюють їхню поведінку та впливають на ареали їхнього існування. Під загрозою опинилося 35% біорізноманіття Європи, яким володіє Україна.

• Порушення трофічних ланцюгів: в екосистемах порушуються трофічні ланцюги, що має довгострокові наслідки для функціонування природних систем.

5. *Замінновані території*:

• Значна частина українських земель, включаючи ліси (близько 700 тис. гектарів), залишаються замінованими. Розриви мін призводять до забруднення ґрунтів важкими металами. Пересування великогабаритної військової техніки та вибухівки завдає шкоди середовищам існування як усередині, так і за межами охоронюваних територій.

Загальні екологічні збитки України від повномасштабної війни вже сягнули десятків мільярдів доларів. Відновлення пошкоджених екосистем та природних ресурсів потребуватиме величезних зусиль та значних коштів, а деякі наслідки можуть бути незворотними. Відповідно до супутникових

даних Європейської інформаційної системи про лісові пожежі, пожежі, спричинені нападами, вже пошкодили понад 100 000 гектарів природних екосистем. Держлісагентство України вже зафіксувало у 78 разів більше пожеж, ніж за аналогічний період минулого року. За інформацією Міндовкілля, щонайменше 900 природоохоронних територій, які разом охоплюють 1,2 мільйона гектарів або 30% усіх природоохоронних територій в Україні, постраждали від обстрілів, бомбардувань, нафтового забруднення та військових маневрів. Деякі території Смарагдової мережі знаходяться під загрозою повного знищення[819].

Як зазначає К. Козмуляк, поряд із відновленням довкілля, болючим питанням є відновлення зруйнованої інфраструктури як житлової, так і промислової[820]. Безумовно, відновлення зруйнованої інфраструктури, як житлової, так і промислової, є одним з найпріоритетніших і найскладніших завдань для України після завершення військових дій. Цей процес вимагатиме колосальних ресурсів, детального планування та міжнародної співпраці.

Ось ключові аспекти та виклики, пов’язані з відновленням зруйнованої інфраструктури:

1. ***Оцінка збитків та потреб*****:**

- **Масштабна оцінка:** необхідно провести комплексну оцінку всіх зруйнованих об'єктів – житлових будинків, шкіл, лікарень, доріг, мостів, залізниць, енергетичної інфраструктури, заводів, фабрик, портових споруд тощо. Це включатиме використання дронів, супутникових знімків, наземних обстежень.
- **Географічний розподіл:** збитки значно варіюються залежно від регіону, і пріоритети відновлення будуть залежати від ступеня руйнувань та стратегічного значення об'єктів.
- **Людські потреби:** оцінка має враховувати не лише матеріальні збитки, а й потреби населення, яке втратило житло, роботу та доступ до базових послуг.

2. ***Джерела фінансування*****:**

- **Державний бюджет:** частина фінансування буде надходити з державного бюджету України.
- **Міжнародна допомога:** ключову роль відіграватиме міжнародна фінансова допомога від партнерів, міжнародних фінансових інституцій (МВФ, Світовий банк, ЄБРР), а також донорських конференцій та програм.
- **Репарації:** Україна активно працює над створенням механізму отримання репарацій від агресора, які стануть значним джерелом коштів для відновлення.
- **Приватні інвестиції:** залучення приватних інвестицій, як українських, так і іноземних, буде критично важливим для відновлення промисловості та створення нових робочих місць.
- **Конфісковані активи:** розглядається можливість використання конфіскованих російських активів для фінансування відбудови.

3. ***Етапи та пріоритети відновлення*****:**

1) **Невідкладні заходи (Short-term):** розчищення завалів та розмінування територій; відновлення критично важливих об’єктів інфраструктури (водопостачання, електропостачання, теплопостачання, зв’язок) для забезпечення базових потреб населення; надання тимчасового житла для тих, хто втратив свої будинки.

[819] Assessing the environmental impacts of the war in Ukraine. URL: https://wwfcee.org/news/ assessing-the-environmental-impacts-of-the-war-in-ukraine#:~:text=The%20war%20is%20 generating%20large,acute%20and%20chronic%20health%20risks [5.05.2025].

[820] Козмуляк К.А. Правове регулювання охорони довкілля під час збройних конфліктів на прикладі України. *Науковий вісник Ужгородського Національного Університету*. 2022. Серія ПРАВО. Випуск 73: частина 1. С. 174-180. https://visnyk-juris-uzhnu.com/wp-content/uploads/2022/11/31.pdf [5.05.2025].

2) **Середньострокові заходи (Medium-term):** масштабне будівництво житла; відновлення соціальної інфраструктури (школи, лікарні, дитячі садки); відбудова транспортних магістралей (автошляхів, залізниць, мостів); реконструкція та модернізація енергетичної інфраструктури.

3) **Довгострокові заходи (Long-term):** відбудова промислових об'єктів з урахуванням нових технологій та екологічних стандартів; створення нових економічних кластерів та залучення інвестицій; відновлення та розвиток туристичної інфраструктури; зміцнення стійкості інфраструктури до майбутніх викликів;

Також варто окреслити ключові виклики у сфері відновлення зруйнованої інфраструктури**. Це, зокрема:**

1) **безпека:** доступ до багатьох територій буде обмежений через ризик обстрілів та наявність вибухонебезпечних предметів. Масштабне розмінування є першочерговим завданням;

2) **координація:** ефективна координація між урядовими органами, міжнародними партнерами, місцевою владою та приватним сектором є надзвичайно важливою;

3) **прозорість та антикорупція:** забезпечення прозорості у розподілі коштів та реалізації проєктів є критично важливим для запобігання корупції та зміцнення довіри до процесу відновлення;

4) **кадрові ресурси:** буде потрібна велика кількість кваліфікованих будівельників, інженерів, архітекторів та інших фахівців;

5) **довкілля:** відновлення має відбуватися з урахуванням екологічних стандартів та принципів «зеленої» відбудови, щоб мінімізувати подальший негативний вплив на довкілля;

6) **психологічна підтримка:** важливо враховувати психологічний стан людей, які пережили війну, та надавати їм підтримку у процесі адаптації до нового життя;

7) **модернізація, а не просто відбудова:** метою має бути не просто відновлення зруйнованого у первісному вигляді, а модернізація інфраструктури з використанням новітніх технологій, принципів енергоефективності та інклюзивності та ін.

Утім, варто зазначити, що хоча повномасштабне відновлення розпочнеться після завершення війни, вже зараз здійснюються певні кроки, наприклад, відбудова доріг та мостів, що мають стратегічне значення, тимчасове відновлення електро- та водопостачання у деокупованих містах. Наразі створюються проєкти відбудови з використанням модульних конструкцій для швидкого забезпечення житлом. Взагалі, відновлення України – це амбітний проєкт, який не лише відбудує зруйноване, а й закладе основу для майбутнього процвітання країни, її інтеграції до європейських структур та побудови стійкої, сучасної Української держави.

3.3. Виклики штучного інтелекту у світлі біологічних, хімічних та екологічних загроз міжнародному гуманітарному праву

У сучасному глобальному просторі біологічні загрози є суттєвими викликами для МГП. Вони завдають значної шкоди здоров'ю людей, їх біорізноманіттю та соціально-економічній стабільності. Цей процес зумовлений прискореним розвитком штучного інтелекту (далі – ШІ) – трансформаційного інструменту, який пронизує різні сфери життєдіяльності суспільства. Взаємозв'язок МГП та ШІ з одного боку дозволяє запропонувати інноваційні управлінські рішення, а з іншого – викликає певне занепокоєння щодо неправильного його використання та посилення ризиків, пов'язаних із цими викликами. У цьому контексті важливо дослідити зростаючий вплив штучного інтелекту на сценарії біологічних загроз, враховуючи не лише його позитивну роль, але й нові виклики та ризики, які може спричинити такий технологічний прогрес.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, біологічна зброя – це мікроорганізми, такі як віруси, бактерії або грибки, або токсичні речовини, що виробляються живими організмами, які

навмисно виділяються, щоб викликати захворювання та смерть у людей, тварин або рослин. Ці загрози утворюють підмножину більшого класу озброєнь, які іноді називають зброєю масового знищення, до якої також належать хімічна, ядерна та радіологічна зброя. Серед них використання біологічних агентів є критичною проблемою, і вважається, що ризик використання цих агентів у терористичній атаці зростає[821].

Штучний інтелект зазвичай означає здатність машин імітувати передовий інтелект. У біологічній сфері ШІ є вельми актуальним та практичним, особливо з його алгоритмами, здатними керувати великими обсягами неструктурованих даних. Ця можливість дозволяє проводити швидкий аналіз і приймати складні рішення, стимулюючи інновації в різних секторах, таких як біологічні науки. Проте, ця ж його здатність також створює значні ризики зловмисного використання, наприклад, при створенні небезпечних біотехнологій.

На сьогодні цілком очевидно, що ШІ має потенціал революціонізувати кілька аспектів суспільного життя, включаючи те, як людина реагує на біологічні загрози. Утім існують нові ризики, пов'язані з неправильним використанням ШІ. Штучний інтелект може бути використаний для розробки нової біологічної зброї або для підвищення ефективності існуючої. Особливо актуальними такі розробки є в умовах ведення війни.

У міру того, як досягнення штучного інтелекту сприяють прогресу, вони також можуть уможливити його неправильне використання як біологічної зброї. В юридичних джерелах виокремлюють дві складові інструментів штучного інтелекту, які можуть становити такі ризики для біобезпеки: великі моделі (LLM) та інструменти біологічного дизайну (BDT). На думку авторів, LLM можуть демократизувати доступ до біологічних знань, знижуючи бар'єри для їх неправильного використання. Комбінація LLM з BDT може значно розширити як можливості, так і доступність для суб'єктів біологічного маніпулювання, збільшуючи ризики зловмисних дій. Хоча на даний час LLM можуть генерувати неточну інформацію через певні обмеження і все ще виробляти такі моделі, які можуть розчарувати потенційних зловмисників, їх майбутня еволюція обіцяє більшу точність і вплив у біоінженерії.

Здатність LLM отримувати доступ та аналізувати величезні обсяги інформації може створити прогалини в публічному управлінні, провокуючи появу ризиків, пов'язаних із неправильним використанням ШІ для планування біологічних атак. Дослідження експертів у сфері ШІ в котрий раз підкреслюють здатність LLM надавати вказівки, які, хоча і не генерують прямих інструкцій для створення біологічної зброї, проте представляють відповідні ідеї, які можуть допомогти у здійсненні таких неконтрольованих атак.

Досягнення в галузі синтетичної біології та мультимодального штучного інтелекту (крім використання LLM) можуть посилити ризик навмисного вивільнення шкідливих вірусів, дозволяючи майбутнім системам за допомогою штучного інтелекту надавати вказівки від вибору вірусних геномів до синтезу та вивільнення вірусу, використовуючи мультимодальні навчальні дані. Наприклад, вони можуть створити так званий «супервірус», який поєднує в собі швидке поширення якоїсь важкої хвороби, рівень смертності від неї та інкубаційний період. Стратегії, спрямовані на збалансування використання ШІ в синтетичній біології, управління доступом до генетичної інформації, а також керівництво розвитком можливостей штучного інтелекту та використанням синтетичних інструментів, стають вирішальними в процесі знешкодження майбутніх загроз. Це вимагає ретельного аналізу ризику та користі в дослідженнях з урахуванням

[821] World Health Organization. «Biological Weapons». 2023. URL: https://www.who.int/health-topics/biological-weapons [5.05.2025].

досягнень у методах синтетичної біології, які можуть бути покращені використанням штучного інтелекту для забезпечення біотероризму.

Такі висновки ілюструють нові проблеми, пов'язані з розвитком ШІ в контексті біологічних загроз.

На нашу думку, ризики, які може завдати штучний інтелект МГП можна згрупувати за такими категоріями: зловмисне використання, зміст ШІ, організаційні ризики та шахрайський ШІ. Що стосується зловмисного використання, то штучний інтелект може бути використаний, наприклад, у біотероризмі для створення нових пандемій. У застосуванні штучного інтелекту конфлікти можуть вийти з-під контролю через автономну зброю та кібервійну, яку підтримує штучний інтелект. Що стосується організаційних ризиків, то організації, які розробляють передовий штучний інтелект, можуть спричинити катастрофічні аварії, особливо якщо вони віддають перевагу прибутку, а не безпеці. А що стосується шахрайського ШІ, то існує ризик втратити контроль над ШІ.

Біологічні загрози являють собою складний і різноманітний спектр небезпек для людства. Нові технології, такі як генетичні маніпуляції, дозволяють розробляти надзвичайно смертоносні патогени як біологічну зброю. Історично так склалося, що спалахи різних хвороб, викликані природними патогенами або нещасними випадками в лабораторіях і навмисними діями, спустошували людську цивілізацію. Наразі така можливість існує і може призвести до катастрофічних глобальних наслідків.

Історичні приклади глобальних загроз, які виникли внаслідок появи природних патогенів, включають чуму, іспанський грип, біотероризм з сибірською виразкою, а останнім часом і COVID-19. Тому, враховуючи руйнівний потенціал цих загроз та їх безпосередній вплив на здоров'я людей і глобальну соціально-економічну дестабілізацію, можна вказати на необхідність запобігання зловмисному маніпулюванню біотехнологіями та посилення стратегій реагування для подолання таких загроз. Наприклад, штучний інтелект, на додаток до інструменту CRISPR, може бути ненавмисно використаний у розробці біологічної зброї, якщо його не спрямувати належним чином на етичні цілі. Його застосування в геномному аналізі може створити більш ефективні патогенні віруси, дозволяючи швидко маніпулювати організмами та зробити їх більш шкідливими для людини. Алгоритми штучного інтелекту спроможні оптимізувати генетичні дослідження, дозволяючи швидше виявляти важливі гени. З негативного боку це можуть бути гени, пов'язані зі стійкістю до лікування, що сприяє створенню більш небезпечних патогенів і потенційно посилює розробку біологічної зброї зловмисниками.

З огляду на це, варто вказати, що проблеми, з якими стикається штучний інтелект на тлі нових біологічних загроз, вимагають всебічного підходу. Зближення штучного інтелекту та біології вимагає ретельного розгляду ризиків, особливо з огляду на підвищену здатність створювати синтетичні організми. Прикладом, який ілюструє, як технологія генетичного редагування може бути корисною для здоров'я людини та глобального добробуту, є випуск генетично модифікованих малярійних комарів. Це новаторське дослідження важливе для розробки стратегій генетичного контролю, що дає перспективу потенційного зниження поширення малярії у світі.

Проте, штучний інтелект, який може сприяти таким досягненням може викликати серйозні занепокоєння. Тому, якщо штучний інтелект не буде належним чином врегульований, він може використовуватися зловмисниками для маніпулювання генами, потенційно створюючи нові біологічні загрози для людства. Адже швидкий технологічний розвиток посилює потенціал для неправильного використання біології, збільшуючи ризики широкомасштабної шкоди людині.

Отож, штучний інтелект може відігравати важливу роль у виявленні ознак генної інженерії, надаючи передові аналітичні інструменти для виявлення певних закономірностей, що вказують на генетичні маніпуляції. Проте, точність і надійність цих систем виявлення повинні бути пріоритетними, оскільки помилкове застосування ШІ може мати серйозні наслідки. З огляду на це, важливо щоб держава, суспільство, окремі громадяни брали участь у боротьбі з різноманітними загрозами. Основна увага має бути зосереджена на потребі у відповідальному використанні ШІ в подоланні загроз біологічного, хімічного та екологічного характеру.

4. ВИСНОВКИ

У результаті досліджень інноваційних рішень в управлінні біологічними, хімічними та екологічними загрозами крізь призму викликів для міжнародного гуманітарного права було встановлено, що інноваційні технології формують нову парадигму реагування на складні загрози біологічного, хімічного та екологічного характеру. В аспекті таких загроз сучасне МГП в епоху технологій має широкий спектр недоліків, а саме: невідповідність норм технічному розвитку; відсутність превентивних механізмів; недосконаліть системи відповідальності; складність документування еко-та біозлочинів у гібридній війні. Проте лише за умови їх синхронізації з нормами міжнародного гуманітарного права можлива побудова справді ефективної і справедливої системи глобального захисту. Україна, перебуваючи на перетині воєнних викликів і технологічних змін, має всі шанси стати прикладом для світу. З цією метою варто:

1) розширити сферу дії МГП на інноваційні види загроз;
2) створити глобальну платформу раннього попередження екозагроз;
3) посилити роль ООН, МКЧХ, НАТО у впровадженні інновацій;
4) інтегрувати екологічні аспекти в міжнародні трибунали щодо воєнних злочинів.

Окрім цього, на порядку денному міжнародної спільноти стоять пропозиції щодо модернізації міжнародного гуманітарного права, а саме:

1) розробка Додаткового протоколу до Женевських конвенцій, що охоплює новітні загрози;
2) глобальна екосистема раннього попередження, інтегрована з ВООЗ, ООН;
3) запровадження екологічної відповідальності у Гаазькому та Міжнародному кримінальному суді;
4) розробка етичного кодексу для використання ШІ у військовій сфері;
5) посилення ролі міжнародної правової доктрини у визнанні інноваційних методів реагування на потенційні біологічні, хімічні та екологічні загрози.

Однією з головних умов боротьби з біологічними, хімічними та екологічними загрозами може бути міждержавна взаємодія та запобігання терористичних актів, спрямованих на погіршення екологічної ситуації в Україні. З цією метою також варто запровадити низку заходів:

1) запобігання диверсіям та техногенним аваріям з негативними наслідками для навколишнього середовища;
2) запобігання навмисному застосуванню хімічних речовин, що викликають деградацію природного середовища;
3) запобігання умисним пожежам, що викликають знищення природних екосистем;
4) запобігання ввезенню та розповсюдженню з терористичними цілями видів живих організмів, що спричиняють порушення в екосистемах.

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕК, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ РИЗИКИ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ У САНАТОРІЯХ, САНАТОРІЯХ-ПРОФІЛАКТОРІЯХ ТА РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЦЕНТРАХ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

ANALYSIS OF FIRE RISKS IN SANATORIUMS, PROPHYLACTIC SANATORIUMS, AND REHABILITATION CENTERS IN CURRENT CONDITIONS

Ігор Коваль, ад'юнкт вечірньої форми навчання, e-mail: igorkoval_@ukr.net, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: https://orcid.org/0009-0006-3908-7790

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.30

Анотація. Оцінка пожежних ризиків у громадських будівлях, зокрема в санаторіях, санаторіях-профілакторіях та реабілітаційних центрах, допомагає ідентифікувати небезпеки та обґрунтувати вплив різних чинників на виникнення пожеж, що дає зменшити пожежні ризики та зробити безпечнішим перебування персоналу та відвідувачів у санаторіях, оздоровчих чи реабілітаційних закладах.

Пожежні ризики визначають імовірність загоряння та тяжкість його наслідків (зокрема, умови, що сприяють поширенню вогню). Враховуючи потрібні дані про частоту пожеж на об’єкті та прогнозований рівень соціально-економічної шкоди залежно від обставин дає змогу впровадити протипожежні заходи для зменшення ризиків.

На прикладі об’єктів громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) розглянуто основні небезпеки та вимоги пожежної безпеки для цих об’єктів. Встановлено що основні вимоги є недостатніми та потребують вивчення пожежної безпеки для класифікування санаторіїв, санаторіїв-профілакторіїв та реабілітаційних центрів за рівнями ризиків.

Ключові слова: пожежні ризики, санаторії-профілакторії, реабілітаційні центри, пожежна безпека, ідентифікація небезпек

Abstract. Fire risk assessment in public buildings, in particular in sanatoriums, sanatoriums-preventive centers and rehabilitation centers, helps to identify hazards and substantiate the influence of various factors on the occurrence of fires, which reduces fire risks and makes the stay of staff and visitors in sanatoriums, health or rehabilitation facilities safer.

Fire risks determine the probability of fire and the severity of its consequences (in particular, conditions that contribute to the spread of fire). Taking into account the necessary data on the frequency of fires at the facility and the predicted level of socio-economic damage, depending on the circumstances, it allows you to implement fire prevention measures to reduce risks.

Using the example of public facilities (sanatoriums, sanatoriums-preventive centers and rehabilitation centers), the main hazards and fire safety requirements for these facilities are considered. It has been established that the basic requirements are insufficient and require a study of fire safety to classify sanatoriums, sanatoriums-preventive centers, and rehabilitation centers by risk levels.

Keywords: fire risks, sanatoriums, rehabilitation centers, fire safety, hazard identification

ВСТУП

За щорічними даними обліку пожеж, що надходять з органів управлінь ДСНС України, ситуація з пожежами в громадських будівлях України є складною. Кожного року в Україні

реєструється близько 100 тис пожеж. Внаслідок пожеж гине біля 2 тис осіб. Значна кількість пожеж та загиблих вимагає застосування нових підходів до оцінювання пожежної небезпеки та її зменшення, зокрема, ризик-орієнтовних. Однак, незважаючи на світові тенденції розвитку науки і техніки, існує проблема у пошуку дієвих методів розрахунку пожежних ризиків для санаторіїв, санаторіїв-профілакторіїв та реабілітаційних центрів, що б враховували всі небезпеки та зокрема, вплив військової агресії росії проти України. Дослідженням пожежних ризиків присвячені праці багатьох науковців, серед яких В. Бєгун, Є. В. Гаврилко, Є. М. Гуліда, О. Я. Корольченко, З. М. Яремко, В. М. Ярошевська, Ю. Н. Шебеко, D. Yung, T. Aven, T. Barry, S. Jonkman, I. Miller, P. Janik та ін., але більшість їх наукових праць не стосувалися громадських будівель, зокрема, санаторіїв, санаторіїв-профілакторіїв та реабілітаційних центрів. Це підкреслює актуальність дослідження, спрямованого на зменшення пожежної небезпеки у громадських будівлях, зокрема в санаторіях, санаторіях-профілакторіях та реабілітаційних центрах.

Щоб оцінити пожежні ризики у громадських будівлях, зокрема в санаторіях, санаторіях-профілакторіях та реабілітаційних центрах, слід ідентифікувати небезпеки та вивчити вплив різних чинників на причини виникнення пожеж, а також дотримання основних вимог пожежної безпеки на цих об’єктах, – це допоможе зменшити пожежні ризики та зробити безпечнішим перебування персоналу та відвідувачів у санаторіях, оздоровчих чи реабілітаційних закладах.

За допомогою оцінювання пожежних ризиків можна буде виявити вразливі місця з найбільшою імовірністю загоряння та розрахувати тяжкість його наслідків (зокрема, умови, що сприяють поширенню вогню). Для їх оцінки потрібні дані про частоту пожеж на об’єкті та прогнозований рівень соціально-економічної шкоди залежно від обставин.

Ризик – кількісна характеристика можливості реалізації конкретної небезпеки чи її наслідків, яка вимірюється у відповідних величинах.

Пожежні ризики характеризують можливість реалізації пожежної небезпеки у вигляді пожежі, містять оцінки її можливих наслідків (обставин, які сприяють розвитку пожежі). Відповідно, для їх розрахунку необхідно знати частотні характеристики виникнення пожежі на тому чи іншому об’єкті, а також прогнозовані розміри її соціальних, економічних і екологічних наслідків, що зумовлюються різними обставинами. Звідси слідує, що в багатьох випадках пожежні ризики можна оцінювати статистичними та імовірнісними методами, але в окремих випадках можуть знадобитися і інші методи.

З урахуванням викладеного планується проведення досліджень з метою удосконалення методик оцінювання пожежних ризиків у громадських будівлях (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри). Вивчення основних небезпек цих будівель та об’ємно-планувальних особливостей забезпечить більш ефективне управління пожежними ризиками, що сприятиме підвищенню рівня пожежної безпеки.

Метою дослідження є ідентифікація небезпек та їх вплив на об’єкти громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) і споживачів спеціалізованих послуг.

Об’єкт дослідження – ідентифікація зовнішніх і внутрішніх джерел пожежного ризику під час виникнення пожеж на об’єктах громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри).

Предмет дослідження – чинники, що впливають на пожежні ризики на об’єктах громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри).

Методи дослідження. В роботі використано комплексний метод досліджень, який включає в себе: розкриття поняття ризику, ідентифікація небезпек та основних нормативних документів які

трактують їх; аналіз стану пожежної безпеки на об'єктах громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри).

1. МАТЕМАТИЧНІ ТА СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ

Дослідження пожежних ризиків за часовими чинниками проводили на основі статистичної інформації та за методикою, яку можна застосувати деталізуючи ризики за причинами виникнення та часовими характеристиками (пора року, місяць, період доби).

Ризик зіткнутися з пожежею обчислювали за формулою:

$$R_{з.п.} = \frac{N_{г.б.}^{ПОЖ.}}{N_{ч} \cdot T}, \quad (1.1)$$

де $N_{г.б.}^{ПОЖ.}$ – кількість пожеж у громадських будівлях з певної причини порушення за рік;

$N_{ч}$ – чисельність людей у цих будівлях, чол.; T – період часу, роки. Для визначення ризику упродовж року використовували значення T=1, пори року – T=1/4, місяця – T=1/12 та проміжку часу доби – T=1/4 (ранок, день, вечір та ніч).

Ризик загинути від пожежі визначали за формулою:

$$R_{з} = \frac{N_{заг}}{N_{ч} \cdot T}, \quad (1.2)$$

Де $N_{заг}$ – середня кількість загиблих відповідної групи будівель на пожежах з певної причини за рік.

Ризик виникнення пожежі в громадських будівлях з певної причини визначається за формулою:

$$R_{в.п.} = \frac{N_{г.б.}^{ПОЖ.}}{N_{г.б.} \cdot T}. \quad (1.3)$$

де: $N_{г.б.}$ – кількість громадських будівель відповідної групи.

Обчислення пожежних ризиків можна проводити окремо для адміністративних районів міста, і окремих груп громадських будівель, виділених нами з урахуванням архітектурних особливостей, залежно від років будівництва та поверховості. Отримані значення пожежних ризиків громадських будівель часто оцінюють за шкалою:

- незначний ризик: $\leq 10^{-6}$;
- прийнятний ризик: $10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-5}$;
- високий ризик: $5 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}$;
- неприйнятний ризик : $\geq 5 \cdot 10^{-4}$.

За допомогою цієї методики оцінювання пожежних ризиків на основі статистичної інформації за часовими чинниками та за причинами виникнення пожеж будуть проводитись дослідження.

2. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО САНАТОРІЇВ, САНАТОРІЇВ-ПРОФІЛАКТОРІЇВ ТА РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ

Санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри відносять до спеціалізованих засобів розміщення, тобто, заклади, які пропонують місця для ночівлі, але ця послуга не є для них головною. Дані заклади характеризуються виконанням таких функцій, як лікувальна, оздоровча,

спортивна, транспортна тощо. Спеціалізовані засоби розміщення можуть бути безприбутковими, підлягати єдиному керівництву, надавати мінімум готельних послуг (крім щоденного заправляння ліжок), не обов'язково мати звичайний номерний фонд, замість якого можуть пропонувати одиниці житлового типу або колективні спальні приміщення (палати, купе, каюти тощо). Спеціалізовані засоби розміщення згідно ДСТУ 4268:2003[822] поділяються на групи:

– Оздоровчі засоби розміщування (санаторії, будинки реабілітації, оздоровчі ферми).

– Табори праці та відпочинку (сільськогосподарські, археологічні та екологічні табори праці, табори відпочинку, табори пластунів, гірські притулки, хижки).

– Громадські транспортні засоби (поїзда, судна, яхти).

– Конгрес-центри (конгрес-центр).

Згідно ДБН В.2.2-10:2022[823] санаторій – це лікувально-профілактичний заклад, призначений для лікування переважно природними факторами (клімат, лікувальні грязі, мінеральні води) в сполученні з дієтотерапією, лікувальною фізкультурою, фізіо- і фармакотерапією при раціональному режимі лікування і відпочинку.

Згідно ДСТУ 4527:2006[824] санаторій – це готель, розташований на території курорту або рекреаційної зони, який забезпечує надавання послуг лікування у регламентованому режимі. Види санаторіїв дитячий – для дітей від 6 до 18 років для дітей з батьками (3); однопрофільний; багатопрофільний; спеціалізований.

В залежності від кількості поверхів санаторії закладів відпочинку та туризму підлягають обладнанню системами керування евакуюванням людей в частині систем оповіщення про пожежу та покажчиків напрямку евакуювання до 9-ти поверхів системами 2-го типу, а більше 9-ти поверхів – 3-го типу згідно ДСТУ В.2.5-56:2014[825]. Також будинки охорони здоров'я до 9-ти поверхів підлягають обладнанню системами пожежної сигналізації приміщення із застосуванням димових або комбінованих сповіщувачів у приміщеннях для сну та пожежогасіння, і тип системи передавання тривожних сповіщень має бути 2-гий. А більше 9-ти поверхів системами пожежної сигналізації мають мати адресні компоненти та приведенням у дію системи димовидалення з застосуванням димових або комбінованих оповіщувачів у приміщеннях для сну, а тип системи передавання тривожних сповіщень має бути 1-ший.

Згідно ДБН В.2.2-10:2022[2] Житлові приміщення в будинках санаторіїв повинні бути відокремлені протипожежними стінами від приміщень їдальні з харчоблоком і приміщень культурного призначення (з естрадою і апаратними).

Приміщення будинків санаторіїв поділяються на такі функціональні групи:

а) приймально-вестибюльну;

б) житлові приміщення;

в) приміщення лікувально-діагностичного відділення;

г) приміщення культури, спорту та дозвілля;

д) приміщення їдальні;

[822] ДСТУ 4268:2003 Послуги туристичні. Засоби розміщування. Загальні вимоги. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=41636

[823] ДБН В.2.2-10:2022 Заклади охорони здоров`я. Основні положення. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=101916

[824] ДСТУ 4527:2006 Послуги туристичні. Засоби розміщення. Терміни та визначення URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=70251

[825] ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Зі Зміною № 1 URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59526

є) адміністративні приміщення;

ж) господарські приміщення.

Група житлових приміщень повинна бути ізольована від приміщень інших груп.

В кожному санаторії місткістю до 500 місць слід передбачати дві палати ізоляції класу S; місткістю до 1000 місць – чотири палати ізоляції класу S.

Приміщення лікувально-діагностичного відділення санаторію повинні бути зблоковані з корпусом, де розміщені житлові приміщення, або з'єднані з ним теплим переходом. Набір приміщень цієї групи визначається медичним завданням.

Будинки, споруди і приміщення закладів охорони здоров'я, їх конструкції, планувальні рішення, обладнання та опорядження повинні відповідати протипожежним вимогам ДБН В.1.1-7, ДБН В.1.2-7, ДБН В.2.2-9, ДБН В.1.2-14, ДБН В.2.5-56, ДБН В.2.2-43, ДБН В.2.2-25, ДБН В.2.6-33, ДСТУ 8828. Щодо вимог до шляхів евакуації закладів охорони здоров'я слід передбачати згідно з ДБН В.1.1-7, ДБН В.2.2-9 та ДБН В.2.2-40 у частині, що не суперечать вимогам цих норм з урахуванням результатів розрахунків згідно з ДСТУ 8828.

Оздоровчі засоби розміщування, в яких надають готельні послуги, до яких належать щонайменше щоденне заправляння ліжок, прибирання номерів та санвузлів, класифікують як готелі.

Також згідно ДСТУ 4527:2006[3] пансіонат – це аналогічний готелю засіб розміщення оздоровлювального призначення, розташований у заміській або у рекреаційній зоні з регламентованим режимом харчування та відпочинку. Пансіонат із лікуванням – пансіонат, який має умови для надавання медичних і профілактичних послуг та лікування.

Профілакторій – це аналогічний готелю засіб розміщення, як правило, відомчого підпорядкування, призначений для організовування відпочинку та загального оздоровлювання, який має умови для надавання послуг профілактичного лікування професійних хвороб.

Курорт[3] – це освоєна природна територія на землях оздоровчого призначення, що має природні лікувальні ресурси, потрібні для їх експлуатації будівлі та споруди, а об'єктами інфраструктури, використовується з метою лікування, медичної реабілітації, профілактики захворювань та для рекреації й підлягає особливій охороні.

Заклади розміщення[826] – будь-які об'єкти, призначені для тимчасового мешкання туристів (готель, турбаза, майданчик для кемпінгу, хостел тощо).

Послуги засобів розміщення – діяльність по розміщенню туристів і наданню готельних та спеціалізованих (лікувально-оздоровчих, санаторних, спортивних, туристичних тощо) послуг.

Питаннями проблем закладів розміщення займалися: L. Semenova[827], К. Верес, А. Шулішова[828], А. Коваленко[829], Н. Паньків, В. Гунько[830], С. Федорова та інші проте більшість не досліджували техногенні та пожежні ризики на об'єктах громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) чи закладів розміщення з надання спеціалізованих послуг.

---

[826] ДСТУ 4268:2003 Національний стандарт України. Послуги туристичні. Засоби розміщування. Загальні вимоги. https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_4268-2003.pdf

[827] Semenova L.V., Larionova A.A., Zaitseva N.A., Lizina O.M., Maltseva M.V., Korenko J.M., Breusova E.A. (2019) //Environmental Safety of Hotel Service: Problems and Solutions. Ekoloji 28(107): 4981-4984.

[828] Верес К. О., Шулішова А. Оцінка екологічних ризиків як складова екологічного менеджменту на підприємствах готельного господарства. URL: http://www.sworld.education/conference/year-conference-sw/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/march-2016

[829] Коваленко А.В. Сучасні еко-тенденції у готелях України // Вісник студентського наукового товариства «ВАТРА» Вінницького торгівельно-економічного інституту КНТЕУ: Вінниця 2019 - С. 125-129. URL:http:// vtei.com.ua

[830] Паньків Н.Є., Гунько В.М. Вплив закладів розміщення туристичної інфраструктури на навколишнє середовище та розвиток еко-готелів як інноваційної концепції гостинності. - Луцьк, Науковий вісник НЛТУ України, 2017. - т. 27, № 3. - С. 108-112.

Небезпечними чинниками виникнення пожеж закладів розміщення з надання спеціалізованих послуг (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) є недотримання правил пожежної безпеки, порушення вимог використання електропроводок та електричного обладнання, необережне поводження з вогнем та паління.

Сучасна система забезпечення пожежної безпеки в Україні на об'єктах громадського призначення, таких як санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри, потребує значних змін як у сфері дотримання законодавства, так і в аспектах суспільної та особистої безпеки[831]. Необхідно забезпечити постійний державний контроль за системою пожежної безпеки цих закладів, гарантувати належний рівень пожежного захисту на національному рівні та забезпечити захист від пожеж як для окремих громадян, так і для самих об'єктів.

Курортологія[10] – це наука, що досліджує лікувальні фактори курортів, зокрема їх цілющі властивості, такі як клімат, мінеральні води, лікувальні грязі тощо. Сучасна курортологія є медичною навчальною дисципліною, яка вивчає лікувальні властивості природних фізичних факторів, їх вплив на організм людини та можливості застосування з лікувальною і профілактичною метою. Санаторно-курортна допомога в державі є частиною системи охорони здоров'я населення, а курортне лікування – складовою частиною загального лікування хворого.

В навчальному посібнику[10] описано основні функції та діяльність санаторіїв-профілакторіїв, де наведено типову структуру типового закладу, що включає: приймальне відділення; спальний (житловий) корпус; лікувальний корпус (фізіобальнеолікарня); блок харчування; курортний зал з бібліотекою; садово-паркову зону з кліматопавільйонами, спортивними та ігровими майданчиками, теренкуром; адміністративно-господарський блок. Типова структура санаторію може змінюватися залежно від місцевих умов. Оптимальна кількість ліжок у таких закладах варіюється від 300 до 500 і визначається, зокрема, його лікувальним профілем. Санаторії, що приймають пацієнтів із тяжкими травмами, захворюваннями спинного мозку, туберкульозом або займаються реабілітацією після інсультів, інфаркту міокарда чи травм, зазвичай мають меншу кількість ліжок.

Вважається, що у санаторіях, розрахованих на понад 400-500 місць, можуть виникати певні побутові незручності для відпочивальників, а також може погіршуватися якість харчування. Тривалість лікування в таких закладах переважно визначається їх спеціалізацією: у більшості санаторіїв, що займаються лікуванням неспецифічних захворювань, стандартний курс становить 24 дні. У протитуберкульозних санаторіях терміни лікування визначаються медичною комісією. У дитячих і підліткових санаторіях для пацієнтів із діагнозом сколіозу хребта курс лікування може тривати до трьох місяців.

У санаторіях реабілітаційного типу[10], що обслуговують пацієнтів із травмами та захворюваннями спинного мозку, типовий період перебування становить 45 днів. Санаторій-профілакторій є лікувально-профілактичним закладом санаторного типу, головним чином орієнтованим на оздоровлення та лікування осіб, що працюють. Такі заклади зазвичай підпорядковуються підприємствам, навчальним закладам чи іншим організаціям. У них проходять оздоровлення, лікування та відпочинок працівники або студенти після робочого чи навчального дня. Тривалість оздоровчих програм становить 12-16 днів, лікувальних – 18 днів, а курс медичної реабілітації триває 24 дні. Курортні заклади відпочинку – пансіонати, будинки та бази відпочинку, молодіжні й дитячі табори – призначені виключно для дозвілля та розваг. У таких

[831] Курортологія та курорти України : навч. посіб. для самостійної роботи студентів VI курсу медичних факультетів при підготовці до практичних занять з навчальної дисципліни «Медична реабілітація» / уклад. С. М. Малахова, О. О. Черепок, Н. Г. Волох. - Запоріжжя : ЗДМУ, 2019. – 105 с.

закладах зазвичай функціонують медичні пункти з медсестринським або лікарським обслуговуванням, а також фізіотерапевтичні кабінети. Для пацієнтів у санаторіях визначається індивідуальний режим лікування й поведінки, який обирається з трьох основних варіантів: щадний, щадно-тренувальний і тренувальний.

Щадний режим призначається для осіб, яким потрібно обмежити фізичну активність і зменшити лікувальне навантаження (зокрема вправи ЛФК, водні й грязьові процедури). Він передбачає дотримання режиму сну, спеціальне дієтичне харчування, а також виключає прогулянки та поїздки на екскурсії.

Щадно-тренувальний режим передбачає поступове підвищення активності — допускається участь у легких фізичних вправах і розважальних заходах. Водночас небажані тривалі екскурсії чи поїздки. Лікувальне навантаження в такому режимі зростає.

Тренувальний режим рекомендується відносно здоровим пацієнтам, переважно тим, хто займається розумовою працею. Він включає активні фізичні навантаження, ранкову гімнастику, плавання, вправи ЛФК і заняття у спортивних іграх — таких як волейбол, теніс (великий і настільний), баскетбол тощо.

Санаторії для дорослих підпорядковуються профспілковим організаціям, а їхнє управління та контроль здійснює Центральна рада з управління курортами та санаторіями профспілок разом із відповідними територіальними радами. Виділяються такі основні профілі санаторіїв:

- лікування захворювань серцево-судинної системи;
- лікування хвороб органів травлення;
- лікування недуг органів дихання (не туберкульозного характеру);
- лікування захворювань жіночої репродуктивної системи;
- лікування хвороб опорно-рухового апарату;
- лікування дерматологічних захворювань;
- лікування хвороб нирок та сечовивідних шляхів;
- лікування порушень обміну речовин.

Крім того, існують спеціалізовані санаторії для дітей та підлітків, заклади для лікування туберкульозу, внутрішніх органів, спастичних паралічів тощо. Також функціонують санаторії для сімейного відпочинку, матерів із дітьми та для вагітних жінок.

Окремого вивчення потребує евакуація людей з об’єктів громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) у разі виникнення пожежі чи надзвичайної ситуації, перш за все, проблема в тому, що відпочиваючі можуть бути з обмеженими можливостями. Зараз під час російської агресії проти України на реабілітації можуть перебувати люди з обмеженими можливостями у русі. У разі виникнення пожежі на поверхах будівель об’єктів громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) можливе блокування цих шляхів небезпечними факторами пожежі. Тому обов’язково потрібно розглянути новітні заходи щодо шляхів евакуації.

Відповідно до ДБН В.2.2-10:2022 «Заклади охорони здоров'я. Основні положення» зазначається що ширина просвіту дверей в палатах стаціонарних відділень, палатах ізоляції пацієнтів, тамбурах і шлюзах, пологових, процедурних, перев’язувальних має бути не менше ніж 1,4 м.

Особливі вимоги до ширини просвіту дверей встановлюють до таких приміщень:

баріатричні палати – мінімум 1,6 м; палати інтенсивної терапії і операційні – 1,7 м; санітарногігієнічні приміщення із зоною для душу при палатах для пацієнтів – 1,1 м; анестезіологічні кімнати – 1,5 м;

лабораторні приміщення – 0,9 м; процедурні рентгенодіагностичних кабінетів, кабінети променевої терапії і радіоізотопної діагностики, шляхи евакуації пацієнтів – 1,2 м.

Ширина однієї стулки двостулкових дверей в просвіті має бути не менше ніж 0,9 м.

Двері повинні мати ручку важільного типу, якщо інше не передбачене медичним завданням.

Двері до приміщень всередині будівлі, а також між коридорні двері повинні бути без порогів. Вимоги до шляхів евакуації слід передбачати згідно з ДБН В.1.1-7, ДБН В.2.2-9 та ДБН В.2.2-40 у частині, що не суперечать вимогам цих норм з урахуванням результатів розрахунків згідно з ДСТУ 8828.

Рятування немобільних осіб передбачається шляхом транспортування на ношах по шляхах евакуації безпосередньо назовні, до сходових кліток, на пандуси чи до пожежобезпечних зон.

На шляхах евакуації всередині будинку відстань від дверей найвіддаленіших приміщень закладів охорони здоров'я (крім туалетів, умивальних, душових та інших допоміжних приміщень) до виходу назовні чи на евакуаційну сходову клітку повинна бути не більше тієї, що вказана в таблиці 3.

Для стаціонарів такі відстані необхідно приймати відповідно до ДБН В.2.2-10:2022 за графою 5 таблиці 3 незалежно від щільності людського потоку. Для решти закладів охорони здоров'я щільність людського потоку в коридорі визначається за проєктом.

Якщо проєктними рішеннями не вдається забезпечити необхідний час евакуації людей з поверху будівлі, з урахуванням руху всіх груп мобільності, то на шляхах евакуації необхідно передбачати пожежобезпечні зони згідно з ДБН В.2.2-40.

При проведенні розрахунку шляхів евакуації необхідно враховувати транспортування немобільних осіб силами наявного персоналу за допомогою нош. Евакуаційні сходові клітки, які призначені для рятування таких груп людей, не враховують під час визначення кількості евакуаційних виходів для інших пацієнтів та персоналу закладу.

Розрахунок часу евакуації та блокування шляхів евакуації небезпечними чинниками пожежі потрібно проводити згідно з ДСТУ 8828.

Приміщення будівель і споруд закладів охорони здоров'я слід обладнувати системами протипожежного захисту відповідно до ДБН В.2.5-56 з урахуванням положень ДБН В.2.2-40 та врахуванням фізичних можливостей осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення залежно від їх нозологічних особливостей.

Системи димо- та тепловидалення необхідно також передбачати:

– у коридорах, холах стаціонарів з перебуванням немобільних хворих;

– у коридорах, холах, необхідний час евакуації по яких перевищує час їх блокування небезпечними чинниками пожежі, розрахованими згідно з ДСТУ 8829.

В будинках закладів охорони здоров’я на шляхах евакуації потрібно використовувати будівельні матеріали згідно з ДБН В.1.1-7.

Приміщення будинків закладів охорони здоров’я, в які передбачаються технологічні заїзди автомобілів швидкої допомоги для доставлення пацієнтів, необхідно виділяти протипожежними стінами 2-го типу та перекриттями 1-го типу.

У разі розміщення в будинках закладів охорони здоров’я приміщень складського, технічного, виробничого призначення (лабораторії, майстерні, кладові, котельні тощо) для таких приміщень повинна встановлюватися категорія за вибухопожежною або пожежною небезпекою згідно з ДСТУ Б В.1.1-36.

Системи протипожежного захисту слід проєктувати відповідно до ДБН В.2.5-56.

Під час вибору типу системи керування евакуюванням (в частині систем оповіщення про пожежу і покажчиків напрямку евакуювання) необхідно врахувувати вимоги цих норм.

Тип системи керування евакуюванням (в частині систем оповіщення про пожежу і покажчиків напрямку евакуювання) для будинків, приміщень закладів охорони здоров'я слід приймати:

1) структурні підрозділи стаціонарів з постійним перебуванням пацієнтів (палатних відділеннях):

– до 60 ліжко-місць - тип СО3;

– понад 60 ліжко-місць – тип СО4;

2) структурні підрозділи денних стаціонарів - тип СО3;

3) житлові корпуси санаторно-курортних закладів і будинки дитини - тип СО4;

4) інші будинки та приміщення – відповідно до ДБН В.2.5-56.

В стаціонарах слід передбачати приміщення для зберігання нош та шафи для зберігання засобів індивідуального захисту органів дихання для рятування людей під час пожежі .

Число місць в житлових корпусах санаторіїв I і II ступенів вогнестійкості не повинно перевищувати 1000; III ступеня вогнестійкості – 150; IIIа, IIIб, IV і V ступенів вогнестійкості – 50.

Житлові приміщення в будинках санаторіїв повинні бути відокремлені протипожежними стінами від приміщень їдальні з харчоблоком і приміщень культурного призначення (з естрадою і апаратними).

Житлові кімнати, призначені для відпочинку сімей з дітьми, слід розміщувати в окремих будинках або окремих частинах будинку висотою не більше шести поверхів, які мають окрему сходову клітку (друга сходова клітка – загальна для корпусу). При цьому спальні кімнати повинні мати лоджії або балкони.

В дитячих оздоровчих таборах житлові приміщення слід об'єднувати в окремі групи не більше ніж 40 місць, які мають самостійні евакуаційні виходи. Один з виходів може бути поєднаний з сходовою кліткою. Житлові приміщення дитячих оздоровчих таборів в окремих будинках або окремих частинах будинків повинні бути не більше ніж на 160 місць.

Під та над житловими приміщеннями і приміщеннями культурно-масового призначення комори зберігання та інші пожежонебезпечні приміщення розміщувати не дозволяється.

ВИСНОВКИ

Отже, на прикладі об'єктів громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) розглянуто основні небезпеки та вимоги пожежної безпеки для цих об'єктів.

Встановлено що основні вимоги є недостатніми та потребують вивчення пожежної безпеки для класифікування санаторіїв, санаторіїв-профілакторіїв та реабілітаційних центрів за рівнями ризиків.

В подальших дослідженнях планується вивчити питання евакуації з об'єктів громадського призначення (санаторії, санаторії-профілакторії та реабілітаційні центри) та вивчити найбільш небезпечні чинники загибелі людей під час пожежі.

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УПРАВЛІННІ ЛОГІСТИЧНИМИ РИЗИКАМИ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЕКТІВ

DECISION-MAKING IN THE MANAGEMENT OF LOGISTICAL RISKS IN INFRASTRUCTURE PROJECTS

Олег Ковальчук, викладач кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту, e-mail: o.kovalchuk@ldubgd.edu.ua, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: 0000-0001-6584-0746

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.31

Анотація. Ця робота досліджує вплив сучасних технологій та інформаційних систем управління ресурсами організації на оптимізацію логістичних процесів в інфраструктурних проектах. Аналізується потенціал цих технологій для підвищення ефективності управління логістикою та нівелювання проектних ризиків. Особлива увага приділяється специфічним викликам, з якими стикаються керівники проектів при організації логістичних процесів у складних інфраструктурних ініціативах. Об'єктом дослідження є процеси логістичного забезпечення на всіх етапах життєвого циклу інфраструктурних проектів, від планування до завершення та експлуатації. Предметом дослідження є управління процесами комплексного логістичного забезпечення життєвого циклу інфраструктурних проектів. Раціональне формування логістичної інфраструктури та її ефективне управління є критично важливими для забезпечення взаємовигідної співпраці всіх учасників логістичного ланцюга. Чітка взаємодія між стейкхолдерами, що базується на інтегрованих технологічних рішеннях, сприяє значному покращенню кількісних та якісних показників фінансових потоків в рамках інфраструктурних проектів.

Ключові слова: логістика, прийняття рішень, управління ризиками, інфраструктурні проєкти.

Abstract. This paper explores the impact of modern technologies and enterprise resource planning information systems on the optimization of logistics processes in infrastructure projects. The potential of these technologies to improve the efficiency of logistics management and mitigate project risks is analyzed. Special attention is paid to the specific challenges faced by project managers in organizing logistics processes in complex infrastructure initiatives. The object of the study is the processes of logistics support at all stages of the life cycle of infrastructure projects, from planning to completion and operation. The subject of the study is the management of integrated logistics support for the life cycle of infrastructure projects. The rational formation of logistics infrastructure and its effective management are critical to ensure mutually beneficial cooperation of all participants in the logistics chain. Clear interaction between stakeholders based on integrated technological solutions contributes to a significant improvement in the quantitative and qualitative indicators of financial flows within infrastructure projects.

Keywords: logistics, decision-making, risk management, infrastructure projects.

ВСТУП

Повномасштабне збройне вторгнення Росії в Україну спричинило значні руйнування інфраструктури, що, у свою чергу, зумовило глибоку трансформацію бізнес-процесів, пов'язаних з логістикою. Ці події вимагали невідкладної адаптації логістичних систем та ланцюгів поставок до нових реалій. Наслідки військових дій включають втрату десятків складських приміщень, необхідність переформатування сотнями компаній своїх ланцюгів поставок, а також вимушене переміщення виробничих потужностей багатьма виробниками разом із релокацією персоналу та їхніх сімей. Ці виклики підкреслюють критичну потребу в розробці адаптивних та стійких логістичних стратегій.

У сучасному бізнес-середовищі ефективність логістичних операцій практично неможлива без інтеграції інформаційних технологій та програмних комплексів. Ці цифрові інструменти є критично важливими для аналізу, планування, підтримки та прийняття обґрунтованих рішень у логістиці. З огляду на це, зростає кількість організацій, які активно інвестують у проекти з цифровізації та розробки інформаційних систем. Ця тенденція підкреслює усвідомлення важливості технологічної трансформації для підвищення конкурентоспроможності та операційної ефективності в логістичній галузі. Інформаційна складова логістичної інфраструктури набуває дедалі більшого значення у сучасних умовах. Ефективне формування, розвиток та управління логістичними потоками є неможливим без інтенсивного обміну інформацією в режимі реального часу та швидкого реагування на динамічні потреби всіх учасників логістичних ланцюгів. Інформаційна інфраструктура логістичної системи визначається як сукупність взаємопов'язаних елементів, що забезпечують рух фінансових потоків та формують основу інформації про матеріальні потоки. У складі внутрішньої інформаційної логістичної інфраструктури доцільно виділяти підрозділи компанії, а також методи та засоби передачі інформації, які сукупно формують інформаційно-аналітичне забезпечення логістичної системи. Це дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень та підвищити загальну ефективність логістичних операцій. Для забезпечення оптимального управління критично важливо провести аналіз зрілості існуючої інформаційної інфраструктури та порівняти її можливості з тактичними та стратегічними завданнями логістичної системи. За необхідності, це може вимагати перегляду та оптимізації її складових. Подальший розвиток інформаційної інфраструктури гарантує підвищення якості фінансових та логістичних рішень, розширення траєкторій фінансових потоків та появу нових, більш ефективних методів управління ними. З погляду логістики проектної діяльності, логістична інфраструктура відіграє ключову роль у створенні ефективного інструментарію. Цей інструментарій забезпечує органічну єдність фінансових потоків та їх узгодженість з матеріальними та інформаційними потоками. Ігнорування принципів управління фінансовими потоками під час формування та управління логістичною інфраструктурою неминуче призводить до значних втрат фінансових ресурсів.

Відповідно до вітчизняних наукових джерел, логістична інфраструктура визначається як інтегрована система технічних та проектно-організаційних компонентів, що забезпечує оптимальний циклічний рух ресурсних потоків (матеріальних, фінансових, інформаційних, трудових, зворотних) від постачальника до кінцевого споживача з максимальною ефективністю.[832]

Поняття "інфраструктура логістичних процесів" охоплює сукупність взаємопов'язаних елементів, які забезпечують ефективний рух ресурсів. Вона поділяється на зовнішні та внутрішні складові.

Неточне оцінювання обсягів та кількості продукції, а також неефективність у закупівлях, що виражається у надлишку або нестачі ресурсів, суттєво збільшують загальні витрати на будівництво та експлуатацію. Це також призводить до зростання логістичних витрат, пов'язаних з транспортуванням та зберіганням. Однією з головних проблем інфраструктурних будівельних проєктів є неефективне управління на всіх етапах — від проєктування до будівництва та експлуатації. Це негативно впливає на продуктивність праці, спричиняє зупинки робіт, потребує переробок та порушує налагоджені ланцюги постачання матеріалів, техніки та робочої сили. Наприклад, в Україні, за даними концепції впровадження BIM (Building Information Modeling), яка підтримується проєктом ЄС «Допомога органам влади України в удосконаленні управління циклом

[832] Притула Х. М., Максименко А. О., Калат Я. Я., Кирик І. М., 'Розвиток логістично-транспортної інфрафраструктури прикордонних областей Західного регіону України в умовах поглиблення інтеграції до Європейського Союзу' *Регіональна економіка*. (2023), №2 (108), с. 60-71.

інфраструктурних проєктів», середнє відхилення від запланованих термінів реалізації будівельних та інфраструктурних проєктів становить 20 місяців. При цьому перевитрати коштів у середньому сягають 80% від початкового бюджету для всіх проєктів.

Як для інфраструктурних проєктів, так і для програм і портфелів проєктів характерні спільні виклики. Серед них — непередбачувані обставини, зміни в проєкті, великі обсяги даних та потреба в швидкій і точній обробці інформації для прийняття рішень. Також важливою є координація роботи великої кількості учасників, що вимагає ефективної взаємодії між усіма зацікавленими сторонами. Будівельні інфраструктурні проєкти мають довгий ланцюг поставок, що охоплює етапи від розробки до реалізації та експлуатації. Цей ланцюг включає значну кількість малих та середніх організацій, що часто призводить до часткової втрати інформації. Це пов'язано з тим, що ефективність обміну даними, їх накопичення, оперування, а також якість та достовірність інформації багато в чому залежать від можливостей цих організацій.

Потреба в матеріальних ресурсах, конструкціях та виробах для інфраструктурних проєктів детермінується їхніми індивідуальними характеристиками, а також застосовуваною технологією та організацією будівельного процесу. При цьому процеси закупівлі та постачання цих ресурсів мають відбуватися у суворій відповідності до технологічних вимог, прагнучи до мінімізації надлишкових складських запасів. Складська логістична інфраструктура, що охоплює склади, вантажно-розвантажувальні термінали та логістичні центри, відіграє ключову роль у русі логістичних потоків, безпосередньо впливаючи на швидкість обігу фінансових ресурсів. Розташування, кількість, рівень завантаження та умови зберігання продукції на цих об'єктах є критично важливими факторами. Комплексний облік усіх видів складської логістичної інфраструктури дозволяє ефективно відстежувати та аналізувати траєкторії фінансових потоків, що створює підґрунтя для їх планування. Це зумовлює необхідність розробки програм географічного розміщення та визначення оптимальної кількості складських об'єктів. Відповідно, інтеграція внутрішніх та зовнішніх компонентів логістичної інфраструктури в систему управління фінансовими потоками є обов'язковою умовою для покращення їхніх параметрів.

Таблиця 1.

Інтеграція знань у життєвий цикл проекту

Етап проекту	PMBOK	BABOK	SWEBOK
Ініціація	Визначення мети, створення статуту проєкту	Аналіз потреб бізнесу, визначення вимог	Оцінка технічної можливості
Планування	Розробка плану проєкту, оцінка ресурсів	Розробка моделей даних, процесів	Планування розробки, тестування
Реалізація	Управління командою, контроль якості та архівування	Управління змінами вимог	Кодування, тестування
Завершення	Отримання офіційного схвалення та архівування	Перевірка відповідності системи вимогам	Впровадження системи

Концепція ощадливого управління (Lean Management) є парадигмою, що спрямована на безперервне усунення всіх видів втрат з метою оптимізації бізнес-процесів та максимального задоволення потреб клієнтів. Її теоретичною основою слугує виробнича система компанії Toyota, яка дозволила цьому автоконцерну подолати післявоєнну кризу та досягти глобального успіху. На відміну від традиційних систем управління якістю, які часто обмежуються декларативним описом необхідних дій без конкретизації механізмів їх реалізації, принципи ощадливого виробництва

пропонують деталізовані інструкції щодо зменшення або повного усунення втрат. Наприклад, метод картування потоків створення цінності (Value Stream Mapping, VSM) покроково регламентує процес побудови карт потоків створення цінності, дозволяючи візуалізувати та оптимізувати ключові етапи. Крім того, система 5S є простим і економічно ефективним підходом до раціональної організації робочого простору, що безпосередньо сприяє підвищенню продуктивності та безпеки. Ключовою характеристикою концепції ощадливого управління (Lean) є універсальність її методів, що дозволяє успішно застосовувати їх як на промислових підприємствах, так і в інших галузях, включаючи IT-індустрію. Прикладом такої інтеграції є Маніфест Agile, де значна частина принципів відображає ідеї Lean. Особливо це проявляється у філософії DevOps, що орієнтована на прискорення розробки та експлуатації програмного забезпечення через автоматизацію повторюваних процесів та управління інфраструктурою як кодом. Важливо підкреслити, що Lean, як управлінський підхід, полягає не стільки у впровадженні технологій та інструментів, скільки у трансформації бізнес-процесів та зміні людського мислення. Саме ця трансформаційна природа є точкою перетину між ощадливим виробництвом та діджиталізацією.

Системно організовані компанії демонструють здатність збалансовано та оперативно реагувати на мінливі умови функціонування та нові зовнішні впливи. Для проєктних команд, які інтегрують інформаційні системи WMS (Warehouse Management System) та TMS (Transport Management System), завдання, такі як переїзд складських об'єктів, перестають бути складними. У портфелі компанії є рішення, які дозволяють не тільки якісно і швидко запускати нові об'єкти, а й швидко реконфігурувати існуючі, адаптуючи їх до нових реалій. Актуальним стає досвід реорганізації та реінжинірингу процесів для відновлення та оптимізації управління складською логістикою.

Окремо варто наголосити на системній відсутності комплексних підходів до управління життєвим циклом об'єктів. Це включає прогалини в таких аспектах, як оцінка життєвого циклу, облік експлуатаційних витрат та повноцінний аналіз вартості. У той час як провідні країни світу поступово трансформують свою інвестиційно-будівельну діяльність, переносячи акцент з етапів проєктування та будівництва на весь життєвий цикл об'єкта, в Україні, наразі, такі інтегровані системні підходи практично відсутні. Спостерігаються лише поодинокі розробки та ініціативи, які не становлять цілісної національної стратегії.

Уповільнені темпи впровадження інновацій у будівельному секторі зумовлені, перш за все, системною нестачею комплексних даних – статистичних, аналітичних, операційних та економічних – на всіх ключових етапах та в процесах. Цю ситуацію можна охарактеризувати як "інформаційний вакуум", який перешкоджає галузі (на відміну від, наприклад, машинобудування) послідовно накопичувати та ефективно використовувати дані протягом життєвого циклу об'єктів. Це, своєю чергою, унеможливлює формування надійної аналітичної бази для прийняття обґрунтованих рішень. Будівельні інфраструктурні програми та портфелі проєктів демонструють один із найнижчих показників в індексі цифровізації. Сектор залишається надзвичайно локалізованим і фрагментованим, значно відстаючи за більшістю критеріїв. Крім того, використання традиційних методів проєктування призводить до суттєвої "втрати" даних при кожному переході об'єкта на наступний етап життєвого циклу. Наразі інвестиції в інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) у будівництві залишаються незначними порівняно з іншими галузями економіки.

Зростаюча потреба в ефективному управлінні експлуатацією будівельних проєктів підкреслює критичну роль логістики. Її домінуюче значення особливо помітне у сфері планування та здійснення закупівель, адже цей процес охоплює замовлення, отримання, транспортування та зберігання всіх необхідних матеріальних ресурсів проєкту. З огляду на ці визначення, очевидно, що логістична

інфраструктура відіграє дедалі важливішу роль в оптимізації руху всіх видів логістичних потоків в проєктних організаціях. Реалізація інфраструктурних проєктів, зокрема зведення дамб, гребель та гідроелектростанцій, часто відбувається у важкодоступних гірських або водно-болотних регіонах. Це суттєво ускладнює організацію логістичних процесів. Водночас, енергетичні проєкти, особливо будівництво електростанцій і підстанцій, вимагають транспортування великогабаритного та надважкого обладнання. Доставка такого устаткування потребує ретельного планування та тісної координації між усіма зацікавленими сторонами для забезпечення ефективності та своєчасності. Інфраструктурні проекти, такі як будівництво дамб, гребель і гідроелектростанцій, часто реалізуються у важкодоступних гірських районах або водно-болотних угіддях. Це створює додаткові труднощі для організації логістичних процесів. Енергетичні проекти, особливо пов'язані з будівництвом електростанцій і підстанцій, характеризуються великими обсягами обладнання, яке часто має нестандартні розміри і вагу. Доставка такого обладнання вимагає ретельного планування та координації дій зацікавлених сторін.

РЕЗУЛЬТАТИ

Завдяки використанню розробленої моделі можна скоротити час на планування проекту та складання технічної документації за рахунок використання прецедентів з даного проекту. В ході роботи було досліджено процес планування програмного проекту та показано, що використання прецедентів дозволяє підвищити ефективність планування та реалізації програмних проектів на основі використання виконавцями відомих практик. Досліджено публікації з прецедентного планування та зроблено висновок про необхідність удосконалення прецедентної моделі з урахуванням можливостей побудови прецедентів засобами інтелектуального аналізу процесів.

ВИСНОВКИ

Системи підтримки прийняття рішень, що базуються на методі прецедентів, є надзвичайно ефективним інструментом у широкому спектрі сфер діяльності. Ці системи дають змогу використовувати накопичений досвід та знання минулих ситуацій для формування оптимальних рішень у поточних умовах. Хоча існують певні обмеження, прогрес у таких галузях, як штучний інтелект та машинне навчання, відкриває значні перспективи для подальшого розвитку та вдосконалення СППР на основі прецедентів.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГРОМАДСЬКОЇ БЕЗПЕКИ В МІСТІ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ "БЕЗПЕЧНЕ МІСТО ЛЬВІВ"

ENSURING CITY PUBLIC SECURITY ON THE EXAMPLE OF THE VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM “SAFE CITY LVIV”

Максим Смілевський, кандидат юридичних наук, e-mail: maxismile@gmail.com, управління безпеки та вуличної інфраструктури департаменту міської мобільності та вуличної інфраструктури Львівської міської ради, ORCID https://orcid.org/0000-0002-2082-9524

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.32

Анотація. У розділі досліджено досвід м. Львова у впровадженні та розвитку системи відеоспостереження «Безпечне місто Львів» як інструменту забезпечення громадської безпеки. Представлено етапи розгортання системи з моменту її створення до сьогодення, зокрема зростання кількості камер із 50 до понад 2000 одиниць, а також впровадження інноваційних технологій, як-от розпізнавання облич і номерних знаків, виявлення пожеж і аналітика відео. Особливу увагу приділено адаптації системи до умов воєнного часу, коли потреба у контролі, реагуванні на загрози та підтримці правоохоронних органів значно зросла. У статті наведено приклади ефективного використання системи для виявлення злочинів, управління транспортними потоками та підтримки евакуації. Порівняльний аналіз із системами відеоспостереження в містах Європи й Великої Британії дозволяє оцінити унікальні особливості львівського досвіду, зокрема гнучкість, швидку модернізацію та інтеграцію в загальноміські процеси безпеки. Також проаналізовано існуючі виклики, серед яких технічні обмеження інфраструктури та нестача персоналу, та окреслено перспективи розвитку до 2026 року. Досвід Львова може слугувати зразком для інших міст, що прагнуть забезпечити безпеку в умовах сучасних загроз.

Ключові слова: місто, громадська безпека, відеоспостереження, урбанізація.

Abstract. The article explores the experience of the city of Lviv in implementing and developing the video surveillance system “Safe City Lviv” as a tool for ensuring public safety. It outlines the key stages of the system’s expansion, from its inception with only 50 cameras to over 2,000 units today, including the integration of advanced technologies such as facial and license plate recognition, fire detection, and video analytics. Special focus is given to the system’s adaptation during wartime, highlighting its critical role in monitoring threats, supporting law enforcement, and ensuring rapid response. Practical examples demonstrate the system’s effectiveness in solving crimes, managing traffic flows, and assisting with vehicle evacuation. A comparative analysis with surveillance systems in cities across Europe and the UK underscores Lviv’s unique strengths: rapid modernization, flexible integration into citywide safety protocols, and responsiveness to emergency conditions. The article also identifies current challenges – such as technical infrastructure limitations and understaffing – and presents future development plans through 2026. Lviv’s approach may serve as a valuable model for other cities seeking resilient safety solutions under complex conditions.

Keywords: city, public security, video surveillance, urbanization.

ВСТУП

У сучасному світі, де урбанізація стрімко зростає, а виклики громадській безпеці стають дедалі складнішими, міста шукають інноваційні рішення для захисту своїх мешканців. Одним із таких

рішень є впровадження систем відеоспостереження, які дозволяють не лише запобігати злочинам, а й оперативно реагувати на надзвичайні ситуації. У місті Львові, Україна, система "Безпечне місто Львів", керована Управлінням безпеки та вуличної інфраструктури Департаменту міської мобільності та вуличної інфраструктури Львівської міської ради, стала прикладом ефективного використання технологій для забезпечення громадської безпеки. Особливої актуальності ця система набула в умовах воєнного часу, коли потреба в моніторингу, координації та швидкому реагуванні зросла в рази. Ця стаття аналізує розвиток системи відеоспостереження "Безпечне місто Львів", її вплив на громадську безпеку, адаптацію до умов війни, а також порівнює її з аналогічними системами в містах Європи та Великої Британії.

РОЗВИТОК СИСТЕМИ "БЕЗПЕЧНЕ МІСТО ЛЬВІВ"

Історія створення та цілі

Система "Безпечне місто Львів" була започаткована в рамках Міської комплексної програми зміцнення законності, безпеки та порядку на території Львівської міської територіальної громади на 2022–2026 роки. Основною метою програми стало підвищення рівня національної безпеки, законності, правопорядку та цивільного захисту населення через впровадження сучасних технологій. Система відеоспостереження стала ключовим інструментом для досягнення цих цілей, забезпечуючи цілодобовий моніторинг громадських просторів, транспортних вузлів та житлових кварталів.

На початковому етапі у 2016 році система включала лише 50 камер, які обслуговували дві штатні одиниці. Станом на 2024 рік кількість камер зросла до понад 2000, що робить її однією з найбільших мереж відеоспостереження в Україні. У 2024 році було встановлено 61 нову камеру на 23 об’єктах, а також 101 оглядову камеру в рамках програми "Безпека житлових кварталів" у восьми об’єднаннях співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ). Цей розвиток відображає прагнення міста адаптувати систему до зростаючих потреб у безпеці[833].

Технологічна база

Для створення ефективної системи відеоспостереження Управління безпеки та вуличної інфраструктури використало різноманітні типи камер і технологій:

- Камери з аналітичними можливостями: Ці пристрої дозволяють виявляти перетин ліній, вторгнення, появу чи зникнення об’єктів, що значно полегшує моніторинг у реальному часі.
- Камери розпізнавання облич: Використовуються для ідентифікації осіб, що є важливим для правоохоронних органів у розкритті злочинів.
- Камери розпізнавання номерних знаків: Автоматично фіксують номери транспортних засобів, допомагаючи в управлінні трафіком і виявленні порушників.
- Системи контролю доступу: Інтегровані з мережею відеоспостереження для регулювання входу до чутливих зон.
- Системи виявлення пожеж: Оснащені тепловізорами, ці камери дозволяють виявляти температурні зміни, що можуть свідчити про початок пожежі.

Загальна кількість камер у системі перевищує 2000, а їхня інтеграція в єдину мережу забезпечує комплексний підхід до моніторингу та управління безпекою міста. У 2024 році, наприклад, було встановлено дві біспектральні камери для раннього виявлення пожеж, що стало важливим кроком у підвищенні рівня цивільного захисту.

[833] Lviv City Council. Звіт про діяльність Департаменту міської мобільності та вуличної інфраструктури за 2024 рік. Львів: Львівська міська рада, 2024.

АКТУАЛЬНІСТЬ У ВОЄННИЙ ЧАС

Зміна діяльності Департаменту

З початком війни в Україні у 2022 році діяльність Департаменту міської мобільності та вуличної інфраструктури зазнала значних змін. Якщо до війни основна увага приділялася профілактиці правопорушень і регулюванню дорожнього руху, то в умовах воєнного стану пріоритети змістилися до забезпечення національної безпеки та оперативного реагування на загрози. Система "Безпечне місто Львів" стала незамінним інструментом для адаптації до нових викликів, таких як виявлення диверсійних груп, контроль за переміщенням транспорту та підтримка роботи екстрених служб.

Наприклад, у перші місяці війни (березень-квітень 2022 року) зросла кількість евакуйованих автомобілів, припаркованих із порушенням правил, завдяки співпраці з Головним управлінням Національної поліції у Львівській області та запуску арештмайданчика на вул. Тролейбусній, 1. У березні було евакуйовано 174 автомобілі, а вже до кінця квітня — 248. Це свідчить про інтенсивніше використання системи відеоспостереження для виявлення порушників.

Роль у розкритті злочинів

Система відеоспостереження відіграє ключову роль у розкритті злочинів і виявленні загроз у воєнний час. Завдяки аналітичним можливостям камер правоохоронні органи можуть:

- Розкривати злочини: У 2024 році за допомогою системи було виявлено 1540 винуватців ДТП і 506 порушень громадського порядку. Опрацьовано 644 запити на отримання відеозаписів від Національної поліції.
- Виявляти диверсійно-розвідувальні групи: Камери з розпізнаванням облич і номерних знаків дозволяють ідентифікувати підозрілих осіб і транспорт, що може бути використано ворогом для диверсій.
- Встановлювати транспортні засоби, задіяні у злочинах: Система зафіксувала 28 734 випадки оперативної співпраці з патрульною поліцією, що допомогло відстежити транспорт, причетний до правопорушень[834].

Ці функції особливо важливі в умовах війни, коли місто може стати об’єктом диверсій або терористичних атак.

Управління транспортними потоками

Ще однією важливою функцією системи є управління транспортними потоками, що стало критично необхідним у воєнний час[835]. Інтеграція камер із системою світлофорів дозволяє:

- Керувати рухом транспорту: Аналіз потоків у реальному часі допомагає оптимізувати маршрути, зменшувати затори та забезпечувати проїзд спецтранспорту, такого як автомобілі ДСНС, швидкої допомоги та військової техніки.
- Реагувати на надзвичайні ситуації: Система забезпечує швидке виявлення аварій, витоків води чи наслідків ракетних атак, дозволяючи оперативно спрямовувати ресурси для їх усунення[836].

У 2024 році дані з камер допомогли скоригувати графіки руху громадського транспорту, враховуючи затори та інтенсивність потоків, що підвищило комфорт пересування для мешканців і гостей міста.

[834] Home Office. Відеоспостереження та поліцейська діяльність: Практики громадського нагляду. Лондон: Home Office, 2022.
[835] National Police of Ukraine. Співпраця з муніципальними системами відеоспостереження. Київ: Національна поліція України, 2024.
[836] Ministry of Internal Affairs of Ukraine. Рекомендації щодо муніципальних систем відеоспостереження. Київ: Міністерство внутрішніх справ України, 2024.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІЗ СИСТЕМАМИ ЄВРОПИ ТА ВЕЛИКОЇ БРИТАНІЇ

Лондон, Велика Британія

Лондонська система відеоспостереження є однією з найбільших у світі, налічуючи близько 500 000 камер[837]. Як і у Львові, вона використовує технології розпізнавання облич і номерних знаків, але її масштаби значно перевищують львівську через розмір міста та його глобальне значення. У Лондоні система відіграє важливу роль у боротьбі з тероризмом і управлінні трафіком, однак потребує значно більших ресурсів для підтримки.

Барселона, Іспанія

У рамках ініціативи "Smart City" Барселона інтегрує відеоспостереження з датчиками та аналітикою для моніторингу трафіку, екологічних загроз і громадських просторів[838]. На відміну від Львова, акцент у Барселоні робиться на екологічну сталість і залучення громадян, що відображає мирний контекст розвитку. Проте львівська система вирізняється швидкою адаптацією до воєнних умов.

Берлін, Німеччина

Берлін зосереджує відеоспостереження на громадському транспорті та зонах підвищеного ризику[839]. Як і у Львові, тут використовується відеоаналітика для виявлення загроз, але масштаби системи менші, ніж у Лондоні чи Барселоні. Львівська система вирізняється ширшою інтеграцією різних типів камер і їхньою адаптацією до потреб воєнного часу[840].

Висновки порівняння

Хоча "Безпечне місто Львів" поступається за масштабом лондонській системі, вона демонструє високу ефективність у воєнних умовах, що є унікальним у порівнянні з європейськими аналогами. Швидке розширення мережі, інтеграція різноманітних технологій і співпраця з правоохоронними органами роблять її прикладом для інших міст, які стикаються з подібними викликами[841,842].

ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Технічні проблеми

Незважаючи на успіхи, система стикається з низкою викликів:

- Інфраструктура: Приміщення Центру безпеки міста потребує значного розширення, адже стара проводка не витримує навантаження від техніки, що призводить до перебоїв в електропостачанні, що ускладнює роботу персоналу.
- Персонал: Дві штатні одиниці, які обслуговували 50 камер у 2016 році, досі відповідають за понад 2000 камер у 2024 році. Вирішується питання збільшення штату до восьми осіб для ефективного управління системою.

Плани на майбутнє

Для подолання цих викликів Департамент планує:

- Розбудову серверного приміщення та створення загальноміського центру обробки даних.

[837] Smart City World. Інновації в міській безпеці: Кейси з Європи. Лондон: Smart City World, 2024.
[838] Barcelona City Council. Стратегія розумного міста Барселони. Барселона: Barcelona City Council, 2023.
[839] Senate Department for the Interior and Sports. Громадська безпека та відеоспостереження в Берліні. Берлін: Senate Department for the Interior and Sports, 2023.
[840][840] International Association of Chiefs of Police. Технології та громадська безпека: Глобальна перспектива. Александрія, Вірджинія: IACP, 2023.
[841] Council of Europe. Захист даних і приватність у відеоспостереженні. Страсбург: Council of Europe, 2023.
[842] European Commission. Розумні міста та громади: Найкращі практики в галузі міської безпеки. Брюссель: Європейська комісія, 2023.

- Капітальний ремонт офісів і заміну проводки з використанням, у тому числі, сонячних панелей для безперебійної роботи.
- Збільшення кількості камер і впровадження сучасної аналітики для обробки даних.

Проект реконструкції для створення надсучасного центру безпеки перебуває на етапі втілення, з орієнтовним терміном завершення робіт до кінця 2025 або у першому кварталі 2026 року.

ВИСНОВОК

Система відеоспостереження "Безпечне місто Львів" стала невід'ємною частиною забезпечення громадської безпеки у місті, особливо в умовах війни. Завдяки інтеграції передових технологій, таких як камери з аналітичними можливостями, розпізнаванням облич і номерних знаків, а також системами раннього виявлення пожеж, Львів демонструє ефективний підхід до захисту своїх мешканців. Адаптація до воєнних викликів, співпраця з правоохоронними органами та управління транспортними потоками підкреслюють її універсальність і стійкість. Порівняння з європейськими системами показує, що Львів може слугувати прикладом для інших міст, які шукають рішення для забезпечення безпеки в складних умовах. Подальший розвиток системи, зокрема модернізація інфраструктури та збільшення штату, сприятиме її ефективності та сталості в майбутньому.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ В КЛІМАТИЧНИХ ТА ЕДАФІЧНИХ УМОВАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

FEATURES OF FIRE DEVELOPMENT IN NATURAL ECOSYSTEMS UNDER THE CLIMATIC AND EDAPHIC CONDITIONS OF THE LVIV REGION

Андрій Гапало, доктор філософії, начальник сектору охорони праці апарату ДСНС України, andriyop@ukr.net, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3543-4987

Oksana Telak, Main School of Fire Service, oksana.telak@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6103-3784

Володимир Коваль, ад'юнкт, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, koval.lviv.ua@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5133-9542

Назарій Коваль, доктор філософії, проректор з персоналу, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, nazar.k.ua@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7846-2924

Василь Попович, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, popovich2007@ukr.net, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2857-0147

https://doi.org/10.32447/bcet.2025.33

Анотація. У цій публікації наведено частину результатів комплексних досліджень пожеж у природних екосистемах, які знайшли відображення у наукових публікаціях та дисертаційному дослідженні. Пожежі у природних екосистемах спричиняють значну екологічну небезпеку для довкілля. Внаслідок виникнення пожеж у природних екосистемах відбувається виділення продуктів горіння (неповного розпаду) у атмосферне повітря, осаджені частинки спричиняють забруднення поверхневих вод та ґрунтів, знищується видовий склад флори і фауни, біота зазнає незворотних змін. Дослідження проводилися на території Львівського Розточчя. Наведено кліматичні та едафічні умови регіону досліджень. Відображено видовий склад дерево-чагарникової рослинності та Результатами наведених досліджень є аналіз та розробка протипожежних заходів внаслідок горіння лучних природних екосистем. Встановлено час займання рослинності за протипожежною мінералізованою смугою і висоту полум'я за різної ширини мінералізованої смуги та змінної висоти сухої лучної рослинності.

Ключові слова: пожежа у природних екосистемах, мінералізована смуга, параметри пожежі, пожежна безпека, екологічна безпека

Abstract. This paper presents some of the results of comprehensive studies of fires in natural ecosystems, which are reflected in scientific publications and dissertation research. Fires in natural ecosystems pose a significant ecological threat to the environment. As a result of fires in natural ecosystems, combustion products (incomplete decomposition) are released into the atmosphere, deposited particles cause pollution of surface waters and soils, the species composition of flora and fauna is destroyed, and the biota undergoes irreversible changes. The research was conducted in the Lviv Roztochya region. The climatic and edaphic conditions of the research region are presented. The species composition of tree and shrub vegetation is reflected. The results of the research are the analysis and development of fire prevention measures due to the burning of natural meadow ecosystems. The time of vegetation ignition behind the firebreak mineralized strip and the height of the flame for different widths of the mineralized strip and variable heights of dry meadow vegetation were established.

Keywords: fire in natural ecosystems, mineralized strip, fire parameters, fire safety, environmental safety

ВСТУП

Пожежі у природних екосистемах є небезпечним чинником погіршення якості довкілля внаслідок міграції небезпечних речовин та продуктів горіння у довкілля. Територія наших досліджень розміщена у геоботанічному регіоні Розточчя. Розточчя – звужене горбисте пасмо 15-20 км завширшки і до 400 м заввишки, яке простягається у напрямі зі Львова на південному-сході до Томашова, Щебрешина і Красніка (Польща) на північному-заході. Над прилеглими рівнинами – Надсянською низовиною на південному-заході і Надбужанською котловиною на північному-сході[843]. Густою мережею рік характеризується Равське Розточчя, північно-східна та південно-східна частини Янівського Розточчя і східна частина Львівського Розточчя. Клімат Львівського Розточчя відзначається різноманітністю мезокліматів, що зумовлюється неоднорідністю його поверхні і характеризується м'якістю, яка проявляється невеликою різницею температур літа і зими, та високою зволоженістю, про яку свідчать значні річні суми опадів. Регіону не властиві сильні морози чи посухи зате характерні часті відлиги взимку, значна хмарність, обложні дощі та викликані ними літньо-осінні паводки. Радіаційний і тепловий режим зумовлений перерозподілом територією регіону тепла та вологи, і характером місцевості (висота, експозиція схилів, ґрунтово-рослинний покрив)[844]. Територія Львова одержує в рік до 163,3 ккал/см² сумарної радіації (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Розрахункові місячні показники сонячної радіації

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сонячна радіація, Ккал/см^2	4,7	7,5	13,5	17,8	22,1	23,0	22,5	18,8	14,1	9,6	5,8	3,8

Таблиця 2

Дійсна величина сумарної сонячної радіації

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сонячна радіація, Ккал/см^2	2,4	3,5	5,6	7,9	12,8	13,4	16,6	12,2	8,7	5,4	1,8	1,1

Теплові ресурси виражаються тепловим балансом, до якого, крім радіаційного балансу, належить кількість тепла, яка витрачається на випаровування, на турбулентний теплообмін між поверхнею Землі й атмосферою та на теплообмін у ґрунті[845]. На території міста, яка в поперечнику (схід-захід) сягає близько 15 км, внаслідок значної площі мертвої підстилаючої поверхні спостерігається (особливо в літні місяці) перевищення природного теплового балансу над природним[846].

Клімат району відноситься до перехідного від атлантичного вологого до континентального типу, в загальному він більш вологий, аніж клімат Малополіської низовини. Кількість опадів досягає 650-700 мм/рік. Середня річна температура повітря дорівнює +7,4°С, середня температура січня у Львові – +4,1°С, Бережанах - +5°С, а середня температура липня відповідно +18,3 – +18,1 °С Нерідкі пізні весняні заморозки, особливо шкідливі на долинах Розточчя, де бувають навіть у червні,

[843] Геренчук К. І. Природа Львівської області. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1972. 151 с.
[844] Кучерявий В. П. (2003). Фітомеліорація. Львів: Світ. 540.
[845] Гродзінський А. М. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник. Київ, 1990. 544 с.
[846] Кучерявий В. П. Урбоекологія. Львів: Світ, 1999. 360.

пошкоджуючи дуб, горіх і багато інших порід. Вітри переважать західні, в окремі роки викликають відносні буреломи і вітровали. З несприятливих погодних явищ в цьому районі варто відмітити сніголоми, які особливо часто пошкоджують чисті соснові культури, створені в судібровних типах лісу. Вегетаційний період триває в середньому 210 днів. Район густо заселений (більше 100 жителів на 1 км^2), населення головним чином зайняте в сільському господарстві. На території району розташований великий промисловий і науковий центр – м. Львів та ряд невеликих міст, такі, наприклад, як Бібрка, Золочів, Ходорів, Рогатин, Бережани; промисловість в маленьких містах розвинена відносно слабо. Майже всі великі лісові масиви мають добре розвинену мережу покращених ґрунтових та шосейних доріг. Середня забезпеченість транспортними шляхами – 12 км на 1 тис. площі лісового фонду. Вітровий режим характеризується слабкими та помірними вітрами, швидкість яких становить 0–5 м/с (70–90 % за рік). Вітер зі швидкістю 0–1 м/с найчастіше повторюється влітку, зі швидкістю 2–3 м/с однаково протягом року, а зі швидкістю 6–10 м/с – взимку. У холодну пору бувають вітри зі швидкістю 6–10 м/с. Швидкості більші, ніж 10 м/с, спостерігаються в області рідко[847,848,849].

Найхолоднішим місяцем зими в області є січень, середньомісячна температура якого на 2–3 °С нижча, ніж у грудні. Для усіх зимових місяців характерна велика мінливість температури повітря. Середньорічні температури повітря коливається в межах +5,2–+8,0 °С. Амплітуда річних коливань – від +20,7 до +23 °С[850].

У Розточчі переважну площу займають соснові (42%), дубові (23%) та букові (15%) ліси, зазвичай змішані з домішкою різних листяних порід. З хвойних порід природнього походження, окрім сосни звичайної, ще є острівні ділянки ялини європейської та ялиці білої. В лісові культури все ширше вводиться модрина, псевдотсуга тисолистова, сосна веймута та інші високопродуктивні породи.

В поширенні природної деревної рослинності помітні деякі закономірності, а саме: сосново-букові та букові насадження розташовані як правило, на піднесених елементах рельєфу, в містах виходу на поверхню вапняків; у підніжжя схилів, по долинах проростають переважно дубові, сосново-дубові насадження або похідні від них. Корінні сосново-букові і чисто букові насадження характеризуються високою продуктивністю та якістю деревини. Чисті соснові культури, хоч і володіють високою продуктивністю, відрізняються досить низькою стійкістю до сніголомів, які в окремі роки викликають дуже сильні пошкодження[851] (табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл площі лісового фонду за типами лісорослинних умов

Тип лісорослинних умов	Всього	У тому числі за ступенем вологості				
		сухі	свіжі	вологі	сирі	мокрі
Розточчя						
Бір	0,7	-	0,4	0,3	-	-
Субір	7,0	-	4,4	1,8	0,8	-
Сугруди	65,9	-	54,1	9,9	1,9	-
Груди	26,4	-	23,3	3,1	-	-
Всього:	100,0	-	82,2	15,1	2,7	-

[847] Геренчук К. І. Природа Львівської області. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1972. 151 с.
[848] Попович В. В. 2014. Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. Монографія. Львів. 174.
[849] Попович В. В. 2009. Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період. Науковий вісник НЛТУ України. 19.3. 37-42.
[850] Геренчук К. І. Природа Львівської області. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1972. 151 с.
[851] Кучерявий, В. П. (2010). Загальна екологія. Львів : Світ. 520.

Лісокультурні заходи, які входять в загальну систему, мають передбачати відношення висаджених деревних порід конкретним типам лісу. Оскільки в районі переважають родючі ґрунти, наявні сприятливі кліматичні умови, створювані насадження мають бути змішаними, ні в якому разі неприпустимо утворення чистих соснових, ялинових чи дубових насаджень, які часто вражаються хворобами та шкідниками, пошкоджуються при вітровалах, буреломах та пожежах, що призводить до їх передчасної загибелі. Чисті насадження можна утворювати тільки з бука в свіжих та вологих бучинах та з вільхи чорної – в мокрих грудах[852].

У межах Львівського Розточчя виділяють п'ять угрупувань рослинності: лісову, лучну, болотну, скельну і степову. Найбільше представлені перші три групи.

Найпоширеніші типи лісу і типи зрубів представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Типи лісу і типи зрубів на Львівському Розточчі

Типи лісу	Типи зрубів
Сосняк лишайниковий	Куничниковий
Сосняк сфагновий	–
Грабово-дубово-соснові (свіжі)	Куничниковий
Грабово-дубово-соснові (вологі)	Ожинові
Грабово-дубово-соснові (сирі)	Моховий
Грабово-дубові (свіжі)	Ліщиново-знітові
Грабово-букові (вологі)	Ситниковий
Грабово-букові (свіжі)	Знітові

В залежності від ґрунтово-кліматичних умов та рельєфу, в цьому лісогосподарському районі формуються різні типи лісорослинних умов та типів лісу. В Опіллі панують груди з незначною сумішшю сугрудків, в Розточчі переважають сугрудки і меншою кількістю представлені дібровами і суборами.

На території досліджень виникають численні пожежі у природних екосистемах та на антропогенно порушених ландшафтах[853]. Пожежі спричиняють виділення значної кількості небезпечних речовин у довкілля[854,855]. Особливо небезпечними явищами є горіння сміттєзвалищ, які у регіоні дослідження спостерігаються у значній кількості[856,857].

Зміна клімату посилює умови для лісових пожеж, але бракує доказів щодо глобальних тенденцій екстремальної пожежної активності. У роботі[858] визначено енергетично екстремальні події лісових пожеж, обчислюючи щоденні кластери сумарної радіаційної потужності пожеж, використовуючи 21 рік супутникових даних, показуючи, що частота екстремальних подій (≥99,99-й процентиль) зросла в 2,2 рази з 2003 по 2023 рік, причому останні 7 років включають 6 найекстремальніших.

[852] Кучерявий, В. П. (2010). Загальна екологія. Львів : Світ. 520.
[853] Popovych, V., Gapalo, A. Monitoring of Ground Forest Fire Impact on Heavy Metals Content in Edafic Horizons. Journal of Ecological Engineering, 22(5), 2021. 96-103. https://doi.org/10.12911/22998993/135872
[854] Попович В. В., Кучерявий В.П. 2012. Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 1. 162-166
[855] Попович В. В., Кучерявий В.П. 2012. Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту. Пожежна безпека. 20. 60-66.
[856] Попович В. В. 2012. Пожежна небезпека стихійних сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів. Пожежна безпека. 21. 140-147.
[857] Кучерявий В.П., Попович В. В. 2012. Полігони твердих побутових відходів Західного Лісостепу України та проблеми їх фітомеліорації. Науковий вісник НЛТУ України. 22.2. 56-66.
[858] Cunningham, C.X., Williamson, G.J. & Bowman, D.M.J.S. Increasing frequency and intensity of the most extreme wildfires on Earth. Nat Ecol Evol 8, 1420–1425 (2024). https://doi.org/10.1038/s41559-024-02452-2

Протягом останніх двох десятиліть частота невеликих (< 500 акрів) лісових пожеж, спричинених людиною, зростала найшвидше, і вони широко поширені в центральній та західній Каліфорнії. Сезон лісових пожеж подовжився, а пікові місяці перемістилися з серпня на липень. Щодо змінних, пов'язаних з ризиком виникнення лісових пожеж, вирішальне значення мають температура, дефіцит вологи, трав'яний покрив та відстань до доріг[859].

Результати[860] показують, що після столітнього спаду, активність лісових пожеж зросла з 2005 року, що збіглося з різким розворотом тенденції зволоження у 20 столітті. Навіть за умови, що рівень опадів залишається високим, дефіцит вологи збільшився через швидке потепління та збільшення потреби у випаровуванні. Чинники "знизу вгору" додатково впливають на активність лісових пожеж, оскільки минулі лісових пожеж, спалахів комах та практики землекористування постійно впливають на режими пожеж. Найбільш смертоносні та руйнівні лісові пожежі, 90% з яких були спричинені людиною, переважно траплялися восени, тоді як найбільші лісові пожежі, 56% з яких були спричинені людиною, здебільшого траплялися влітку[861].

Антропогенна зміна клімату сприяла стійким екстремальним погодним умовам для пожеж, оскільки середня температура в Канаді з травня по жовтень у 2023 році була на 2,2 °C вищою за середній показник за 1991–2020 років. Наслідки: було евакуйовано понад 200 громад, мільйони людей зазнали впливу небезпечної якості повітря від диму, а також виникли додаткові вимоги до ресурсів пожежогасіння. Сезон лісових пожеж 2023 року в Канаді не лише встановив нові рекорди, але й підкреслив зростаючі проблеми, що виникають через лісові пожежі в Канаді[862].

Половина великих лісових пожеж (площею >500 га), що сталися на Піренейському півострові між 2001 і 2021 роками, демонструють значне збільшення порівняно, що пояснюється глобальним потеплінням[863]. Через глобальне потепління площа з умовами, схильними до пожеж, збільшиться на 29%, переважно в бореальній (+111%) та помірній (+25%) зонах, де також може спостерігатися значне подовження потенційного сезону пожеж.

Таким чином, питання пожеж у природних екосистемах на території Розточчя є актуальним із точки зору збереження біологічного різноманіття як однієї зі складових сталого розвитку.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експерименти проводилися 24.07.2021 року у сонячну безвітряну погоду. Температура довкілля становила +23°C. Координати розташування дослідних ділянок: 50.157599, 23.786120. Для експерименту було використано мірні лінійки довжиною 2 м і 4,5 м; вологомір ґрунту МГ-44; секундомір; зразки сухої рослинності. Дослідна ділянка до початку випробувань наведена на рис. 1.

[859] Li, S., Banerjee, T. Spatial and temporal pattern of wildfires in California from 2000 to 2019. Sci Rep 11, 8779 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-88131-9

[860] Parisien, MA., Barber, Q.E., Bourbonnais, M.L. et al. Abrupt, climate-induced increase in wildfires in British Columbia since the mid-2000s. Commun Earth Environ 4, 309 (2023). https://doi.org/10.1038/s43247-023-00977-1

[861] Kumar, M., AghaKouchak, A., Abatzoglou, J.T. et al. Compounding effects of climate change and WUI expansion quadruple the likelihood of extreme-impact wildfires in California. npj Nat. Hazards 2, 17 (2025). https://doi.org/10.1038/s44304-025-00067-6

[862] Jain, P., Barber, Q.E., Taylor, S.W. et al. Drivers and Impacts of the Record-Breaking 2023 Wildfire Season in Canada. Nat Commun 15, 6764 (2024). https://doi.org/10.1038/s41467-024-51154-7

[863] Senande-Rivera, M., Insua-Costa, D. & Miguez-Macho, G. Climate change aggravated wildfire behaviour in the Iberian Peninsula in recent years. npj Clim Atmos Sci 8, 19 (2025). https://doi.org/10.1038/s41612-025-00906-3



Рисунок 1. Досліджувана ділянка протипожежних бар'єрів у вигляді мінералізованих смуг

Передбачено встановити час займання рослинності за протипожежною мінералізованою смугою і висоту полум'я за різної ширини мінералізованої смуги та змінної висоти сухої лучної рослинності. Повторюваність дослідів для кожної ширини протипожежної мінералізованої смуги 5-ти разова.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,1 м, займання сухої лучної рослинності вистою 0,1 м за смугою відбулося через 7 с після початку проведення експерименту. Із зростанням висоти сухостою час займання сухої лучної рослинності за смугою зменшувався та при висоті 0,4 м і 0,5 м становив 3 с (рис. 2).

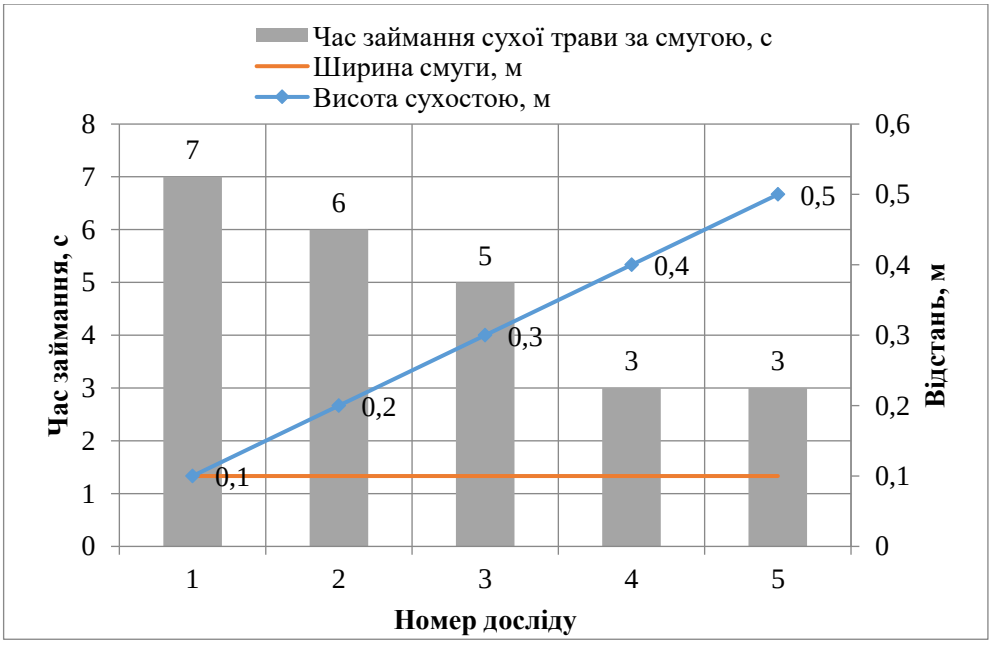


Рисунок 2. Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,1 м

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,2 м, займання сухої лучної рослинності вистою 0,1 м, 0, 2 м, 0,3 м за смугою не відбувалося. Займання відбулося через 10 с після початку проведення експерименту з висотою сухостою 0,4 м. При висоті сухостою 0,5 м час займання сухої лучної рослинності становив 7 с (рис. 3).

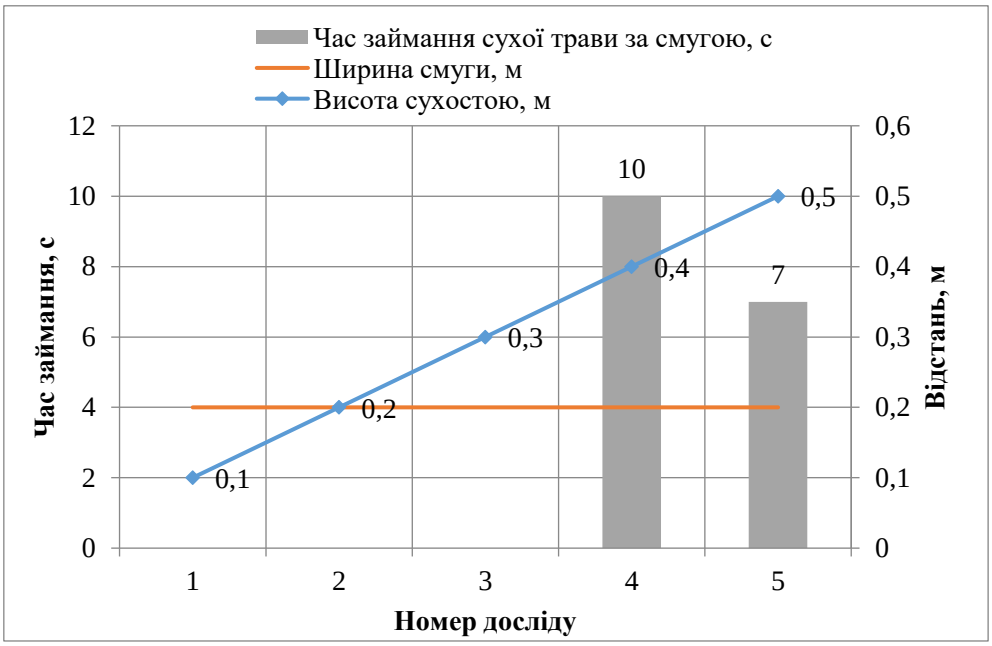


Рисунок 3. Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,2 м

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,3 м, займання сухої лучної рослинності вистою 0,1 м, 0, 2 м, 0,3 м за смугою не відбувалося. Займання відбулося через 8 с після початку проведення експерименту з висотою сухостою 0,4 м. При висоті сухостою 0,5 м час займання сухої лучної рослинності становив 10 с (рис. 4).

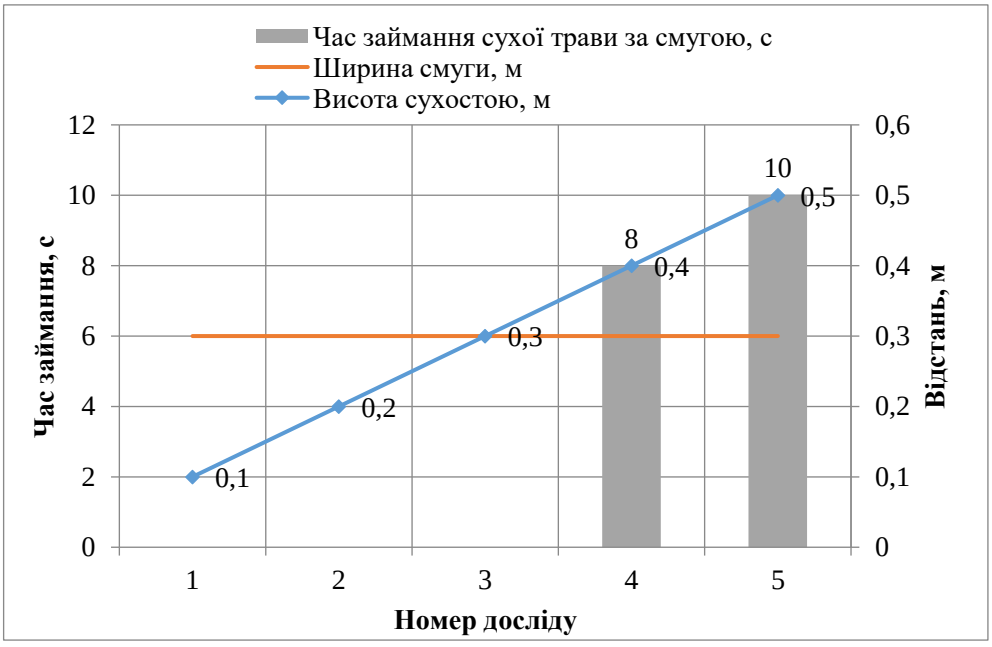


Рисунок 4. – Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,3 м

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,4 м, займання сухої лучної рослинності вистою 0,1 м, 0, 2 м, 0,3 м за смугою не відбувалося. Займання відбулося через 48 с після початку проведення експерименту з висотою сухостою 0,4 м. При висоті сухостою 0,5 м час займання сухої лучної рослинності становив 56 с (рис. 5).

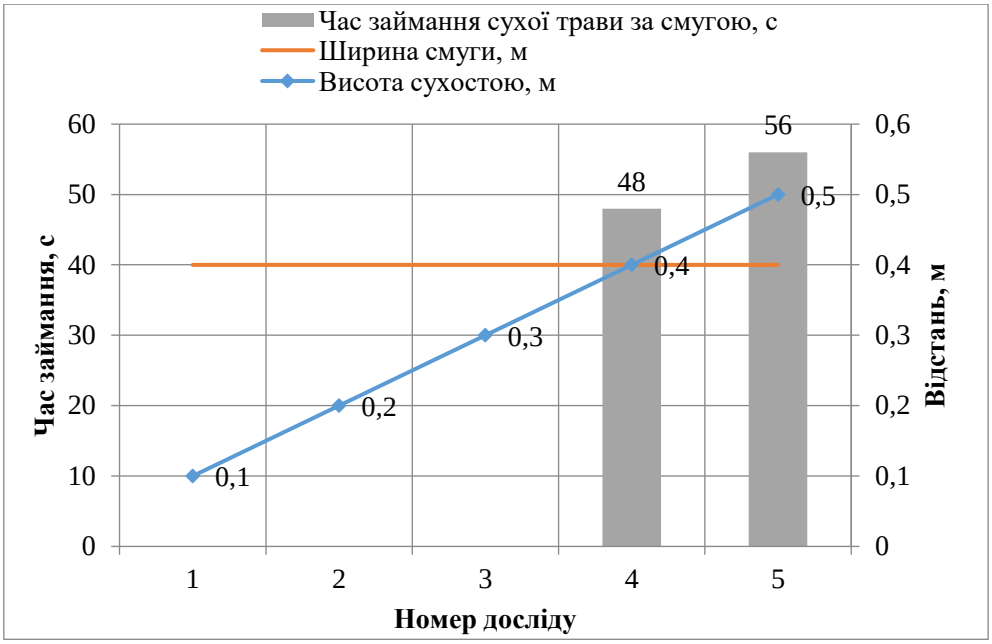


Рисунок 5. Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,4 м

Таким чином, на поширення ландшафтних пожеж в лучних екосистемах мають вирішальне значення 2 параметри – ширина мінералізованої протипожежної смуги та висота сухої лучної рослинності. Чим більша висота сухої лучної рослинності, тим ймовірність займання сусідньої аналогічної ділянки є вищою. Важливим показником для розробки протипожежних заходів та попередження горіння лучної рослинності є висота полум'я у залежності від висоти сухої лучної рослинності (рис. 6).



Рисунок 6. Експериментальні дослідження висоти полум'я під час горіння лучної рослинності

Встановлено, що на висоті 0,1 м сухої лучної рослинності за умови виникнення пожежі висота полум'я може досягати 0,65 м. При висоті 0,2 м сухої лучної рослинності за умови виникнення пожежі висота полум'я може досягати 0,75 м. Відповідно – при 0,3 м – висота полум'я 1,3 м; при 0,4 м – висота полум'я 1,6 м; при 0,5 м – висота полум'я 1,7 м (рис. 7).

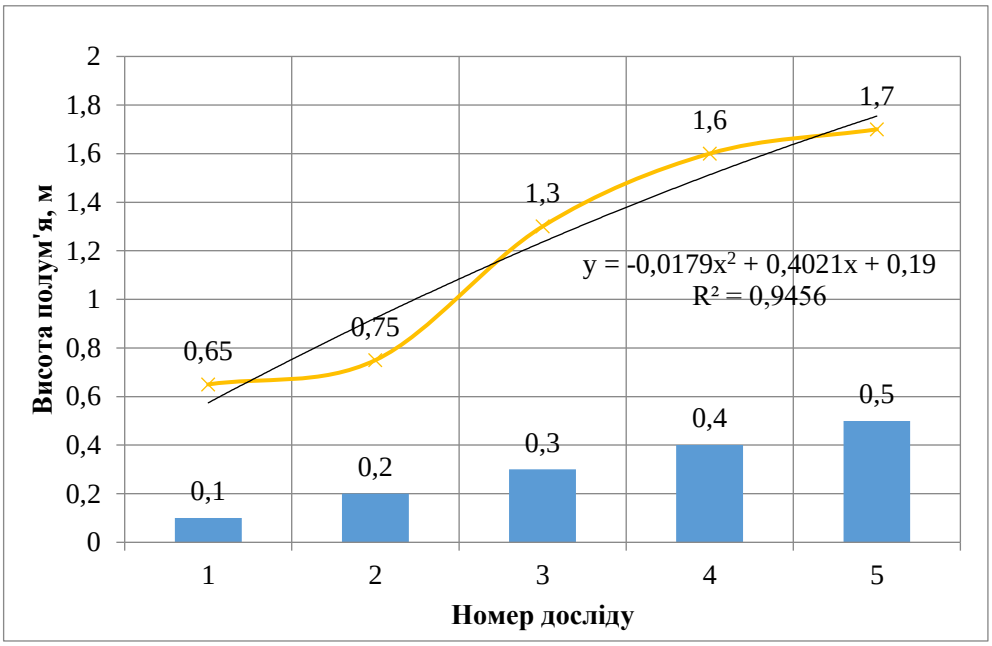


Рисунок 7. Залежність висоти полум'я від висоти сухостою лучної рослинності під час пожежі

Залежність висоти полум'я від висоти сухостою лучної рослинності під час пожежі можна описати за допомогою рівняння:

$$H_n=-0{,}0179h^2+0{,}4021h+0{,}19, \quad (1)$$

де h – висота сухої лучної рослинності.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що на поширення ландшафтних пожеж в природних лучних екосистемах мають вирішальне значення параметри ширини мінералізованої протипожежної смуги та висоти сухої лучної рослинності. Чим більша висота сухої лучної рослинності, тим ймовірність займання сусідньої аналогічної ділянки є вищою. Експериментально встановлена висота полум'я у залежності від висоти сухої лучної рослинності, що є важливим показником для розробки протипожежних заходів та попередження горіння лучної рослинності у природних екоситсемах.

ВИСНОВОК

Сучасні збройні конфлікти, зокрема повномасштабна війна в Україні, висунули нові виклики перед системами екологічної безпеки, охорони здоров'я, реагування на надзвичайні ситуації та сталого управління природними ресурсами. У цій монографії представлено багатогранний науковий аналіз загроз біологічного, хімічного та екологічного походження, які посилились унаслідок війни.

Комплексність тематики досліджень засвідчує потребу в міждисциплінарному підході до вивчення та подолання загроз, що охоплюють як проблеми забруднення довкілля, деградації екосистем, поширення інфекційних хвороб, так і ризики для психофізіологічного стану населення, медичної готовності, соціальної адаптації внутрішньо переміщених осіб. Також важливою частиною наукового пошуку є технології екологічного прогнозування, геоінформаційні системи для підтримки управлінських рішень, а також нові моделі оцінки та зменшення техногенних і логістичних ризиків.

Монографія узгоджується з ключовими положеннями рішення І Міжнародної науково-практичної конференції «Біологічні, хімічні та екологічні загрози під час війни» (м. Львів, 22 травня 2025 року), де було наголошено на необхідності:

- формування національної системи моніторингу та реагування на небезпеки біологічного, хімічного та екологічного характеру;
- підготовки фахівців нової генерації, здатних працювати в умовах багатовекторних криз;
- розвитку міжнародної науково-практичної кооперації для створення механізмів попередження катастроф і відновлення постраждалих регіонів;
- адаптації національної політики у сфері біоекологічної безпеки до умов воєнного та повоєнного періодів.

Матеріали, зібрані у цій праці, не лише відображають сучасний стан проблеми, а й формують науково-методичне підґрунтя для ефективних управлінських рішень у сфері безпеки та відновлення. Монографія може слугувати джерелом для прийняття стратегічних рішень у галузі національного планування, охорони здоров'я, екологічної політики та реагування на надзвичайні ситуації в умовах воєнного й поствоєнного часу.

колективна монографія
за загальною редакцією

ПОПОВИЧА Василя Васильовича
СЕРГІЄНКО Вікторії Олександрівни
ІВАНЧЕНКО Наталії Олександрівни

БІОЛОГІЧНІ, ХІМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ ПІД ЧАС ВІЙНИ

BIOLOGICAL, CHEMICAL AND ENVIRONMENTAL THREATS DURING THE WAR

Технічний редактор	**Катерина СТЕПОВА**
Комп’ютерна верстка	**Андрій БЕСЕДА**
Друк	**Назарій ПЕТРОЛЮК**

Підписано до друку 12.06.2025 р.
Формат 60x84/12. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Ум. Друк. арк. 38,3

Друк ЛДУБЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
Тел. /факс: (032)233-24-79
E-mail: vnrd@ldubgd.edu.ua
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК №7249 від 09.02.2021 р.